



ЦЕНТР ДИАГНОСТИКИ
И ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

ISSN 2712-8490 (Print)
ISSN 2712-8962 (Online)

DIGITAL DIAGNOSTICS

Рецензируемый научный медицинский журнал

5 Том | Volume 2 Выпуск | Issue


ЭКО • БЕКТОР
jdigitaldiagnostics.com

2024

УЧРЕДИТЕЛИ

- ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ»
- ООО «Эко-Вектор»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ
ПИ № ФС 77 - 79539 от 09.11.2020

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»

Адрес: 191181, Санкт-Петербург, Аптекарский
переулок, д. 3, литера А, помещение 1Н
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: https://eco-vector.com

РЕКЛАМА

Отдел рекламы

Тел.: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ

Зав. редакцией

Елена Андреевна Филиппова

E-mail: ddjournal@eco-vector.com

Тел.: +7 (965) 012 70 72

Адрес: 125040, г. Москва,

ул. Расковой, д. 16/26, стр. 1

ПОДПИСКА

Подписка на печатную версию через интернет:

www.journals.eco-vector.com/

www.akc.ru

www.pressa-rf.ru

OPEN ACCESS

В электронном виде журнал распространяется
бесплатно —

в режиме немедленного открытого доступа

ИНДЕКСАЦИЯ

- SCOPUS
- РИНЦ
- Google Scholar
- Ulrich's International Periodicals Directory
- WorldCat

Оригинал-макет

подготовлен в издательстве «Эко-Вектор».

Литературный редактор: А.А. Ридэль

Корректор: А.А. Ридэль

Вёрстка: Ф.А. Игнащенко

Обложка: Е.Д. Бугаенко

Сдано в набор 14.07.2024. Подписано в печать 05.08.2024.

Выход в свет 10.09.2024. Формат 60 × 88%.

Печать офсетная. Печ. л. 33. Усл. печ. л. 32,3.

Уч.-изд. л. 18. Тираж 5000 экз.

Цена свободная.

Отпечатано в ООО «Типография Фурсова».

196105, Санкт-Петербург, ул. Благодатная, 69.

Тел.: +7 (812) 646-33-77

16+

© ООО «Эко-Вектор», 2024

ISSN 2712-8490 (Print)

ISSN 2712-8962 (Online)

Digital Diagnostics

Том 5 | Выпуск 2 | 2024

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор

Синицын Валентин Евгеньевич, д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-5649-2193

Заместитель главного редактора

Васильев Юрий Александрович, к.м.н., (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-0208-5218

Научный редактор

Березовская Татьяна Павловна, д.м.н., профессор (Обнинск, Россия)

ORCID: 0000-0002-3549-4499

Ответственный секретарь

Виноградова Ирина Александровна, к.т.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-6465-4132

Редакционная коллегия

Berlin L., профессор (Иллинойс, США)

ORCID: 0000-0002-0717-0307

Беляев М.Г., к.ф.-м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-9906-6453

Важенина Д.А., д.м.н., доцент (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-6236-709X

Bisdas S., MD, PhD (Лондон, Великобритания)

ORCID: 0000-0001-9930-5549

Гомболевский В.А., к.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-1816-1315

Доможирова А.С., д.м.н., доцент (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-0806-3164

Frija G., профессор (Париж, Франция)

ORCID: 0000-0003-0415-0586

Guglielmi G., MD, профессор (Фоджа, Италия)

ORCID: 0000-0002-4325-8330

Holodny A., д.м.н. (Нью-Йорк, США)

ORCID: 0000-0002-1159-2705

Лебедев Г.С., д.т.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-4289-2102

Li H., MD, профессор (Пекин, КНР)

Mannelli L., MD (Нью-Йорк, США)

ORCID: 0000-0002-9102-4176

Матвеев И.А., д.т.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-2005-9467

Мацкеплишвили С.Т., д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-5670-167X

Митьков В.В., д.м.н., профессор (Санкт-Петербург, Россия)

ORCID: 0000-0003-1959-9618

Морозов С.П., д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-6545-6170

Neri E., д.м.н. (Пиза, Италия)

ORCID: 0000-0001-7950-4559

Омельяновский В.В., д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-1581-0703

Сенько О.В., докт.ф.-м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-5586-3503

Омелянская О.В., (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-0245-4431

Oudkerk M., профессор (Гронинген, Нидерланды)

ORCID: 0000-0003-2800-4110

Ros P.R., MD, PhD, профессор (Нью-Йорк, США)

ORCID: 0000-0003-3974-0797

Rovira A., профессор (Барселона, Испания)

ORCID: 0000-0002-2132-6750

Решетников Р.В., к.ф.-м.н., (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-9661-0254

Румянцев П.О., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-7721-634X

Храмов А.Е., докт.ф.-м.н., профессор

(Санкт-Петербург, Россия)

ORCID: 0000-0003-2787-2530

Аншелес А.А., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-2675-3276

Арутюнов Г.П., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-6645-2515

Белевский А.С., д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-6050-724X

Васильева Е.Ю., д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-4111-0874

Гехт А.Б., д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-1170-6127

Кобякова О.С., д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-0098-1403

Кремнева Е.И., к.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-9396-6063

Петриков С.С., д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-3292-8789

Проценко Д.Н., к.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-5166-3280

Хатьков И.Е., д.м.н., профессор (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-4088-8118

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://journals.eco-vector.com/DD/>. Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения издателя — издательства «Эко-Вектор».



FOUNDERS

- Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine
- Eco-Vector

PUBLISHER

Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky pereulok, 191181, Saint Petersburg, Russian Federation
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: <https://eco-vector.com>

ADVERTISE

Adv. department

Phone: +7 (968) 545 78 20
E-mail: adv2@eco-vector.com

EDITORIAL OFFICE

Executive editor

Elena A. Philippova
E-mail: ddjournal@eco-vector.com
Phone: +7 (965) 012 70 72

SUBSCRIPTION

For print version:
www.journals.eco-vector.com/

PUBLICATION ETHICS

Journal's ethic policies are based on:

- ICMJE
- COPE
- ORE
- CSE
- EASE

OPEN ACCESS

Immediate Open Access is mandatory for all published articles

INDEXATION

- SCOPUS
- Russian Science Citation Index
- Google Scholar
- Ulrich's International Periodicals Directory
- WorldCat

TYPESET

completed in Eco-Vector
Copyeditor: A.A. Ridel
Proofreader: A.A. Ridel
Layout editor: Ph. Ignashchenko
Cover: E. Bugaenko

ISSN 2712-8490 (Print)
ISSN 2712-8962 (Online)

Digital Diagnostics

Volume 5 | Issue 2 | 2024

QUARTERLY PEER-REVIEWED MEDICAL JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

Valentin E. Sinitsyn, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-5649-2193

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Yuriy A. Vasilev, MD, Cand. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-0208-5218

SCIENTIFIC EDITOR

Tatiana P. Berezovskaya MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Obninsk, Russia)
ORCID: 0000-0002-3549-4499

RESPONSIBLE SECRETARY

Irina A. Vinogradova, Cand. Sci. (Eng.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-6465-4132

EDITORIAL BOARD

L. Berlin, Professor (Illinois, United States)
ORCID: 0000-0002-0717-0307
M.G. Belyaev, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assistant Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-9906-6453
S. Bisdas, MD, PhD (London, United Kingdom)
ORCID: 0000-0001-9930-5549
D.A. Vazhenina, MD, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-6236-709X
V.A. Gomboleviskiy, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-1816-1315
A.S. Domozhirova, MD, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-0806-3164
G. Frija, Professor (Paris, France)
ORCID: 0000-0003-0415-0586
G. Guglielmi, MD, Professor (Foggia, Italy)
ORCID: 0000-0002-4325-8330
A. Holodny, MD (New York, United States)
ORCID: 0000-0002-1159-2705
H. Li, MD, Professor (Beijing, China)
G.S. Lebedev, Dr. Sci. (Eng.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-4289-2102
L. Mannelli, MD (New York, United States)
ORCID: 0000-0002-9102-4176
I.A. Matveev, Dr. Sci. (Tech.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-2005-9467
S.T. Matskeplishvili, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-5670-167X
V.V. Mit'kov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Saint Petersburg, Russia)
ORCID: 0000-0003-1959-9618
S.P. Morozov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-6545-6170
E. Neri, MD, Associate Professor (Pisa, Italy)
ORCID: 0000-0001-7950-4559
Oleg V. Sen'ko, Dr. Sci. (Phys.-Math.), (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-5586-3503

V.V. Omel'yanovskiy, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-1581-0703
O.V. Omelyanskaya, (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-0245-4431
M. Oudkerk, Professor (Groningen, Netherlands)
ORCID: 0000-0003-2800-4110
P.R. Ros, MD, PhD, Professor (New York, United States)
ORCID: 0000-0003-3974-0797
A. Rovira, Professor (Barcelona, Spain)
ORCID: 0000-0002-2132-6750
R.V. Reshetnikov, Cand. Sci. (Phys.-Math.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-9661-0254
P.O. Rumyantsev, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-7721-634X
A.E. Khramov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor (Saint Petersburg, Russia)
ORCID: 0000-0003-2787-2530
A.A. Ansheles, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-2675-3276
G.P. Arutyunov, MD, Dr. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-6645-2515
A.S. Belevskiy, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-6050-724X
E.Y. Vasilieva, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-4111-0874
A.B. Gekht, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-1170-6127
O.S. Kobayakova, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-0098-1403
E.I. Kremneva, MD, Cand. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-9396-6063
S.S. Petrikov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-3292-8789
D.N. Protzenko, MD, Cand. Sci. (Med.) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-5166-3280
I.E. Khatkov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-4088-8118

16+

© Eco-Vector, 2024



The editors are not responsible for the content of advertising materials. The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editors. Only articles prepared in accordance with the guidelines are accepted for publication. By sending the article to the editor, the authors accept the terms of the public offer agreement. The guidelines for authors and the public offer agreement can be found on the website: <https://journals.eco-vector.com/DD/>. Full or partial reproduction of materials published in the journal is allowed only with the written permission of the publisher — the Eco-Vector publishing house.

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

<i>С.Ф. Агеева, В.Е. Сеницын, Е.А. Мершина, Н.А. Ручьева, Е.И. Петрова</i> Возможности применения магнитно-резонансной томографии с использованием гепатотропных контрастных веществ для функциональной оценки печени	137
<i>И.Б. Антонова, С.П. Аксенова, Н.В. Нуднов, А.В. Кригер</i> Возможности и ограничения магнитно-резонансной томографии для диагностики эндоцервикальных аденокарцином шейки матки	149
<i>Г.С. Музафарова, М.В. Вишнякова, А.С. Абраменко, В.А. Кузьмичев, В.В. Гацуцын</i> Магнитно-резонансная томография при воронкообразной деформации грудной клетки	167
<i>Е.С. Самсонова, И.А. Михайлов, В.В. Омеляновский, М.В. Авксентьева, И.А. Железнякова, Г.Г. Лебеденко</i> Разработка системы показателей, определяющих потребность в проведении телемедицинских консультаций при оказании медицинской помощи различных профилей	178
<i>А.Н. Сергеева, С.Н. Морозова, Д.В. Сергеев, Е.В. Кремнева, А.А. Зимин, Л.А. Легостаева, Е.Г. Язева, М.В. Кротенкова, Ю.В. Рябинкина, Н.А. Супонева, М.А. Пирадов</i> Дифференциальная диагностика хронических нарушений сознания по данным структурной магнитно-резонансной томографии	190
<i>А.В. Исаева, А.Е. Демкина, А.В. Владимирский, Б.В. Зингерман, А.Н. Коробейникова, А.Н. Быков, О.Г. Смоленская</i> Телемедицинский мониторинг пациентов с хронической сердечной недостаточностью: проспективное рандомизированное исследование	203
<i>Д.А. Филатова, Е.А. Мершина, М.Л. Плотникова, М.В. Лисицкая, В.Е. Сеницын</i> Кальциноз митрального клапана как важная находка при сердечно-сосудистой визуализации	219
<i>A. Kalyanpur, N. Mathur</i> Роль телерадиологии в интерпретации изображений, полученных при проведении ультразвукового исследования в условиях неотложной медицинской помощи.	231
<i>Д.Х.И. Кассаб, И.Г. Камышанская, С.В. Трухан</i> Новая интеллектуальная система для автоматической диагностики сколиоза по фронтальным рентгенограммам позвоночника: точность, преимущества и ограничения	243

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ И МЕТААНАЛИЗЫ

<i>Ю.А. Васильев, О.Г. Нанова, И.А. Блохин, Р.В. Решетников, А.В. Владимирский, О.В. Омелянская</i> Приоритетные параметры радиомического анализа для компьютерной томографии при злокачественных новообразованиях головы и шеи: систематический обзор	255
---	-----

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОТЧЕТЫ

<i>Ю.А. Васильев, Д.С. Семенов, А.В. Петряйкин, А.А. Учеваткин, Л.Р. Абуладзе, А.В. Бажин, Д.Е. Шарова</i> Магнитно-резонансная томография кисти: оптимизация сканирования	269
---	-----

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

<i>V. Testini, L. Eusebi, F.S. Guerra, W. Giannubilo, M. Di Biase, A. Russo, G. Guglielmi</i> Возможности мультипараметрической магнитно-резонансной томографии при проведении фьюжн-биопсии под её контролем в диагностике рака предстательной железы: текущий статус	283
<i>А.Е. Демкина, А.Н. Коробейникова, А.Н. Розоза, А.В. Владимирский</i> SWOT-анализ: дистанционный мониторинг артериального давления	303
<i>F. Masino, L. Eusebi, G. Muscatella, M. Montatore, G. Sortino, W. Giannubilo, G. Guglielmi</i> Традиционные и инновационные методы визуализации при раке мочевого пузыря: технология выполнения и применение	318

КЛИНИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ

<i>M. Balbino, M. Montatore, G. Fascia, R. Tupputi, F. Masino, G. Muscatella, D. Mannatrizio, G. Guglielmi</i> Множественные билиарные микрогамартомы, случайно диагностированные у пожилого пациента	334
<i>А.В. Фридман, Т.А. Берген, Д.А. Сирота, Б.Н. Козлов, И.Ю. Журавлева, А.Р. Таркова, В.Ю. Усов, А.М. Чернявский</i> Перспективная оценка показателей растяжимости стенки восходящей аорты и её сосудистого протеза у пациентки с аневризмой при технически безупречной хирургической коррекции и послеоперационном снижении функциональных показателей: клинический случай	342
<i>R.F. Balzano, F. Lattanzio, G. Fascia, M. Montatore, M. Balbino, F. Masino, D. Mannatrizio, G. Guglielmi</i> Идиопатическая инвагинация кишечника: результаты визуализации неотложной абдоминальной патологии	354
<i>В.В. Жарикова, В.А. Нечаев, Е.А. Куликова, А.Л. Юдин</i> Односторонняя атрезия лёгочных вен: сложности лучевой диагностики	361
<i>M. Montatore, M. Balbino, F. Masino, T. Ruggiero, G. Guglielmi</i> Полная транспозиция внутренних органов неясной этиологии, случайно выявленная при компьютерной томографии	370
<i>Е.С. Щелканова, Г.В. Терещенко, А.С. Краснов</i> Трудности лучевой диагностики зрелой тератомы надпочечника, имитирующей нейробластомы, у ребёнка	379

CONTENTS

ORIGINAL STUDY ARTICLES

<i>Sofiia F. Ageeva, Valentin E. Sinitsyn, Elena A. Merzhina, Natalia A. Rucheva, Ekaterina I. Petrova</i> Liver function assessment based on hepatobiliary contrast agent-enhanced magnetic resonance imaging	137
<i>Irina B. Antonova, Svetlana P. Aksenova, Nikolay V. Nudnov, Anna V. Kriger</i> Possibilities and limitations of magnetic resonance imaging in the diagnostics of endocervical adenocarcinomas	149
<i>Gulische S. Muzafarova, Marina V. Vishnyakova, Alexander S. Abramenko, Vladimir A. Kuzmichev, Vladimir V. Gatsutsyn</i> Magnetic resonance imaging in the evaluation of pectus excavatum	167
<i>Elena S. Samsonova, Ilya A. Mikhailov, Vitaly V. Omelyanovsky, Maria V. Avksentieva, Inna A. Zheleznyakova, Georgy G. Lebedenko</i> Identification of indicators used to assess needs for telemedicine consultations in various profiles of medical care	178
<i>Anastasia N. Sergeeva, Sofya N. Morozova, Dmitrii V. Sergeev, Elena I. Kremneva, Alexey A. Zimin, Lyudmila A. Legostaeva, Elizaveta G. Iazeva, Marina V. Krotenkova, Yulia V. Ryabinkina, Natalia A. Suponeva, Michael A. Piradov</i> Conventional structural magnetic resonance imaging in differentiating chronic disorders of consciousness	190
<i>Anna V. Isaeva, Alexandra E. Demkina, Anton V. Vladzimirskyy, Boris V. Zingerman, Anna N. Korobeynikova, Alexandr N. Bykov, Olga G. Smolenskaya</i> Remote monitoring of patients with chronic heart failure: A prospective randomized study	203
<i>Daria A. Filatova, Elena A. Merzhina, Maria L. Plotnikova, Mariya V. Lisitskaya, Valentin E. Sinitsyn</i> Mitral valve calcinosis as an important finding during heart examination	219
<i>Arjun Kalyanpur, Neetika Mathur</i> Role of teleradiology in the interpretation of ultrasound images acquired in the emergency setting	231
<i>Dima Kh.I. Kassab, Irina G. Kamyschanskaya, Stanislav V. Trukhan</i> A new artificial intelligence program for the automatic evaluation of scoliosis on frontal spinal radiographs: Accuracy, advantages and limitations	243

SYSTEMATIC REVIEWS AND META-ANALYSES

<i>Yuriy A. Vasilev, Olga G. Nanova, Ivan A. Blokhin, Roman V. Reshetnikov, Anton V. Vladzimirskyy, Olga V. Omelyanskaya</i> Priority radiomic parameters for computed tomography of head and neck malignancies: A systematic review	255
---	-----

TECHNICAL REPORTS

<i>Yuriy A. Vasilev, Dmitry S. Semenov, Alexey V. Petraikin, Andrey A. Uchevatkin, Liya R. Abuladze, Alexander V. Bazhin, Dariya E. Sharova</i> Optimization of magnetic resonance imaging of the hand	269
---	-----

REVIEWS

<i>Valentina Testini, Laura Eusebi, Francesco Saverio Guerra, Willy Giannubilo, Manuel Di Biase, Annunziata Russo, Giuseppe Guglielmi</i> Multiparametric magnetic resonance imaging and magnetic resonance imaging fusion-guided biopsy for the diagnosis of prostate cancer: current status	283
<i>Alexandra E. Demkina, Anna N. Korobeynikova, Anatoliy N. Rogoza, Anton V. Vladzimirskyy</i> SWOT-analysis: Remote monitoring of blood pressure	303
<i>Federica Masino, Laura Eusebi, Gianmichele Muscatella, Manuela Montatore, Giuseppe Sortino, Willy Giannubilo, Giuseppe Guglielmi</i> Conventional and innovative imaging modalities in bladder cancer: Techniques and applications	318

CASE REPORTS

<i>Marina Balbino, Manuela Montatore, Giacomo Fascia, Ruggiero Tupputi, Federica Masino, Gianmichele Muscatella, Domenico Mannatrzio, Giuseppe Guglielmi</i> Multiple biliary microhamartomas diagnosed in an unsuspecting elderly patient	334
<i>Alexander V. Friedman, Tatiana A. Bergen, Dmitry A. Sirota, Boris N. Kozlov, Irina Yu. Zhuravleva, Alexandra R. Tarkova, Wladimir Yu. Ussov, Alexander M. Chernyavskiy</i> Prospective evaluation of the extensibility of the ascending aorta wall and its vascular prosthesis in a patient with an aneurysm with technically flawless surgical correction and postoperative decrease in functional parameters: A case report	342
<i>Rosario Francesco Balzano, Francesco Lattanzio, Giacomo Fascia, Manuela Montatore, Marina Balbino, Federica Masino, Domenico Mannatrzio, Giuseppe Guglielmi</i> Idiopathic enterocolic intussusception: imaging findings in an abdominal emergency	354
<i>Veronika V. Zharikova, Valentin A. Nechaev, Evgenia A. Kulikova, Andrey L. Yudin</i> Unilateral pulmonary vein atresia: Difficulties of radiological diagnosis	361
<i>Manuela Montatore, Marina Balbino, Federica Masino, Tupputi Ruggiero, Giuseppe Guglielmi</i> An unknown situs viscerum inversus totalis, accidentally discovered after computed tomography	370
<i>Ekaterina S. Shchelkanova, Galina V. Tereshchenko, Alexey S. Krasnov</i> Difficulties in the radiological diagnosis of mature adrenal teratoma mimicking neuroblastoma in a child	379

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624826>

Возможности применения магнитно-резонансной томографии с использованием гепатотропных контрастных веществ для функциональной оценки печени

С.Ф. Агеева¹, В.Е. Сеницын¹, Е.А. Мершина¹, Н.А. Ручьева², Е.И. Петрова³¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия;² Национальный медицинский исследовательский центр трансплантологии и искусственных органов имени академика В.И. Шумакова, Москва, Россия;³ Отраслевой клинико-диагностический центр ПАО «Газпром», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Оценка функции печени при различных заболеваниях остаётся важной клинической задачей. Применение магнитно-резонансной томографии с гепатотропным контрастным веществом для оценки функции печени представляет существенный научный и практический интерес.

Цель — изучить возможность функциональной оценки печени на основании показателей, полученных по данным магнитно-резонансной томографии с контрастированием гепатотропным веществом.

Материалы и методы. Были проанализированы данные пациентов, которым выполнялась магнитно-резонансная томография с внутривенным контрастированием гадооксетовой кислоты. Пациенты были разделены на две группы: с нарушенной (первая группа) и с нормальной (вторая группа) функцией печени. По данным магнитно-резонансных исследований оценивались следующие параметры: интенсивность сигнала печени, её отношение к интенсивности сигнала селезёнки и к интенсивности сигнала в просвете воротной вены. Были оценены показатели лабораторных анализов крови, отражающие функции печени: общий билирубин, альбумин, аланинаминотрансфераза, аспартатаминотрансфераза, γ -глутамилтранспептидаза, щелочная фосфатаза, протромбиновое время. Был проведён анализ статистической значимости различий между группами по параметрам магнитно-резонансной томографии, оценивалось наличие корреляционной связи между значениями интенсивности сигнала печени и данными лабораторных анализов крови.

Результаты. Были проанализированы данные 53 пациентов (25 мужчин и 28 женщин в возрасте от 24 до 84 лет). В первую группу вошло 19 человек, во вторую — 34 человека. Были установлены статистически значимые различия показателей интенсивности сигнала печени и её отношения к интенсивности сигнала селезёнки между исследуемыми группами. В первой группе значение интенсивности сигнала печени составило 919,05 [669,65; 1258,35], во второй — 1525,13 [1460,5; 1631,4] ($p=0,0000001$). Отношение интенсивности сигнала печени к интенсивности сигнала селезёнки в первой группе составило 1,2 [1,04; 1,7], во второй — 1,7 [1,46; 1,96] ($p=0,00076$). Отношение интенсивности сигнала печени к интенсивности сигнала в просвете воротной вены составило 1,44 [1,29; 1,83] в первой группе, 1,6 [1,43; 1,83] — во второй ($p=0,1$). Была оценена корреляция между интенсивностью сигнала печени и общим билирубином ($r=-0,61$; $p=0,000001$), альбумином ($r=0,13$; $p=0,61$), аспартатаминотрансферазой ($r=-0,57$; $p=0,000009$), аланинаминотрансферазой ($r=-0,44$; $p=0,001$), щелочной фосфатазой ($r=-0,45$; $p=0,0007$), γ -глутамилтранспептидазой ($r=-0,5$; $p=0,0003$), протромбиновым временем ($r=-0,34$; $p=0,04$). По шкале Чеддока заметная сила корреляционной связи была выявлена между показателем интенсивности сигнала печени и значениями общего билирубина, аспартатаминотрансферазы. Умеренная сила — между показателем интенсивности сигнала печени и значениями аланинаминотрансферазы, щелочной фосфатазы, γ -глутамилтранспептидазы, протромбинового времени.

Заключение. Продемонстрирована эффективность применения параметров магнитно-резонансной томографии (интенсивность сигнала печени и её отношение к интенсивности сигнала селезёнки) в функциональной оценке печени. В исследовании не подтвердилось предположение об эффективности применения такого параметра, как отношение значения интенсивности сигнала печени к интенсивности сигнала в просвете воротной вены. Были установлены статистически значимые обратные связи между значениями интенсивности сигнала печени и показателями лабораторных анализов крови, отражающих функции печени, за исключением альбумина. Результаты свидетельствуют о возможности использования магнитно-резонансной томографии для функциональной оценки печени.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; печень; цирроз; контрастное исследование; гепатотропный контрастный агент; гадооксетовая кислота.

Как цитировать:

Агеева С.Ф., Сеницын В.Е., Мершина Е.А., Ручьева Н.А., Петрова Е.И. Возможности применения магнитно-резонансной томографии с использованием гепатотропных контрастных веществ для функциональной оценки печени // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 137–148. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624826>

Рукопись получена: 21.12.2023

Рукопись одобрена: 06.02.2024

Опубликована online: 19.06.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624826>

Liver function assessment based on hepatobiliary contrast agent-enhanced magnetic resonance imaging

Sofiia F. Ageeva¹, Valentin E. Sinitsyn¹, Elena A. Merzhina¹, Natalia A. Rucheva², Ekaterina I. Petrova³

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

² V.I. Shumakov National Medical Research Center of Transplantology and Artificial Organs, Moscow, Russia;

³ Industry Clinical Diagnostic Center of Gazprom PJSC, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Liver function assessment is very important in clinical practice. The use of magnetic resonance imaging for the anatomical and functional evaluation of the liver is possible in actual clinical practice.

AIM: To examine the possibility of using hepatobiliary contrast-enhanced magnetic resonance imaging for the evaluation of liver function.

MATERIALS AND METHODS: Datasets of patients who underwent gadoxetic acid-enhanced magnetic resonance imaging were retrospectively reviewed. Patients were divided into two groups: group 1 included patients with impaired liver function, and group 2 included those with normal liver function. Based on magnetic resonance imaging in the hepatobiliary phase, the liver parenchyma signal intensity and its ratio to spleen signal intensity and portal vein signal intensity were estimated. Differences among these parameters were compared between groups. The correlation between liver parenchyma signal intensity and laboratory blood tests reflecting liver function (total bilirubin, albumen, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, alkaline phosphatase, gamma glutamyl transpeptidase, and prothrombin time) were analyzed.

RESULTS: Datasets of 53 patients (25 men and 28 women, aged 24–84 years) were analyzed. Group 1 included 19 patients, whereas group 2 included 34. The median liver parenchyma signal intensity was 919.05 [669.65; 1258.35] in group 1 and 1525.13 [1460.5; 1631.4] in group 2 ($p=0.0000001$). The median ratio of liver parenchyma signal intensity to spleen signal intensity was 1.2 [1.04; 1.7] in group 1 and 1.7 [1.46; 1.96] in group 2 ($p=0.00076$). The median ratio of liver parenchyma signal intensity to portal vein signal intensity was 1.44 [1.29; 1.83] in group 1 and 1.6 [1.43; 1.83] in group 2 ($p=0.1$). The estimated correlation values between liver parenchyma signal intensity and blood tests parameters were as follows: total bilirubin ($r=-0.61$; $p=0.000001$), albumen ($r=0.13$; $p=0.61$), aspartate aminotransferase ($r=-0.57$; $p=0.000009$), alanine aminotransferase ($r=-0.44$; $p=0.001$), alkaline phosphatase ($r=-0.45$; $p=0.0007$), gamma glutamyl transpeptidase ($r=-0.5$; $p=0.0003$), prothrombin time ($r=-0.34$; $p=0.04$).

CONCLUSION: The study reflects the ability to assess liver function using indices (liver parenchyma signal intensity and its ratio to spleen signal intensity) derived from gadoxetic acid-enhanced magnetic resonance imaging. However, this study did not confirm the assumed effectiveness of using the liver parenchyma signal intensity to portal vein signal intensity ratio as an index of liver function. A significant inverse correlation was identified between liver parenchyma signal intensity and blood test parameters in reflecting liver function, except for albumin. The results indicate the possibility of using magnetic resonance imaging to assess liver function.

Keywords: magnetic resonance imaging; liver; cirrhosis; contrast study; hepatotropic contrast agent; gadoxetic acid.

To cite this article:

Ageeva SF, Sinitsyn VE, Merzhina EA, Rucheva NA, Petrova EI. Liver function assessment based on hepatobiliary contrast agent-enhanced magnetic resonance imaging. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):137–148. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624826>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624826>

使用亲肝造影剂进行磁共振成像以评估肝脏功能的可能性

Sofiia F. Ageeva¹, Valentin E. Sinitsyn¹, Elena A. Mershina¹, Natalia A. Rucheva², Ekaterina I. Petrova³

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

² V.I. Shumakov National Medical Research Center of Transplantology and Artificial Organs, Moscow, Russia;

³ Industry Clinical Diagnostic Center of Gazprom PJSC, Moscow, Russia

摘要

论证。评估各种疾病的肝功能仍然是一项重要的临床任务。使用亲肝造影剂的磁共振成像来评估肝功能具有相当大的科学和实用意义。

目的是研究根据亲肝造影剂 磁共振成像获得的指数对肝脏进行功能评估的可能性。

材料和方法。对接受静脉注射钆塞酸造影剂磁共振成像的患者数据进行了分析。患者分为两组：肝功能受损组（第一组）和肝功能正常组（第二组）。根据磁共振成像数据评估了以下参数：肝脏信号强度、肝脏信号强度与脾脏信号强度的比值以及肝脏信号强度与门静脉管腔信号强度的比值。对反映肝功能的实验室血液检查指标进行了评估：总胆红素、白蛋白、丙氨酸氨基转移酶、天门冬氨酸氨基转移酶、 γ -谷氨酰转肽酶、碱性磷酸酶、凝血酶原时间。我们分析了组间磁共振参数差异的统计学意义，评估了肝脏信号强度值与实验室血液检查数据之间是否存在相关性。

结果。对 53 名患者（25 名男性和 28 名女性，年龄在 24 至 84 岁之间）的数据进行了分析。第一组包括 19 人，第二组包括 34 人。研究组之间的肝脏信号强度和肝脏信号强度与脾脏信号强度的比值差异具有统计学意义。第一组的肝信号强度值为 919.05 [669.65; 1258.35]，第二组为 1525.13 [1460.5; 1631.4] ($P=0.0000001$)。第一组肝脏信号强度与脾脏信号强度的比值为 1.2 [1.04; 1.7]，第二组为 1.7 [1.46; 1.96] ($P=0.00076$)。第一组肝脏信号强度与门静脉管腔信号强度的比值为 1.44 [1.29; 1.83]，第二组为 1.6 [1.43; 1.83] ($P=0.1$)。对肝脏信号强度与总胆红素 ($r=-0.61$; $P=0.000001$)、白蛋白 ($r=0.13$; $P=0.61$)、天冬氨酸氨基转移酶 ($r=-0.57$; $P=0.000009$)、丙氨酸氨基转移酶 ($r=-0.44$; $P=0.001$)、碱性磷酸酶 ($r=-0.45$; $P=0.0007$)、 γ -谷氨酰转肽酶 ($r=-0.5$; $P=0.0003$)、凝血酶原时间 ($r=-0.34$; $P=0.04$) 的相关性也进行了评估。在 Chaddock 标上，肝脏信号强度指数与总胆红素、天门冬氨酸氨基转移酶值之间存在明显的相关性。肝脏信号强度指数与丙氨酸氨基转移酶、碱性磷酸酶、 γ -谷氨酰转肽酶、凝血酶原时间之间的相关性中等。

结论。磁共振成像参数（肝脏信号强度及其与脾脏信号强度的比值）在肝脏功能评估中的有效性得到了证实。研究并未证实肝脏信号强度与门静脉管腔信号强度的比值等参数的有效性假设。除白蛋白外，肝脏信号强度值与反映肝功能的实验室血液化验指标之间建立了统计学意义上的反相关关系。结果表明，磁共振成像可用于肝脏功能评估。

关键词：磁共振成像；肝脏；肝硬化；造影剂检查；亲肝造影剂；钆塞酸。

引用本文：

Ageeva SF, Sinitsyn VE, Mershina EA, Rucheva NA, Petrova EI. 使用亲肝造影剂进行磁共振成像以评估肝脏功能的可能性. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):137–148. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624826>

收到: 21.12.2023

接受: 06.02.2024

发布日期: 19.06.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Печень является жизненно важным органом, выполняющим множество функций: детоксикационную, метаболическую (синтез белков, участие в жировом, углеводном обменах и др.), внешнесекреторную. Нарушения в работе печени встречаются при различных состояниях (инфекционных, аутоиммунных заболеваниях, лекарственных поражениях и т.д.) и на ранних этапах могут протекать бессимптомно. Оценка функционирования органа необходима для определения тактики ведения пациента с патологией печени, особенно при планировании оперативного лечения — во избежание развития осложнений, связанных с пострезекционной печёночной недостаточностью. Существующие лабораторные и инструментальные методы её анализа имеют свои недостатки и преимущества [1, 2].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) с внеклеточными контрастными агентами активно применялась для оценки анатомии и характеристики образований печени. Появление гепатотропных контрастных агентов расширило диагностические возможности метода за счёт появления новой фазы — гепатоспецифической (ГСФ).

К гепатотропным контрастным препаратам относятся гадобеновая кислота и гадоксетовая кислота [3, 4]. Между приведёнными препаратами имеются существенные различия. Около 5% от введённой дозы гадобеновой кислоты поглощается гепатоцитами. ГСФ оценивается через 1–3 часа от начала инъекции. При использовании же гадоксетовой кислоты (ГК) в качестве контрастного агента в клетки печени поступает значительно больше вещества — до 50%. ГСФ обычно получают через 15–25 минут от введения препарата. В связи с характеристиками препарата в клинической практике для оценки ГСФ чаще используется ГК [3].

Существуют предварительные данные, что магнитно-резонансные (МР) исследования (с гепатотропными контрастными средствами) могут применяться и для оценки функционирования печени. Изучение возможности использования МРТ как метода анатомической и функциональной оценки печени представляет существенный научный и практический интерес.

ЦЕЛЬ

Изучить возможность функциональной оценки печени на основании показателей, полученных при анализе данных МРТ органа с контрастированием гепатотропным контрастным веществом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Данная работа представляет результат ретроспективного многоцентрового выборочного исследования.

Критерии соответствия

В рамках исследования были проанализированы данные пациентов старше 18 лет, которым была проведена МРТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием ГК, и были выполнены лабораторные анализы крови (общий анализ крови, биохимический анализ крови, коагулограмма).

Для последующего статистического анализа пациенты были разделены на две группы. В первую группу были включены пациенты с циррозом печени различной этиологии и признаками нарушения функций печени по данным клиничко-лабораторного анализа. Во вторую группу были включены пациенты с неизменённой паренхимой печени, доброкачественными образованиями печени, артериовенозными шунтами в отсутствие признаков нарушения функций печени по данным клиничко-лабораторного анализа.

Условия проведения

Работа была выполнена с использованием данных трёх центров за 2020–2023 год: Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр трансплантологии и искусственных органов имени академика В.И. Шумакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Медицинского научно-образовательного центра Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Отраслевого клиничко-диагностического центра ПАО «Газпром».

Протокол магнитно-резонансной томографии

МР-исследования печени с контрастированием ГК были выполнены на трёх моделях МР-томографов. В Национальном медицинском исследовательском центре трансплантологии и искусственных органов имени академика В.И. Шумакова был использован Signa Voyager 1,5 Тесла (GE Healthcare, США), в Медицинском научно-образовательном центре Московского государственного университета — Magnetom Vida 3 Тесла (Siemens Healthineers, Германия), в Отраслевом клиничко-диагностическом центре ПАО «Газпром» — Ingenia 1,5 Тесла (Philips, Нидерланды).

Контрастное вещество (Primovist, Bayer Healthcare, Германия) вводилось внутривенно из расчёта 0,025 ммоль/кг массы тела. Протокол МР-исследования представлен в табл. 1.

Для анализа использовались серии поперечных T1-взвешенных изображений (ВИ) с толщиной среза 3–6 мм — до введения контрастного вещества и через 15–20 мин после его введения.

Измерялась интенсивность сигнала (в условных единицах) в области интереса (region of interest, ROI), помещённой на:

- паренхиму печени (левую и правую доли), вне границ опухолей, сосудов, желчных протоков и артефактов (если такие имеются), ROI диаметром не менее 2 см²;

Таблица 1. Протокол магнитно-резонансной томографии печени с использованием гадооксетовой кислоты в качестве контрастного агента

Программа	Импульсная последовательность	TR, мс	TE, мс	FA, град	Толщина среза, мм	Число срезов
Топограмма	HASTE	2000	90	110	5	3
T2-ВИ, поперечная плоскость	TSE	3000	90	140	5	20–30
T2-ВИ с подавлением сигнала от жира, поперечная и фронтальная плоскости	TSE	3000	90	140	5	20–30
T1-ВИ, поперечная и фронтальная плоскости	VIBE	9	4	10	3	25
T1-ВИ со сдвигом фазы, поперечная плоскость	VIBE	9	2 и 5	10	3	25
Диффузионно-взвешенные изображения, b-фактор 0, 500, 1000, поперечная плоскость	DWI	6000	90	–	3	20
T1-ВИ для динамического контрастирования (6 фаз), поперечная плоскость	VIBE	9	4	10	3	30
МР-холангиография, фронтальная плоскость	HASTE	2500	110	130	3	35
T1-ВИ в отсроченную фазу, поперечная плоскость	VIBE	9	4	10	3	30

Примечание. ВИ — взвешенное изображение; МР — магнитно-резонансная.

- паренхиму селезёнки, ROI диаметром не менее 2 см²;
 - просвет воротной вены, ROI диаметром не менее 0,5 см² (рис. 1).

По данным МРТ с контрастированием ГК были рассчитаны следующие показатели:
- интенсивность сигнала печени (ИСП) — среднее значение интенсивности сигнала (ИС) левой правой долей печени:
$$\text{ИСП} = \frac{\text{ИС}_{\text{левой доли}} + \text{ИС}_{\text{правой доли}}}{2};$$
 - отношение ИСП к интенсивности сигнала селезёнки (ИСС): ИСП/ИСС;

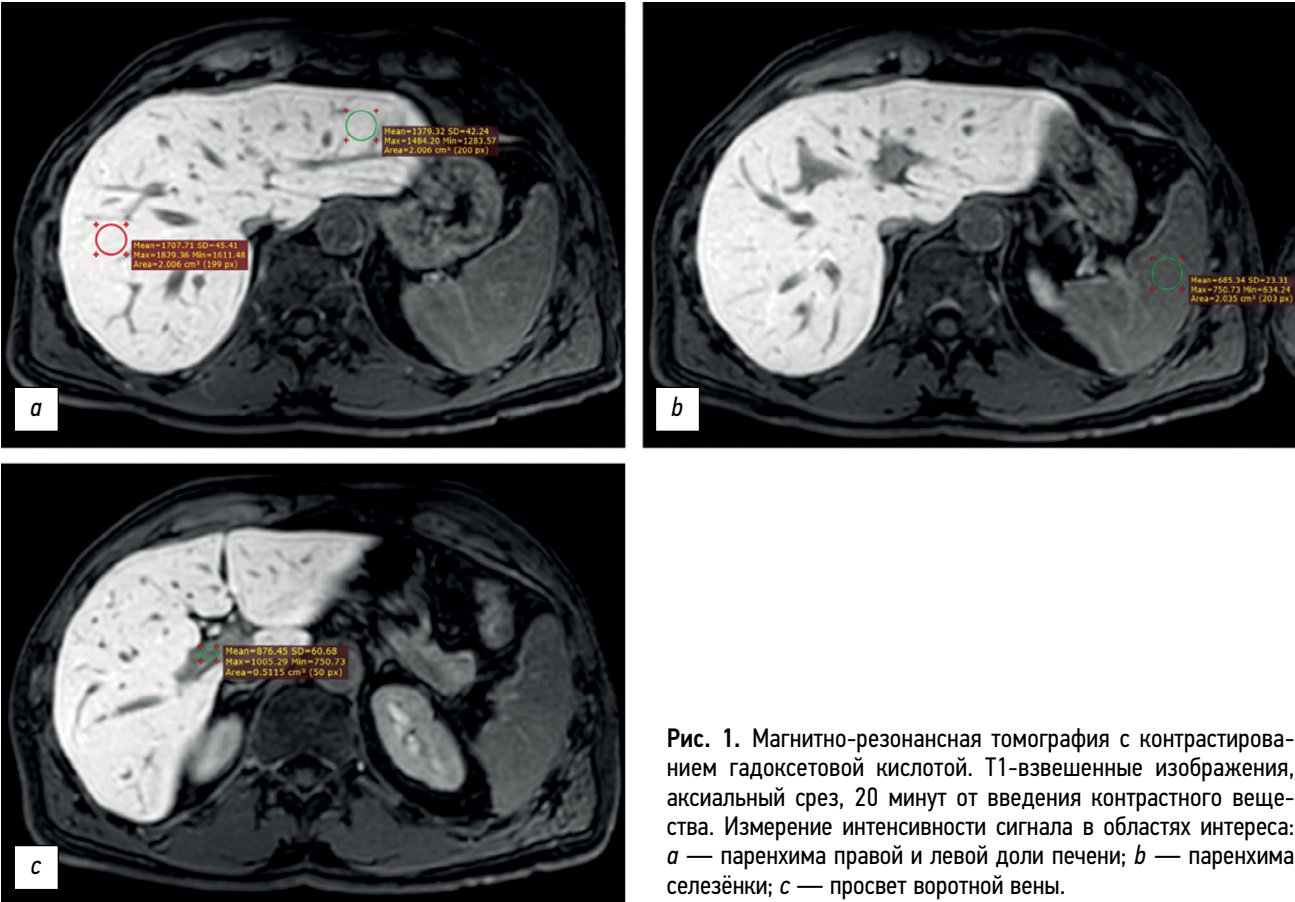


Рис. 1. Магнитно-резонансная томография с контрастированием гадооксетовой кислотой. T1-взвешенные изображения, аксиальный срез, 20 минут от введения контрастного вещества. Измерение интенсивности сигнала в областях интереса: *a* — паренхима правой и левой доли печени; *b* — паренхима селезёнки; *c* — просвет воротной вены.

- отношение ИСП к интенсивности сигнала в просвете воротной вены (ИСВ): ИСП/ИСВ.

В каждой группе анализировались следующие данные лабораторного анализа крови, ближайшие к дате МР-исследования с ГК: общий билирубин, альбумин, аланинаминотрансфераза (АЛТ), аспартатаминотрансфераза (АСТ), γ -глутамилтранспептидаза (ГГТ), щелочная фосфатаза (ЩФ), протромбиновое время (ПВ).

Статистический анализ

Статистическая обработка данных была выполнена с использованием программы STATISTICA 12.0 (TIBCO Software, США). Оценка статистической значимости различий между первой и второй группой была проведена с использованием U-критерия Манна–Уитни по следующим параметрам: ИСП, ИСП/ИСС, ИСП/ИСВ. Ранговая корреляция по Спирмену была проведена с целью выявления связи между значениями ИСП и следующими показателями лабораторного анализа крови: общим билирубином, альбумином, АСТ, АЛТ, ЩФ, ГГТ, ПВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ
Объекты (участники) исследования

В рамках данной работы были проанализированы данные 53 пациентов (25 мужчин и 28 женщин), которым была выполнена МРТ органов брюшной полости с внутривенным контрастированием ГК.

В первую группу (19 человек в возрасте от 34 лет до 71 года, средний возраст $51,2 \pm 9,8$ года) были включены пациенты с циррозом печени различной этиологии (табл. 2).

Во вторую группу (34 человека в возрасте от 24 до 84 лет, средний возраст $57,6 \pm 15,8$ года) были включены пациенты с ненарушенными функциями печени (табл. 3).

Основные результаты исследования

Результаты проведённого статистического анализа значимости различий между группами по параметрам ИСП, ИСП/ИСС, ИСП/ИСВ представлены в табл. 4.

Таблица 2. Характеристика пациентов первой группы по этиологии изменений печени

Этиология изменений печени	Количество пациентов	Злокачественные образования
Гепатит С	8	У 4 обследуемых была гистологически верифицирована ГЦК, у двоих — ГЦК была выявлена по данным МРТ с контрастированием ГК без гистологического подтверждения
Гепатит В	2	У 1 обследуемого гистологически верифицирован холангиоцеллюлярный рак
Алиментарная этиология	2	—
Неуточнённая этиология	1	—
Токсическая этиология	1	—
Неалкогольная жировая болезнь печени	1	—
Первичный склерозирующий холангит	2	—
Синдром Бадда–Киари	1	—
Болезнь Вильсона–Коновалова	1	—

Примечание. ГК — гадоксетовая кислота; ГЦК — гепатоцеллюлярная карцинома; МРТ — магнитно-резонансная томография.

Таблица 3. Характеристика пациентов второй группы по этиологии изменений печени

Этиология изменений печени	Количество пациентов
Неизменённая паренхима печени	7
Доброкачественные образования печени (аденомы печени, фокальные нодулярные гиперплазии, гемангиомы, кисты печени)	25
Артериовенозные шунты	2

Таблица 4. Результаты статистического анализа значимости различий первой и второй групп

	Значение ИСП	Значение ИСП/ИСС	Значение ИСП/ИСВ
Первая группа	919,05 [669,65; 1258,35]	1,2 [1,04; 1,7]	1,44 [1,29; 1,83]
Вторая группа	1525,13 [1460,5; 1631,4]	1,7 [1,46; 1,96]	1,6 [1,43; 1,83]
Значение p	0,0000001	0,00076	0,1

Примечание. ИСП — интенсивность сигнала печени; ИСП/ИСС — отношение интенсивности сигнала печени к интенсивности сигнала селезёнки; ИСП/ИСВ — отношение интенсивности сигнала печени к интенсивности сигнала в просвете воротной вены.

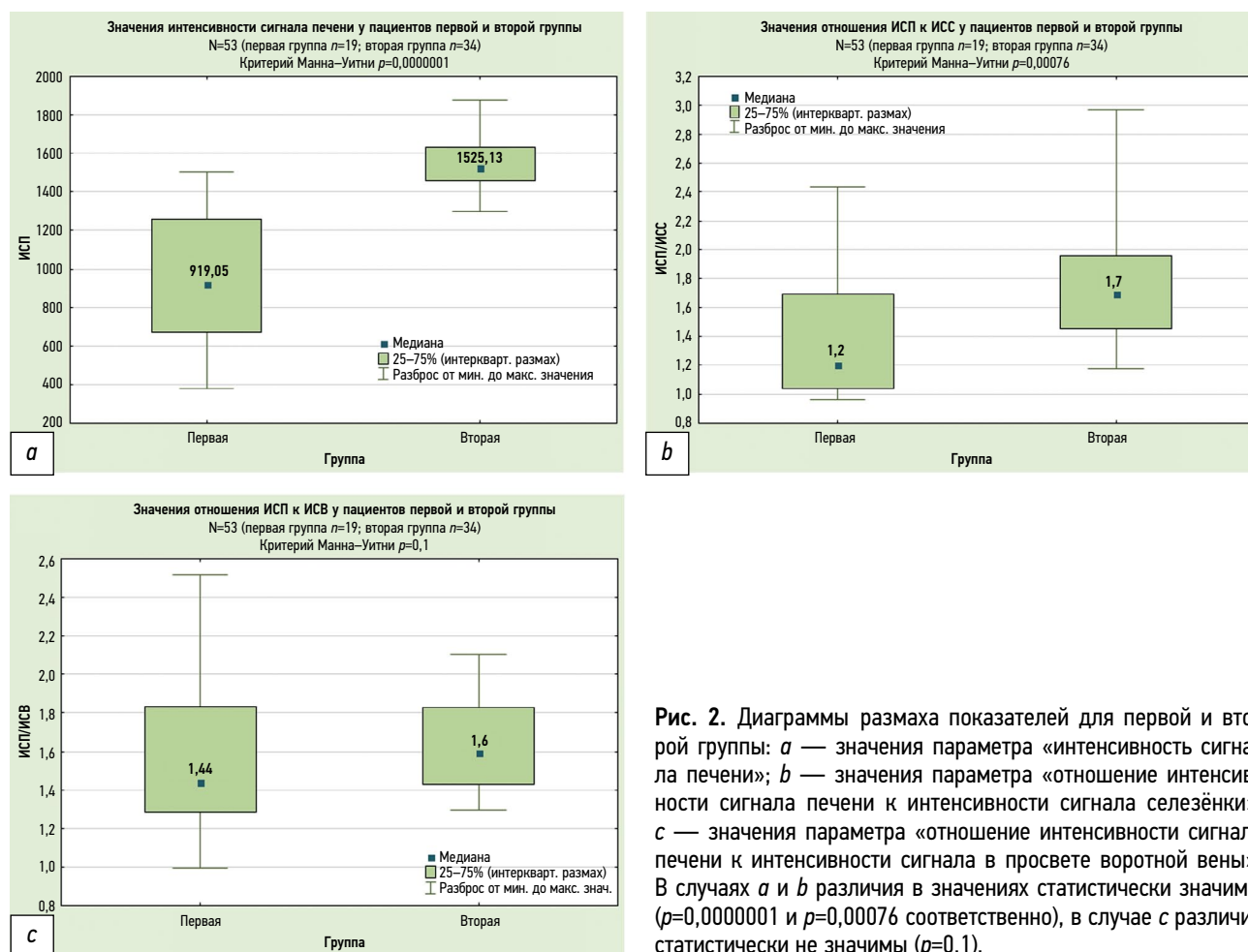


Рис. 2. Диаграммы размаха показателей для первой и второй группы: *a* — значения параметра «интенсивность сигнала печени»; *b* — значения параметра «отношение интенсивности сигнала печени к интенсивности сигнала селезёнки»; *c* — значения параметра «отношение интенсивности сигнала печени к интенсивности сигнала в просвете воротной вены». В случаях *a* и *b* различия в значениях статистически значимы ($p=0,0000001$ и $p=0,00076$ соответственно), в случае *c* различия статистически не значимы ($p=0,1$).

При сравнении групп было установлено, что значение ИСП у пациентов с неизменённой паренхимой печени статистически значимо выше, чем у пациентов с циррозом печени ($p < 0,001$). Показатель ИСП/ИСС также статистически значимо различался между группами: во второй группе значение медианы параметра значимо выше ($p < 0,001$). Статистически значимые различия между группами по параметру ИСП/ИСВ выявлены не были ($p > 0,05$) (рис. 2).

В ходе корреляционного анализа были выявлены статистически значимые обратные связи значения ИСП со следующими показателями анализа крови:

- общий билирубин ($r=-0,61$; $p=0,000001$);
- АСТ ($r=-0,57$; $p=0,000009$);
- АЛТ ($r=-0,44$; $p=0,001$);
- ЩФ ($r=-0,45$; $p=0,0007$);
- ГГТ ($r=-0,5$; $p=0,0003$);
- ПВ ($r=-0,34$; $p=0,04$) (рис. 3).

По шкале Чеддока заметная сила корреляционной связи была выявлена между значением ИСП и значениями общего билирубина и АСТ. Умеренная сила корреляции была установлена между ИСП и показателями АЛТ, ЩФ, ГГТ и ПВ.

В связи с недостаточным количеством данных по значениям альбумина сыворотки среди пациентов второй группы корреляционный анализ проводился по результатам лабораторных анализов крови пациентов первой

группы. Статистически значимой связи между показателем альбумина сыворотки и ИСП выявлено не было ($r=0,13$; $p=0,61$) (рис. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

По данным проведённого анализа следует, что значения ИСП значительно различаются между исследуемыми группами. Высокие значения ИСП пациентов второй группы обусловлены активным захватом ГК гепатоцитами с сохранной функцией [5, 6]. В первой группе захват контрастного агента клетками снижен в связи с нарушением функции гепатоцитов и уменьшением их количества, что отражается в снижении интенсивности сигнала паренхимы печени при МР-исследовании [7, 8].

В отношении селезёнки ГК демонстрирует характеристики внеклеточного контрастного агента, поскольку клетки органа не содержат белков, транспортирующих ГК внутрь клетки [9]. Было предположено, что показатель ИСП/ИСС может отражать функциональное состояние печени. По результатам проведённого анализа были выявлены статистически значимые различия значений ИСП/ИСС между группами, что даёт основания предполагать, что данный параметр может быть эффективен в функциональной оценке органа.

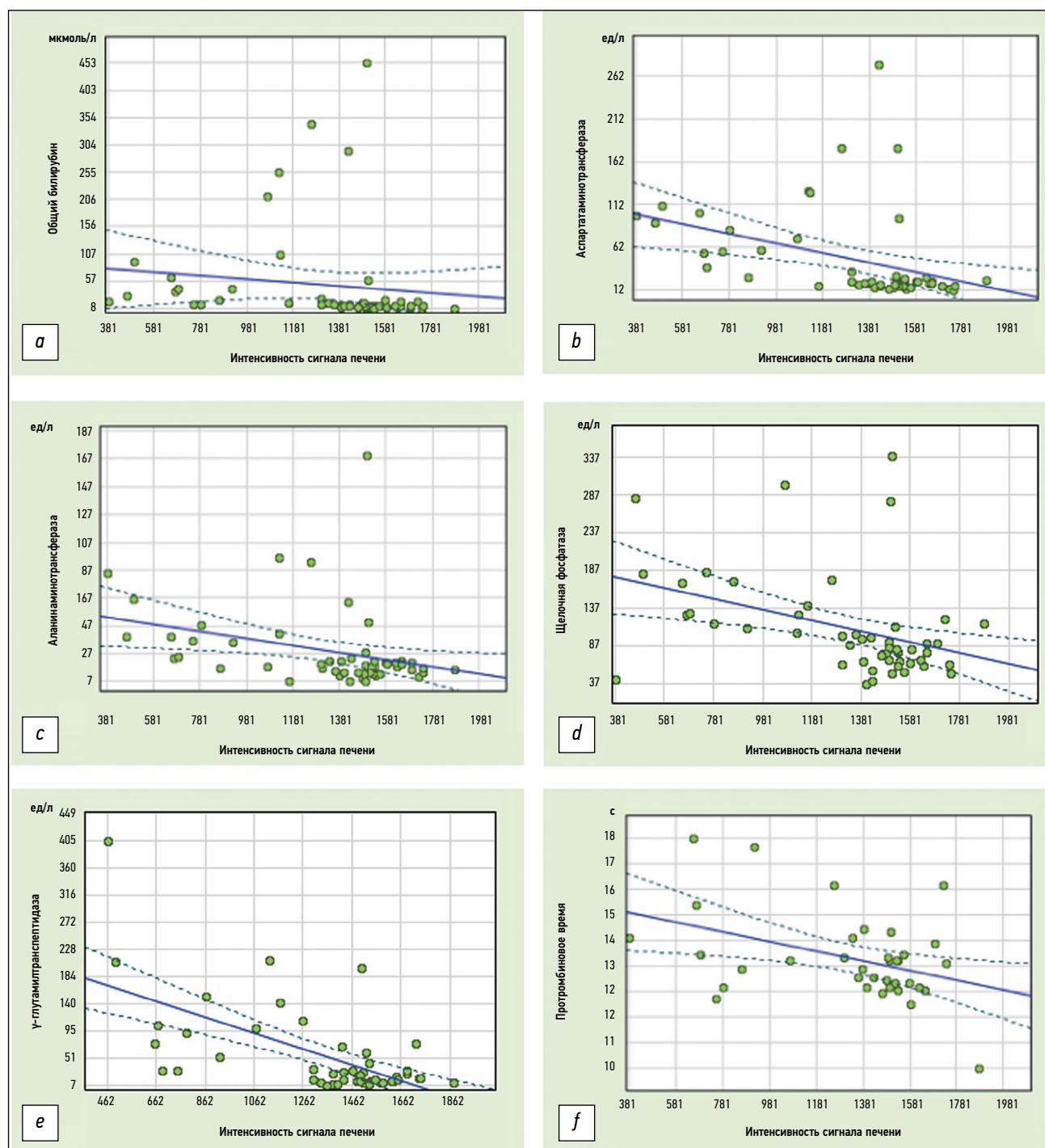


Рис. 3. Диаграммы рассеяния для показателя «интенсивность сигнала печени» и следующих параметров: *a* — концентрации общего билирубина ($r = -0.61$; $p = 0.000001$); *b* — уровня активности аспартатаминотрансферазы ($r = -0.57$; $p = 0.000009$); *c* — уровня активности аланинаминотрансферазы ($r = -0.44$; $p = 0.001$); *d* — уровня активности щелочной фосфатазы ($r = -0.45$; $p = 0.0007$); *e* — уровня активности γ -глутамилтранспептидазы ($r = -0.5$; $p = 0.0003$); *f* — протромбинового времени ($r = -0.34$; $p = 0.04$).

Таким образом, показатели ИСП и ИСП/ИСС могут отражать функцию печени, что согласуется с результатами исследований других авторов.

М. Yang и соавт. в своей работе провели анализ лабораторных данных и МР-изображений с контрастированием ГК, полученных от 120 пациентов (с нормальной и нарушенной функцией печени). Оценка проводилась по следующим параметрам, полученным в ГСФ: ИСП, ИСВ,

ИСС, ИСП/ИСВ, ИСП/ИСС, ИСВ/ИСС. Значимые различия были выявлены среди следующих показателей: ИСП, ИСП/ИСВ, ИСП/ИСС. Авторы пришли к выводу, что данные параметры могут быть использованы в функциональной оценке печени [9].

В исследовании N. Bastati и соавт. на основании анализа данных 128 пациентов, было показано, что МРТ с ГК позволяет оценить вероятность приживления трансплантата

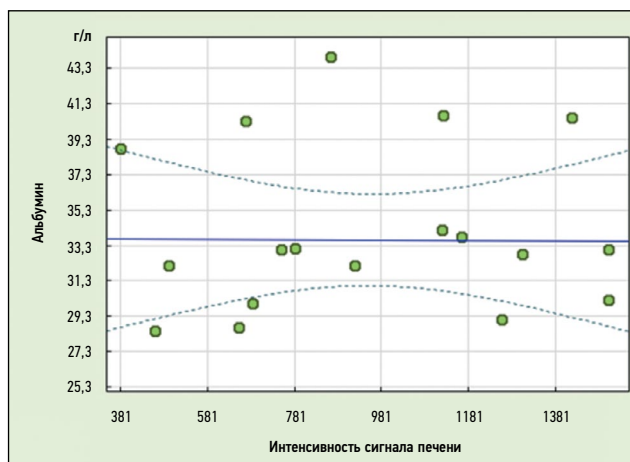


Рис. 4. Диаграмма рассеяния для показателя «интенсивность сигнала печени» и концентрации альбумина ($r=0,13$; $p=0,61$).

печени у пациентов, перенёвших ортотопическую трансплантацию органа. В своей работе авторы использовали визуализационную систему функциональной оценки печени (functional liver imaging score, FLIS), основанную на сумме трёх критериев, каждый из которых оценивается от 0 до 2 баллов (ИСП, экскреция ГК в желчевыводящие пути, соотношение ИСП и ИСВ). Кроме того, был оценён индекс относительного контрастного усиления печени (ИОКУП) [10]:

$$\text{ИОКУП} = \frac{\text{ИСП}_{\text{в ГСФ}} - \text{ИСП}}{\text{ИСП}} \times 100.$$

М.К. Мнацаканян и соавт. в своей работе сравнивали эффективность МР-оценки функции печени пациентов, которым планируется оперативное лечение, с гепатосцинтиграфией с Тс-99м-меброфенином, совмещённой с однофотонной эмиссионной компьютерной томографией. МР-оценка происходила по показателю функционального остатка печени (FunctFLR) и гепатоцеллюлярному индексу поглощения (HIU), оцениваемым по ГСФ. Кроме того, проводилась оценка по системе FLIS.

FunctFLR был рассчитан по формуле:

$$\text{FunctFLR} = \text{FLR} \times \frac{\text{RLE}}{m},$$

где FLR — будущий остаток печени, который определялся с помощью КТ или МР-волюметрии, m — масса тела пациента, а RLE — относительное контрастное усиление печени. Оно было рассчитано по формуле:

$$\text{RLE} = \frac{Si_{hb} - Si_{pre}}{Si_{pre}},$$

где Si_{hb} — средняя интенсивность сигнала трёх областей интереса в гепатобилиарной фазе, Si_{pre} — средняя интенсивность сигнала трёх областей в нативной фазе.

HIU оценивался по формуле:

$$\text{HIU} = \text{VL} \times \left(\frac{\text{L20}}{\text{S20}} - 1 \right),$$

где VL — объём печени, L20 — средняя ИСП на контрастных T1-ВИ с подавлением жира, S20 — средняя ИСС на контрастных T1-ВИ с подавлением жира.

Авторы сделали вывод о возможной перспективе использования МРТ с ГК в качестве альтернативного метода функциональной оценки печени при планировании обширных резекций [11].

В ряде работ также была отражена эффективность показателя ИСП/ИСВ в функциональной оценке печени [9, 12]. К примеру, в исследовании W. Zhang и соавт. анализировались данные МРТ с контрастированием ГК, полученные от 92 пациентов с ненарушенной функцией печени и с циррозом на фоне гепатита В. Оценивались следующие показатели: ИСП/ИСВ в ГСФ, значения лабораторных анализов крови (общего билирубина, альбумина, количества тромбоцитов). Было установлено, что показатель ИСП/ИСВ в ГСФ отражает тяжесть поражения функции у пациентов с циррозом печени на фоне гепатита В и коррелирует с лабораторными данными. Авторы пришли к выводу, что данный показатель может служить биомаркером, позволяющим оценить функцию печени [12].

Однако в текущем исследовании данное предположение не нашло подтверждения: значения ИСП/ИСВ между группами статистически значимо не различались. Возможно, это обусловлено выраженной гипербилирубинемией у некоторых пациентов первой группы, особенно у пациентов с первичным склерозирующим холангитом. Так, в исследовании N.K. Lee и соавт. было выявлено, что билирубин конкурирует с ГК за поглощение гепатоцитами в условиях выраженной гипербилирубинемии, что приводит к задержке поглощения ГК и замедлению выведения контрастного агента из крови [13]. В настоящем исследовании первая группа гетерогенна по этиологии цирротических изменений печени, медиана значений общего билирубина равняется 43,25 [22,4; 211,17] мкмоль/л. По всей вероятности, выраженная гипербилирубинемия ряда пациентов первой группы повлияла на показатель ИСП/ИСВ, что в условиях небольшой выборки привело к отсутствию статистической значимости различий параметра ИСП/ИСВ между группами.

Данные проведённого корреляционного анализа также свидетельствуют в пользу возможности МР-оценки функции печени и во многом соотносятся с результатами исследования M. Yang и соавт., которые в ходе своего исследования выявили статистически значимые обратные связи для ИСП и значений общего билирубина ($r=-0,52$; $p<0,001$), альбумина ($r=0,48$; $p<0,001$), АСТ ($r=-0,5$; $p<0,001$), АЛТ ($r=-0,49$; $p<0,001$) и ПВ ($r=-0,52$; $p<0,001$) [9]. В настоящем исследовании, в отличие от работы M. Yang и соавт., не подтвердилось наличие корреляционной связи между значениями ИСП и показателями альбумина сыворотки. Данный факт может быть обусловлен небольшим объёмом

выборки — альбумин редко был включён в лабораторный анализ крови пациентов второй группы, в связи с чем наличие корреляции оценивалось по данным пациентов первой группы.

В настоящем исследовании между показателем ИСП и значением общего билирубина крови установлена заметная сила корреляционной связи ($r = -0,61$; $p < 0,001$). Стоит отметить, что именно данный маркер используется в ряде шкал для определения функционального состояния печени. К примеру, на основании уровня общего билирубина крови в системе оценки Консорциума хронической печёночной недостаточности (Chronic Liver Failure-Consortium) и шкале последовательной оценки органной недостаточности (Sequential Organ Failure Assessment) оценивается дисфункция печени [14, 15]. Азиатско-Тихоокеанская ассоциация по изучению печени (Asian Pacific Association for the Study of the Liver), в своём определении острой печёночной недостаточности на фоне хронической, предлагает оценивать два показателя лабораторных анализов крови: общий билирубин и международное нормализованное отношение, или активность протромбина [15]. Таким образом, полученный в текущем исследовании результат корреляционного свидетельствует о возможности функциональной оценки печени на основании данных МРТ с контрастированием ГК.

Ограничения исследования

Отсутствие корреляционной связи между значениями ИСП и показателями альбумина сыворотки может быть обусловлено недостаточным количеством анализируемых данных. Требуется дальнейшее исследование с большим количеством пациентов.

Пациенты первой группы гетерогенны по этиологии цирроза, что могло повлиять на отсутствие статистической значимости различий по параметру ИСП/ИСВ. Необходимо дальнейшее исследование с большим количеством пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведённого анализа выявлены статистически значимые различия между группами пациентов с нормальными и нарушенными функциями печени по таким МР-показателям, как ИСП и ИСП/ИСС. Эти результаты подтверждают возможность функциональной оценки печени по МРТ с контрастированием ГК. Для показателя ИСП/ИСВ не подтвердилось наличие статистически значимых различий между группами, что может быть обусловлено выраженной гипербилирубинемией у ряда пациентов первой группы.

В результате проведённого корреляционного анализа были установлены статистически значимые обратные

связи между значениями ИСП и показателями общего билирубина, АСТ, АЛТ, ГГТ, ЩФ и ПВ в анализах крови. Эти данные также подтверждают возможность оценки функции печени с помощью МРТ с контрастированием ГК.

По данным корреляционного анализа статистически значимая связь между значениями альбумина и показателями ИСП пациентов первой группы не была установлена, что может быть обусловлено недостаточным объёмом анализируемых данных.

Достоинством предложенного метода является возможность функциональной оценки печени дополнительно к основным показаниям исследования (диагностике и характеристике образований). Это перспективный метод, основанный на физиологии поглощения ГК гепатоцитами.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: С.Ф. Агеева — концепция и дизайн исследования, сбор данных, проведение исследования, поиск и обработка литературы, проведение статистического анализа, подготовка текста рукописи; В.Е. Синицын, Е.А. Мершина — концепция и дизайн исследования, сбор данных, проведение исследования, редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи; Н.А. Ручьева, Е.И. Петрова — сбор данных, консультативная поддержка.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. S.F. Ageeva — research conception and design, data acquisition, conduct of the study, literature search and processing, statistical analysis, manuscript preparation; V.E. Sinitsyn, E.A. Merschina — research conception and design, data acquisition, conduct of the study, editing and approval of the final manuscript; N.A. Rucheva, E.I. Petrova — data acquisition, advisory support.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peng Y., Qi X., Guo X. Child–Pugh Versus MELD Score for the Assessment of Prognosis in Liver Cirrhosis // *Medicine*. 2016. Vol. 95, N 8. P. e2877. doi: 10.1097/MD.0000000000002877
2. Ликарь Ю.Н., Ахаладзе Д.Г., Румянцев А.Г. Гепатобилиарная сцинтиграфия в предоперационной оценке функции планируемого остатка печени (обзор литературы и собственные примеры) // *Российский журнал детской гематологии и онкологии*. 2020. Т. 7, № 1. С. 62–69. EDN: VWDZUW doi: 10.21682/2311-1267-2020-7-1-62-69
3. Chernyak V., Fowler K.J., Heiken J.P., Sirlin C.B. Use of gadoxetate disodium in patients with chronic liver disease and its implications for liver imaging reporting and data system (LI-RADS) // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2019. Vol. 49, N 5. P. 1236–1252. doi: 10.1002/jmri.26540
4. Welle C.L., Guglielmo F.F., Venkatesh S.K. MRI of the liver: choosing the right contrast agent // *Abdominal Radiology*. 2020. Vol. 45, N 2. P. 384–392. doi: 10.1007/s00261-019-02162-5
5. Furlan A., Borhani A.A., Heller M.T., Yu R.K., Tublin M.E. Non-focal liver signal abnormalities on hepatobiliary phase of gadoxetate disodium-enhanced MR imaging: a review and differential diagnosis // *Abdominal Radiology*. 2016. Vol. 41, N 7. P. 1399–1410. doi: 10.1007/s00261-016-0685-z
6. Cho S.H., Kang U.R., Kim J.D., Han Y.S., Choi D.L. The value of gadoxetate disodium-enhanced MR imaging for predicting posthepatectomy liver failure after major hepatic resection: A preliminary study // *Eur J Radiol*. 2011. Vol. 80, N 2. P. e195–e200. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.08.008
7. Colletini F., Elkilany A., Seta M.D., et al. MR imaging of hepatocellular carcinoma: prospective intraindividual head-to-head comparison of the contrast agents gadoxetic acid and gadoteric acid // *Sci Rep*. 2022. Vol. 12, N 1. P. 18583. doi: 10.1038/s41598-022-23397-1
8. Galle P.R., Forner A., Llovet J.M., et al. EASL Clinical Practice Guidelines: Management of hepatocellular carcinoma // *J Hepatol*. 2018. Vol. 69, N 1. P. 182–236. doi: 10.1016/j.jhep.2018.03.019
9. Yang M., Zhang Y., Zhao W., et al. Evaluation of liver function using liver parenchyma, spleen and portal vein signal intensities during the hepatobiliary phase in Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI // *BMC Med Imaging*. 2020. Vol. 20, N 1. P. 119. doi: 10.1186/s12880-020-00519-7
10. Bastati N., Wibmer A., Tamandl D., et al. Assessment of Orthotopic Liver Transplant Graft Survival on Gadaxetic Acid–Enhanced Magnetic Resonance Imaging Using Qualitative and Quantitative Parameters // *Invest Radiol*. 2016. Vol. 51, N 11. P. 728–734. doi: 10.1097/RLI.0000000000000286
11. Мнацаканян М.К., Рубцова Н.А., Кабанов Д.О., и др. Роль магнитно-резонансной томографии с гадоксетовой кислотой в оценке функционального резерва печени // *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2022. Т. 12, № 1. С. 43–55. EDN: GXFGZS doi: 10.21569/2222-7415-2022-12-1-43-55
12. Zhang W., Wang X., Miao Y., Hu C., Zhao W. Liver function correlates with liver-to-portal vein contrast ratio during the hepatobiliary phase with Gd-EOB-DTPA-enhanced MR at 3 Tesla // *Abdominal Radiology*. 2018. Vol. 43, N 9. P. 2262–2269. doi: 10.1007/s00261-018-1462-y
13. Lee N.K., Kim S., Kim G.H., et al. Significance of the “Delayed hyperintense portal vein sign” in the hepatobiliary phase MRI obtained with Gd-EOB-DTPA // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2012. Vol. 36, N 3. P. 678–685. doi: 10.1002/jmri.23700
14. Vincent J.L., Moreno R., Takala J., et al. The SOFA (Sepsis-related Organ Failure Assessment) score to describe organ dysfunction/failure // *Intensive Care Med*. 1996. Vol. 22, N 7. P. 707–710. doi: 10.1007/BF01709751
15. Zeccherini G., Weiss E., Moreau R. Acute-on-chronic liver failure: Definitions, pathophysiology and principles of treatment // *JHEP Reports*. 2021. Vol. 3, N 1. P. 100176. doi: 10.1016/j.jhepr.2020.100176

REFERENCES

1. Peng Y, Qi X, Guo X. Child–Pugh Versus MELD Score for the Assessment of Prognosis in Liver Cirrhosis. *Medicine*. 2016;95(8):e2877. doi: 10.1097/MD.0000000000002877
2. Likar YuN, Akhaladze DG, Rumyantsev AG. Hepatobiliary scintigraphy in the preoperative assessment of the future remnant liver function (literature review and own examples). *The Russian Journal of Pediatric Hematology and Oncology*. 2020;7(1):62–69. EDN: VWDZUW doi: 10.21682/2311-1267-2020-7-1-62-69
3. Chernyak V, Fowler KJ, Heiken JP, Sirlin CB. Use of gadoxetate disodium in patients with chronic liver disease and its implications for liver imaging reporting and data system (LI-RADS). *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2019;49(5):1236–1252. doi: 10.1002/jmri.26540
4. Welle CL, Guglielmo FF, Venkatesh SK. MRI of the liver: choosing the right contrast agent. *Abdominal Radiology*. 2020;45(2):384–392. doi: 10.1007/s00261-019-02162-5
5. Furlan A, Borhani AA, Heller MT, Yu RK, Tublin ME. Non-focal liver signal abnormalities on hepatobiliary phase of gadoxetate disodium-enhanced MR imaging: a review and differential diagnosis. *Abdominal Radiology*. 2016;41(7):1399–1410. doi: 10.1007/s00261-016-0685-z
6. Cho SH, Kang UR, Kim JD, Han YS, Choi DL. The value of gadoxetate disodium-enhanced MR imaging for predicting posthepatectomy liver failure after major hepatic resection: A preliminary study. *Eur J Radiol*. 2011;80(2):e195–e200. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.08.008
7. Colletini F, Elkilany A, Seta MD, et al. MR imaging of hepatocellular carcinoma: prospective intraindividual head-to-head comparison of the contrast agents gadoxetic acid and gadoteric acid. *Sci Rep*. 2022;12(1):18583. doi: 10.1038/s41598-022-23397-1
8. Galle PR, Forner A, Llovet JM, et al. EASL Clinical Practice Guidelines: Management of hepatocellular carcinoma. *J Hepatol*. 2018;69(1):182–236. doi: 10.1016/j.jhep.2018.03.019
9. Yang M, Zhang Y, Zhao W, et al. Evaluation of liver function using liver parenchyma, spleen and portal vein signal intensities during the hepatobiliary phase in Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI. *BMC Med Imaging*. 2020;20(1):119. doi: 10.1186/s12880-020-00519-7
10. Bastati N, Wibmer A, Tamandl D, et al. Assessment of Orthotopic Liver Transplant Graft Survival on Gadaxetic Acid–

Enhanced Magnetic Resonance Imaging Using Qualitative and Quantitative Parameters. *Invest Radiol.* 2016;51(11):728–734. doi: 10.1097/RLI.0000000000000286

11. Mnatsakanyan MK, Rubtsova NA, Kabanov DO, et al. The role of magnetic resonance imaging with gadoxetic acid in the assessment of the functional reserve of the liver. *Russian Electronic Journal of Radiology.* 2022;12(1):43–55. EDN: GXFGZS doi: 10.21569/2222-7415-2022-12-1-43-55

12. Zhang W, Wang X, Miao Y, Hu C, Zhao W. Liver function correlates with liver-to-portal vein contrast ratio during the hepatobiliary phase with Gd-EOB-DTPA-enhanced MR at 3 Tesla. *Abdominal Radiology.* 2018;43(9):2262–2269. doi: 10.1007/s00261-018-1462-y

13. Lee NK, Kim S, Kim GH, et al. Significance of the “Delayed hyperintense portal vein sign” in the hepatobiliary phase MRI obtained with Gd-EOB-DTPA. *Journal of Magnetic Resonance Imaging.* 2012;36(3):678–685. doi: 10.1002/jmri.23700

14. Vincent JL, Moreno R, Takala J, et al. The SOFA (Sepsis-related Organ Failure Assessment) score to describe organ dysfunction/failure. *Intensive Care Med.* 1996;22(7):707–710. doi: 10.1007/BF01709751

15. Zaccherini G, Weiss E, Moreau R. Acute-on-chronic liver failure: Definitions, pathophysiology and principles of treatment. *JHEP Reports.* 2021;3(1):100176. doi: 10.1016/j.jhepr.2020.100176

ОБ АВТОРАХ

* Агеева София Фаильевна;

адрес: Россия, 119991, Москва, Ломоносовский пр-т,
д. 27, к. 10;
ORCID: 0009-0003-9563-6756;
eLibrary SPIN: 9695-3717;
e-mail: son.ageeva13@gmail.com

Синицын Валентин Евгеньевич, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-5649-2193;
eLibrary SPIN: 8449-6590;
e-mail: vsini@mail.ru

Мершина Елена Александровна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-1266-4926;
eLibrary SPIN: 6897-9641;
e-mail: elena_mershina@mail.ru

Ручьева Наталья Александровна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-8063-4462;
eLibrary SPIN: 2196-8300;
e-mail: rna1969@yandex.ru

Петрова Екатерина Игоревна, канд. мед. наук;

ORCID: 0009-0005-0355-8098;
e-mail: doc_mri@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Sofiia F. Ageeva;

address: 27-10 Lomonosovsky Prospekt, Moscow,
119991, Russia;
ORCID: 0009-0003-9563-6756;
eLibrary SPIN: 9695-3717;
e-mail: son.ageeva13@gmail.com

Valentin E. Sinitsyn, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-5649-2193;
eLibrary SPIN: 8449-6590;
e-mail: vsini@mail.ru

Elena A. Merzhina, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-1266-4926;
eLibrary SPIN: 6897-9641;
e-mail: elena_mershina@mail.ru

Natalia A. Rucheva, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-8063-4462;
eLibrary SPIN: 2196-8300;
e-mail: rna1969@yandex.ru

Ekaterina I. Petrova, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0009-0005-0355-8098;
e-mail: doc_mri@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD585195>

Возможности и ограничения магнитно-резонансной томографии для диагностики эндоцервикальных аденокарцином шейки матки

И.Б. Антонова¹, С.П. Аксенова¹, Н.В. Нуднов^{1,2,3}, А.В. Кригер¹¹ Российский научный центр рентгенодиагностики, Москва, Россия;² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия;³ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В последние десятилетия отмечается рост аденокарцином шейки матки с 5% до 20%. Установлено, что эндоцервикальные аденокарциномы характеризуются более агрессивным течением и ранним метастазированием. В связи с трудностями цитологической диагностики аденокарциномы шейки матки лучевая диагностика играет ключевую роль на этапе установления диагноза и стадирования впоследствии. На настоящий момент исследований, посвящённых использованию магнитно-резонансной томографии в диагностике аденокарцином шейки матки, очень мало.

Цель — определить диагностическую информативность магнитно-резонансной томографии в стадировании аденокарцином шейки матки по Т-критерию, а также в оценке глубины инвазии опухоли в строуму шейки матки, уточнить семиотические признаки аденокарциномы и особенности роста опухоли в матке.

Материалы и методы. В период с 2020 по 2023 год обследовано 123 пациентки с диагнозом рак шейки матки (C53). Детально проанализированы результаты обследования 22 (18%) пациенток с аденокарциномой шейки матки (средний возраст 56 лет), которым проводилась магнитно-резонансная томография органов малого таза на томографе с напряжённостью магнитного поля 1,5 Тл. Анализ информативности магнитно-резонансной томографии оценивался у 11/22 (50%) пациенток, у которых первым этапом было проведено хирургическое лечение в объёме экстирпации матки с придатками. Для анализа диагностической информативности проводилось сравнение данных магнитно-резонансной томографии и патоморфологического исследования операционного материала. Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программного приложения Microsoft Excel, JavaStat.

Результаты. В нашем исследовании аденокарцинома шейки матки определялась в 18% наблюдений среди всех случаев рака шейки матки. Информативность магнитно-резонансной томографии в оценке местной распространённости эндоцервикальных аденокарцином (по Т-критерию) составила (здесь и далее в скобках после основного значения указан 95% доверительный интервал): чувствительность — 77,78% (39,99–97,19%); специфичность — 50,00% (1,26–98,74%); предсказательная ценность положительного результата — 87,50% (62,64–96,69%); предсказательная ценность отрицательного результата — 33,33% (7,30–76,04%); точность — 72,73% (39,03–93,98%). Информативность магнитно-резонансной томографии в оценке глубины инвазии опухоли в строуму шейки матки составила: отношение шансов — 3,500 (0,145–84,694); чувствительность — 85,7% (0,757–0,993), специфичность — 33,3% (0,018–0,0648), предсказательная ценность положительного результата — 75% (0,673–0,883), предсказательная ценность отрицательного результата — 50% (0,027–0,972).

Заключение. Настоящее исследование показало, что магнитно-резонансная томография является хорошим инструментом с высокими показателями диагностической информативности метода в выявлении эндоцервикальной аденокарциномы шейки матки. Выделенные в ходе анализа данных магнитно-резонансной томографии 4 типа макроструктуры опухолевого роста аденокарциномы шейки матки указывают на местноагрессивный рост опухоли, высокую частоту отсевов в эндометрий, а также позволяют структурировать описательную картину врачу-рентгенологу в том числе при верифицированной аденокарциноме шейки матки, что в дальнейшем позволит лучшим образом выработать план лечения пациентки.

Ключевые слова: эндоцервикальная аденокарцинома; рак шейки матки; магнитно-резонансная томография; диагностика в гинекологии.

Как цитировать:

Антонова И.Б., Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Кригер А.В. Возможности и ограничения магнитно-резонансной томографии для диагностики эндоцервикальных аденокарцином шейки матки // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 149–166. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD585195>

Рукопись получена: 12.09.2023

Рукопись одобрена: 04.12.2023

Опубликована online: 18.07.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD585195>

Possibilities and limitations of magnetic resonance imaging in the diagnostics of endocervical adenocarcinomas

Irina B. Antonova¹, Svetlana P. Aksenova¹, Nikolay V. Nudnov^{1,2,3}, Anna V. Kriger¹

¹ Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow, Russia;

² Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;

³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In recent decades, the incidence of cervical adenocarcinomas has increased from 5% to 20%. Endocervical adenocarcinomas are characterized by a more aggressive course and early metastasis. Owing to the difficulties in the cytological diagnosis of cervical adenocarcinoma, early radiation diagnostics and staging subsequently play a key role. Very few studies have examined the use of magnetic resonance imaging in diagnosing cervical adenocarcinomas.

AIM: To determine the diagnostic informativeness of magnetic resonance imaging in the staging of cervical adenocarcinomas according to the T-criterion and assessing the depth of tumor invasion into the stroma of the cervix and clarify the semiotic signs of adenocarcinoma and features of tumor growth in the uterus.

MATERIALS AND METHODS: In total, 123 patients diagnosed with cervical cancer (C53), who underwent diagnosis and treatment between 2020 and 2023, were examined. The examination results of 22 (18%) patients with cervical adenocarcinoma were analyzed. The average patient age was 56 years. A multiparametric magnetic resonance examination of the pelvic organs was performed on 22 patients using tomographs with a magnetic field strength of 1.5 T. Moreover, 14 (64%) patients underwent surgery including extirpation of the uterus and appendages with pelvic lymphadenectomy. The information value of magnetic resonance imaging was evaluated in 11 patients, whose first stage was surgical treatment.

RESULTS: In this study, cervical adenocarcinoma was detected in 18% among all cases of cervical cancer. The information value of magnetic resonance imaging in assessing the local prevalence of endocervical adenocarcinoma according to the T-criterion was as follows (main value with the corresponding 95% confidence interval): sensitivity, 77.78% (39.99%–97.19%); specificity, 50.00% (1.26%–98.74%); positive predictive value, 87.50% (62.64%–96.69%); negative predictive value, 33.33% (7.30%–76.04%); and accuracy, 72.73% (39.03%–93.98%). The information value of magnetic resonance imaging in assessing the depth of tumor invasion into the cervical stroma was as follows: odds ratio, 3.500 (0.145%–84.694%); sensitivity, 85.7% (0.757%–0.993%); specificity, 33.3% (0.018%–0.0648%); positive predictive value, 75% (0.673%–0.883%); negative predictive value, 50% (0.027%–0.972%).

CONCLUSIONS: The results of this study showed that magnetic resonance imaging is a good tool with high diagnostic informativeness in detecting endocervical cervical adenocarcinoma. The four macrostructures of tumor growth in endocervical adenocarcinoma identified during magnetic resonance imaging data analysis indicate locally aggressive tumor growth and a high frequency of endometrial dropouts. This finding will allow radiologists to structure a descriptive picture, including the verified cervical adenocarcinoma, to enhance methods of developing a treatment plan for the patient.

Keywords: endocervical adenocarcinoma; cervical cancer; magnetic resonance imaging; diagnostics in gynecology.

To cite this article:

Antonova IB, Aksenova SP, Nudnov NV, Kriger AV. Possibilities and limitations of magnetic resonance imaging in the diagnostics of endocervical adenocarcinomas. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):149–166. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD585195>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD585195>

磁共振成像诊断宫颈内膜腺癌的可能性和局限性

Irina B. Antonova¹, Svetlana P. Aksenova¹, Nikolay V. Nudnov^{1,2,3}, Anna V. Kriger¹¹ Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow, Russia;² Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

摘要

论证。近几十年来,宫颈腺癌的发病率从 5% 上升到 20%。已证实宫颈内膜腺癌的特点是病程较长,转移较早。由于宫颈腺癌细胞学诊断的困难,放射诊断在诊断和分期阶段发挥着关键作用。迄今为止,关于磁共振成像在宫颈腺癌诊断中的应用的研究还很少。

目的是确定磁共振成像在根据 T 标准对宫颈腺癌进行分期时的诊断信息量,以及在评估肿瘤侵入宫颈基质的深度时的诊断信息量,明确腺癌的符号标志和肿瘤在子宫内生长的特殊性。

材料和方法。2020 年至 2023 年间,123 名确诊为宫颈癌(C53)的患者接受了检查。我们详细分析了 22 名(18%)宫颈腺癌患者(平均年龄 56 岁)使用 1.5 特斯拉磁场强度断层扫描仪接受盆腔器官磁共振成像的结果。对 11/22 例(50%)患者的磁共振成像信息分析进行了评估,这些患者接受了第一阶段手术治疗,切除了子宫和附件。为了分析诊断的信息量,对磁共振成像数据和手术材料的病理形态学检查数据进行了比较。研究结果的统计处理使用 Microsoft Excel 和 JavaStat 软件应用程序进行。

结果。磁共振成像在评估宫颈内膜腺癌局部患病率方面的信息量(根据 T 标准)为(以下主要值后的括号中给出了 95% 的置信区间):灵敏度为 77.78% (39.99%–97.19%);特异性为 50.00% (1.26%–98.74%);阳性结果预测值为 87.50% (62.64%–96.69%);阴性结果预测值为 33.33% (7.30%–76.04%);准确度为 72.73% (39.03%–93.98%)。磁共振成像在评估肿瘤侵入宫颈基质深度方面的信息量为:机会比率为 3.500 (0.145–84.694);灵敏度为 85.7% (0.757–0.993),特异性为 33.3% (0.018–0.0648),阳性结果预测值为 75% (0.673–0.883),阴性结果预测值为 50% (0.027–0.972)。

结论。本研究表明了,磁共振成像是检测宫颈内膜腺癌的良好工具,具有很高的诊断信息量。在磁共振成像数据分析过程中发现的宫颈腺癌肿瘤生长宏观结构的 4 种类型表明,肿瘤生长具有局部侵袭性,向子宫内膜脱落的频率较高。这样就能为放射科医生提供描述性的图片结构,在宫颈腺癌得到证实的情况下也是如此,从而为患者制定更好的治疗方案。

关键词: 宫颈内膜腺癌; 宫颈癌; 磁共振成像; 妇科诊断。

引用本文:

Antonova IB, Aksenova SP, Nudnov NV, Kriger AV. 磁共振成像诊断宫颈内膜腺癌的可能性和局限性. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):149–166. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD585195>

收到: 12.09.2023

接受: 04.12.2023

发布日期: 18.07.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Несмотря на широкое внедрение профилактических мероприятий и цитологического скрининга, а также активное лечение предраковых заболеваний, заболеваемость раком шейки матки (РШМ) остаётся на высоком уровне. По данным Всемирной организации здравоохранения, РШМ занимает 4-е место по распространённости и смертности от злокачественных новообразований у женщин в мире [1]. В развитых странах отмечается тенденция к снижению заболеваемости [1, 2]. В России РШМ стабильно занимает 5-е место в структуре онкологической заболеваемости и 10-е место в структуре онкологической смертности. При этом большинство вновь выявленных случаев заболевания приходится на женщин репродуктивного возраста (40–49 лет). В течение последнего десятилетия на 10% выросло число таких пациенток [3].

По данным метаанализа, проведённого в 2011 году, отмечается рост числа случаев выявления РШМ, ассоциированного с вирусом папилломы человека (ВПЧ) 16-го, 18-го, 31-го и других типов. Так, среди плоскоклеточных карцином шейки матки, которые до 90% случаев ассоциированы с ВПЧ, чаще всего преобладает 16-й тип (59,3% случаев) [4]. Второй по частоте встречаемости гистологический вариант карциномы шейки матки — аденокарцинома (АКШМ) — в 75% случаев ассоциирована с ВПЧ, при этом в зависимости от стран преобладает 18-й или 16-й тип. 18-й тип ВПЧ выявлен в 36,8% случаев среди всех ВПЧ-положительных АКШМ [5, 6]. Другие гистологические типы злокачественных новообразований диагностируются не более чем в 1% случаев [7, 8]. Группа АКШМ отличается значительной неоднородностью гистологических подтипов. Связь АКШМ и ВПЧ легла в основу новой патогенетической классификации IECC от 2018 года (International Endocervical Adenocarcinoma Criteria and Classification). Среди ВПЧ-зависимых АКШМ выделяют обычный тип, виллогландулярный, муцинозный, кишечный, перстневидный и ВПЧ-ассоциированную аденокарциному без дополнительного уточнения. К ВПЧ-независимым АКШМ, которые составляют 15–20%, относят желудочный, светлоклеточный, мезонефральный, серозный, эндометриоидный подтипы карциномы, а также аденокарциному без дополнительного уточнения [9, 10].

Разделение на группы — ВПЧ-зависимые и независимые эндоцервикальные аденокарциномы — определено клиническими особенностями, различным биологическим поведением опухолей, разным прогнозом и ответом на лечение. Типичным вариантом является наиболее распространённая ВПЧ-ассоциированная эндоцервикальная аденокарцинома, составляющая ~75% всех эндоцервикальных аденокарцином [10]. Эндоцервикальные аденокарциномы муцинозного типа составляют ~10% всех эндоцервикальных аденокарцином, ассоциированных с ВПЧ [9, 11]. Эндоцервикальная аденокарцинома эндометриоидного типа также встречается редко. При использовании

строгих диагностических критериев она составляет менее 1% всех АКШМ и возникает на фоне эндометриоза [9, 11].

На фоне проведения скрининга и профилактики РШМ отмечается снижение заболеваемости и смертности от инвазивной плоскоклеточной карциномы шейки матки. При этом в последние десятилетия отмечается рост АКШМ с 5% до 20% [4, 10, 12]. Помимо диагностических трудностей, АКШМ характеризуются более агрессивным течением, ранним метастазированием, более низкой чувствительностью к воздействию лучевой и лекарственной терапии и представляет серьёзную проблему онкогинекологической практики [13–15]. Особенности локализации и течения АКШМ при очевидных диагностических проблемах приводят к закономерному результату, выражающемуся в выявлении опухолевого процесса на более поздних стадиях, высокой частоте рецидивов и смертности [4, 12]. Таким образом, краеугольный камень успешного лечения — совершенствование диагностических мероприятий и формирование алгоритмов ранней диагностики данного заболевания.

В настоящее время, по классификации Международной федерации акушеров-гинекологов (FIGO) от 2019 года, стадии IA2, IB1 и IIA1 относятся к локализованным формам РШМ, стадии IB2 и IIA2–IVA расценивают как местнораспространённые, а опухоли, имеющие отдалённые метастазы, соответствуют распространённой стадии опухолевого процесса (IVB) [16]. Клиническое стадирование РШМ, в частности и АКШМ, согласно пересмотренной классификации FIGO от 2018 года, основывается на комплексном обследовании и включает данные анамнеза, физикального осмотра, морфологическую верификацию, а также результаты лучевых методов диагностики: магнитно-резонансной томографии (МРТ), ультразвукового исследования, компьютерной томографии и позитронно-эмиссионной компьютерной томографии. Верное клиническое стадирование при впервые выявленном заболевании имеет определяющее влияние на успех дальнейшего лечения и прогноз [7, 16]. Стадирование локализованных форм РШМ основывается на размерах опухоли, в то же время размер первичного очага в шейке матки не будет играть значения при местнораспространённом опухолевом процессе, когда речь идёт о переходе опухоли на влагалище, параметров, мочеточники и смежные органы. Несмотря на то, что при стадировании РШМ учитывается размер первичной опухоли, в последнем сообщении FIGO упоминается, что глубина инвазии более 50% толщины стромы шейки матки и поражение наружных отделов стромального кольца являются факторами неблагоприятного прогноза и увеличивают частоту рецидивов [16].

Говоря об АКШМ, которые развиваются не из области аденосквамозного соединения (как это позиционируется при плоскоклеточной карциноме шейки матки), а из глубины цервикального канала, внутри крипт, надо отметить, что эта особенность находит отражение в типе роста опухоли, который носит преимущественно эндофитный

характер, что сопряжено с отсутствием ранних клинических проявлений и поздним обнаружением опухоли. Развитие опухоли в глубоких отделах эндоцервикса, ближе к внутреннему зеву шейки матки, приводит к тому, что опухоль одновременно распространяется на перешеек матки и эндометрий, расположенные в непосредственной близости, и инфильтрирует строму шейки матки и миометрий, имитируя рак эндометрия. При визуализации опухоли (методами ультразвукового исследования, МРТ и компьютерной томографии) на стадии одновременного вовлечения в процесс тела и шейки матки установление первичной опухолевой патологии и стадирование становятся крайне трудными задачами. Согласно классификации FIGO, при РШМ распространение опухоли на тело матки не влияет на стадию заболевания, в то время как поражение шейки матки при раке эндометрия переводит опухоль из стадии T1 в T2, что значимо влияет на выбор лечения и прогноз заболевания. При окончательной постановке диагноза в данных случаях ключевыми исследованиями будут являться гистологическое и иммуногистохимическое. Иммуногистохимические маркеры для дифференциальной диагностики — белок p16, рецепторы эстрогена и прогестерона, белок p53 [17]. Положительное окрашивание на белок p16 более характерно для ВПЧ-ассоциированной эндоцервикальной аденокарциномы типичного типа, а положительная реакция на рецепторы эстрогена и/или прогестерона чаще встречается при эндометриоидной аденокарциноме эндометрия, хотя может частично наблюдаться и при АКШМ [17]. Корейские исследователи во главе с J.Y. Song в 2022 году провели исследование с использованием искусственного интеллекта, обучив его дифференцировать разные подтипы РШМ и рака тела матки между собой, обозначив высокие показатели информативности предложенного алгоритма (AUC — area under curve — 0,977 для РШМ, 0,944 — для рака эндометрия, 0,939 — для дифференцировки аденокарциномы шейки и тела матки) [18].

По данным проведённого метаанализа в 2020 году, в котором рассматривали диагностическую эффективность различных методов визуализации (МРТ, ультразвуковое исследование, компьютерная томография, позитронно-эмиссионная томография) в оценке локального распространения опухоли и метастазов в лимфатические узлы у пациенток с впервые диагностированным РШМ, наибольшая чувствительность и специфичность для локальной распространённости РШМ была у метода МРТ. Для выявления метастазов в лимфатические узлы высокой специфичностью обладают все вышеперечисленные методы [19]. По данным ряда исследований, в том числе отечественных (работа Н.А. Рубцовой и соавт.), общая точность МРТ в определении стадии инвазивного РШМ составила 77–90% [20, 21]. МРТ обладает хорошей решающей способностью по отношению к мягким тканям и более точно определяет глубину инвазии и дооперационный размер опухоли, а конкретно — визуализация

на T2-взвешенных изображениях (ВИ). Однако информативность МРТ в оценке параметральной инвазии остаётся дискуссионной по настоящий момент, имея не очень высокий показатель чувствительности (~73–76%), связанный с высоким процентом ложноположительных результатов [22, 23]. Исследований, направленных на изучение особенностей визуализации эндоцервикальных аденокарцином с помощью МРТ, крайне мало.

ЦЕЛЬ

Определить диагностическую информативность МРТ в стадировании РШМ по T-критерию, а также в оценке глубины инвазии эндоцервикальной аденокарциномы в строму шейки матки; уточнить семиотические признаки аденокарциномы и особенности роста опухоли в матке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Настоящее исследование являлось одноцентровым, ретроспективным, выборочным. В исследование для определения тенденции заболеваемости АКШМ на первом этапе работы было включено 123 пациентки с диагнозом РШМ (C53), проходивших обследование и лечение в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации в период с 2020 по 2023 год.

В исследование включались пациентки с гистологически верифицированным РШМ. Детальному анализу подлежали пациентки с АКШМ: нами проанализированы результаты обследований 22 (18%) пациенток с данным гистологическим вариантом рака. Средний возраст пациенток с АКШМ составил 56 лет (min 35 лет, max 74 года). При анализе данных исключались пациентки с плоскоклеточным раком.

Дизайн исследования представлен на рис. 1. Распределение пациенток в зависимости от гистологического типа опухоли и степени дифференцировки представлено в табл. 1. Распределение пациенток по стадиям заболевания согласно классификации Международной федерации акушеров-гинекологов (FIGO) представлено в табл. 2.

Методы исследования

Обследование врачом акушером-гинекологом проведено у 123 женщин. При обследовании пациенток выполнялся сбор жалоб, анамнеза, бимануальное ректо-вагинальное обследование, осмотр влагалища и шейки матки в зеркалах, цитологическое исследование соскобов с шейки матки и из цервикального канала, гистологическое исследование биоптата шейки матки.

22 (18%) пациенткам была проведена мультипараметрическая МРТ органов малого таза на томографах

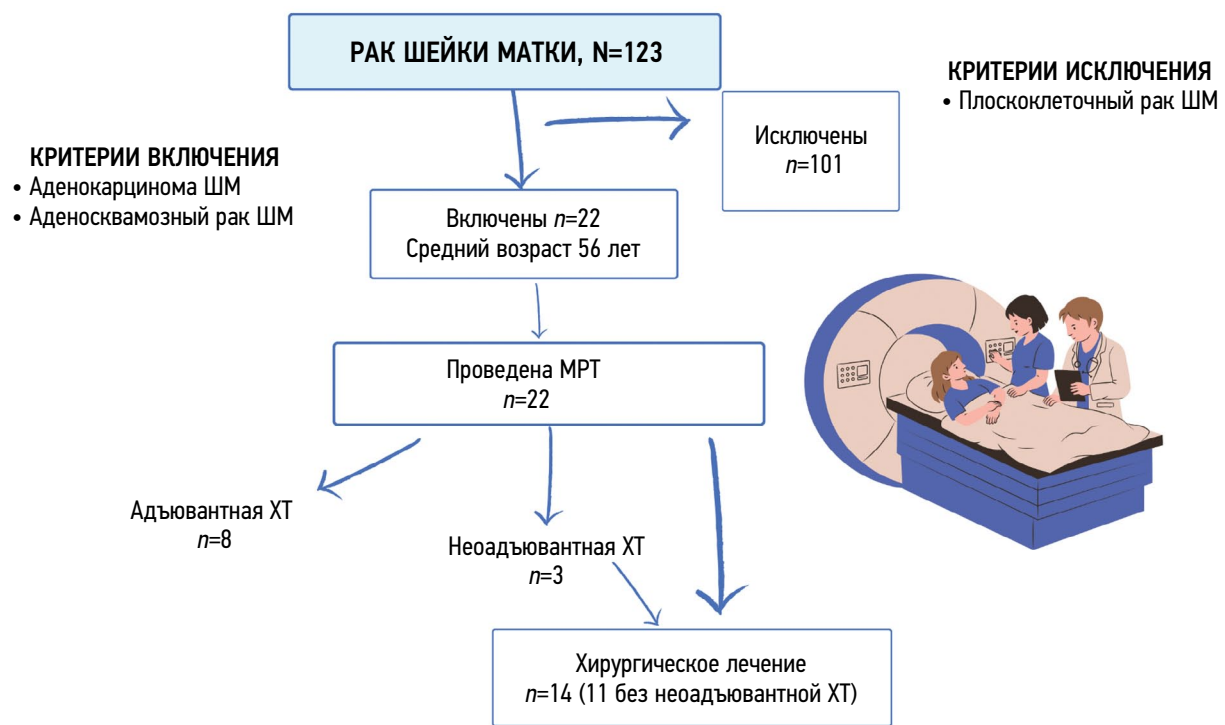


Рис. 1. Дизайн исследования. МРТ — магнитно-резонансная томография; ХТ — химиотерапия; ШМ — шейка матки.

Таблица 1. Распределение пациенток в зависимости от гистологического типа опухоли и степени дифференцировки

Гистологический тип		Кол-во пациенток (n=22)
Эндоцервикальная аденокарцинома	Высокодифференцированная	7
	Умеренно дифференцированная	4
	Низкодифференцированная	2
Серозная аденокарцинома		3
Эндомиоидная аденокарцинома		5
Железисто-плоскоклеточный рак		1

с напряжённостью магнитного поля 1,5 Тл. Исследование выполнялось в положении пациенток на спине с использованием гибкой катушки для тела. В протокол мультипараметрической МРТ включались T1- и T2-ВИ, STIR, диффузионно-взвешенные изображения с b-факторами 0, 800 и 1000 с/мм², а также динамическое контрастное усиление с солями гадолиния, что соответствовало требованиям проведения МРТ по протоколу ESUR (European Society of Urogenital Radiology) [24]. По рекомендациям ESUR достаточным для диагностики патологии матки в рутинной практике является b-фактор 1000 с/мм².

По данным МРТ на T2-ВИ оценивались: размер и глубина инвазии опухоли в строму шейки матки (пример измерения представлен на рис. 2), наличие параметральной инвазии, поражение внутреннего зева матки, поражение перешейка матки, поражение эндометрия, поражение придатков матки, поражение лимфатических узлов, наличие «питающей ножки» в опухоли. «Питающей ножкой» была обозначена область соединения опухоли и стенки

Таблица 2. Распределение пациенток по стадиям заболевания согласно классификации Международной федерации акушеров-гинекологов

Стадия	Количество пациенток (n=22)
Рак in situ	2
IB	4
IB1	3
IB2	1
IIA	1
IIB	2
IIIB	1
IIIC	1
IIIC1	3
IV	2
IVB	2

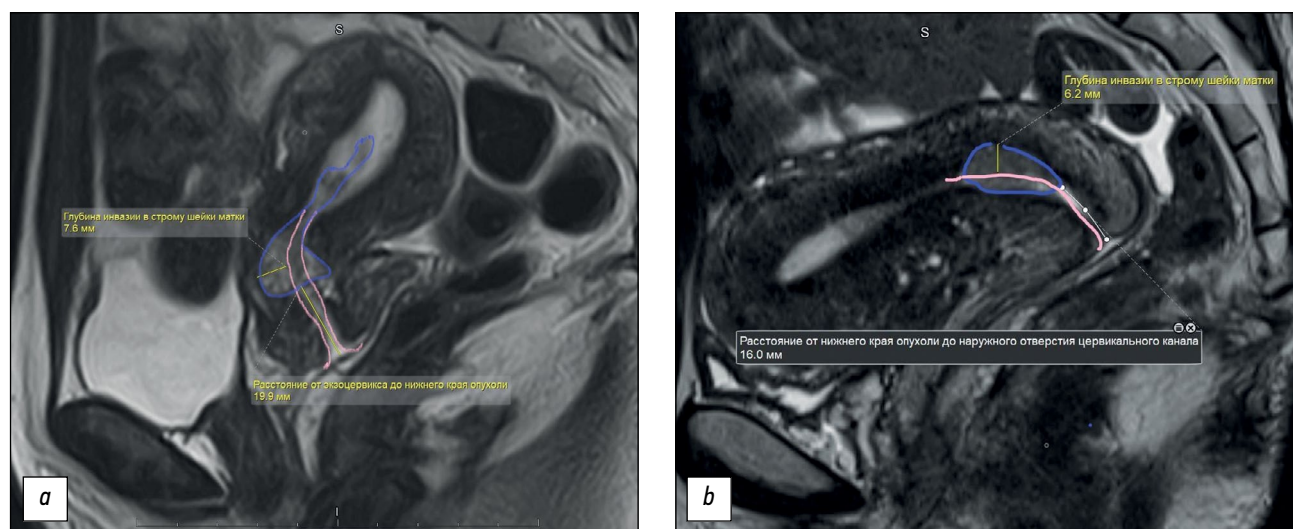


Рис. 2. Пример измерения глубины инвазии аденокарциномы шейки матки в строму и расстояния от опухоли до экзоцервикса на T2-взвешенных изображениях в сагиттальной плоскости: *a* — опухоль расположена в верхней трети шейки матки, имеет глубину инвазии 8 мм и расположена на расстоянии 20 мм от наружного зева; *b* — опухоль расположена в верхней и средней третях шейки матки, имеет глубину инвазии 6 мм и расположена на расстоянии 16 мм от наружного зева. Опухоль обведена фиолетовой линией, эндоцервикальный канал отмечен розовыми линиями. Заключение патоморфологического исследования: высокодифференцированная эндоцервикальная аденокарцинома шейки матки; глубина инвазии в строму шейки матки 5 мм (менее 1/2 толщины стенки шейки матки); обнаружена ангиолимфатическая инвазия; опухоль врастает во внутренний зев; эндометрий в фазе секреции.

матки, из которой, по нашим представлениям, исходила опухоль, и в структуре которой визуализировались питающие опухоль сосуды в артериальную и венозную фазы динамического контрастного усиления.

Оперативное лечение в объёме экстирпации матки с придатками с тазовой лимфаденэктомией выполнено 14 пациенткам (64%). У 3 пациенток (21%) оперативное лечение было проведено после курсов неoadъювантной полихимиотерапии. У 11 пациенток, у которых противоопухолевое лечение начиналось с хирургического этапа, патоморфологами были проанализированы размер и глубина инвазии АКШМ в строму шейки матки. В удалённых препаратах также оценивалось наличие инвазии опухоли в строму шейки матки, переход опухоли на влагалище, наличие параметральной инвазии, поражение тела матки (глубина инвазии в миометрий), поражение придатков матки и лимфатических узлов. Было проведено сравнение данных предоперационной МРТ, проведённой в срок не более 1 месяца до начала лечения, и данных патоморфологического исследования постоперационного материала у 11 пациенток. У 8 пациенток (36%) проводилось комплексное лечение, включающее проведение химиотерапии и сочетанной лучевой терапии.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программного приложения Microsoft Excel (Microsoft, США), JavaStat.

Этическая экспертиза

Заключение Независимого этического комитета при Федеральном государственном бюджетном учреждении «Российский научный центр рентгенодиагностики»

Министерства здравоохранения Российской Федерации (протокол заседания № 9 от 29.09.2023): научное исследование «Возможности и ограничения МРТ в диагностике эндоцервикальных аденокарцином шейки матки» не требует заключения независимого этического комитета.

РЕЗУЛЬТАТЫ

АКШМ в нашем исследовании выявлена в 18% (22 из 123) случаев среди пациенток с диагнозом РШМ, обследованных в период 2020–2023 гг.

У 5 пациенток (23%) АКШМ была выявлена случайно при плановом осмотре гинекологом. У 13 пациенток (59%) отмечались кровянистые выделения из половых путей, у 2 пациенток (9%) — серозные выделения, у 6 пациенток (27%) манифестация заболевания возникла с тянущих болей внизу живота, у 1 пациентки (5%) имелись боли при мочеиспускании.

Фоновые заболевания шейки матки (эктропион, эрозия, хронический цервицит) в анамнезе отмечены у 8 (36%) пациенток, дисплазия шейки матки (I–III степени) — у 3 (14%). У 11 (50%) пациенток не было отмечено патологии шейки матки до установления диагноза АКШМ. Данные гинекологического осмотра представлены в табл. 3.

У 2 женщин по данным МРТ (9%) опухоль не визуализировалась. Результаты данных МРТ 22 пациенток представлены в табл. 4. Средний объём опухоли, измеренный на T2-ВИ, составил 25 см³ (min 1 см³, max 71 см³). Расчёт диагностической информативности МРТ в оценке местной

Таблица 3. Результаты гинекологического осмотра

Данные гинекологического осмотра	Да n (%)	Нет n (%)
Поражение шейки матки	10 (45)	12 (55)
Распространение на параметрий (клинически «тяжистость сводов»)	11 (50)	11 (50)
Распространение на влагалище	11 (50)	11 (50)

Таблица 4. Результаты данных магнитно-резонансной томографии

Параметр	Да n (%)	Нет n (%)
Инвазия в строму шейки матки	17 (77)	5 (23)
Параметральная инвазия	9 (41)	13 (59)
Поражение внутреннего зева матки	12 (55)	10 (45)
Поражение перешейка матки	9 (41)	13 (59)
Поражение эндометрия	6 (27)	16 (73)
Поражение придатков матки	4 (18)	18 (82)
Поражение лимфатических узлов	9 (41)	13 (59)
Наличие центрального питающего сосуда	9 (41)	13 (59)

распространённости АКШМ (по Т-критерию) у 11 пациентов, которым первым этапом проводилось хирургическое лечение, показал следующие результаты:

- чувствительность — 77,78% (95% доверительный интервал — ДИ — 39,99–97,19);
- специфичность — 50,00% (95% ДИ 1,26–98,74);
- предсказательная ценность положительного результата — 87,50% (95% ДИ 62,64–96,69);
- предсказательная ценность отрицательного результата — 33,33% (95% ДИ 7,30–76,04);
- точность — 72,73% (95% ДИ 39,03–93,98).

У 8 пациенток (40%) опухоль шейки матки находилась на некотором расстоянии от наружного зева, это среднее расстояние составило 11 мм (min 4 мм, max 18 мм). Таким образом, при данной локализации опухоли визуально недоступны при гинекологическом осмотре, так как наружный зев интактен. У 9 пациенток (45%) отмечалась инфильтрация влагалищной части шейки матки. Средние значения показателей измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) в опухоли составили $0,833 \times 10^{-3}$ мм/сек (min $0,440 \times 10^{-3}$ мм/сек, max $0,1282 \times 10^{-3}$ мм/сек).

Нами выделено две формы роста опухоли в строме шейки матки: наиболее часто встречающаяся — эндофитная (75%, $n=15$), которая характеризовалась диффузным увеличением и бочкообразной трансформацией шейки матки (рис. 3), и экзофитная, которая в нашем исследовании встречалась в 25% случаев ($n=5$). Экзофитная опухоль чаще имела локализацию во влагалищной части шейки матки, при этом опухолевые массы пролабировали во влагалище либо в просвет цервикального канала (см. рис. 3). Экзофитная опухоль была представлена разными гистологическими подтипами АКШМ:

- низко- и умеренно дифференцированная типичная эндоцервикальная аденокарцинома — 2 наблюдения;
- низкодифференцированная серозная аденокарцинома — 1 наблюдение;
- аденоплоскоклеточный рак — 1 наблюдение;
- эндометриоидная эндоцервикальная аденокарцинома — 1 наблюдение.

Опухоли с эндофитной формой роста также характеризовались большим разнообразием гистологических типов и дифференцировки. Нами не было выявлено связи между формой роста опухоли и её гистологическим подтипом.

Ключевым моментом в диагностическом поиске врачей-гинекологов и рентгенологов при выявлении аденокарциномы матки была дифференциальная диагностика локализации первичной опухоли: являлись ли визуализируемые изменения в матке раком эндометрия с переходом на шейку матки или АКШМ с переходом на эндоцервикс. Все спорные моменты с диагностической точки зрения, в которых преобладание опухоли было в полости матки, были дополнительно рассмотрены патоморфологами, и у всех пациентов была подтверждена эндоцервикальная аденокарцинома — опухоль шейки матки. Так, на основании преимущественной локализации опухоли по данным МРТ и патоморфологического исследования, ретроспективно нами было отмечено и выделено четыре типа макроструктуры опухоли в зависимости от её локализации (рис. 4):

- 1) преобладание опухолевых масс в шейке матки ($n=13$, 65%);
- 2) преобладание опухолевых масс в теле матки ($n=2$, 10%);

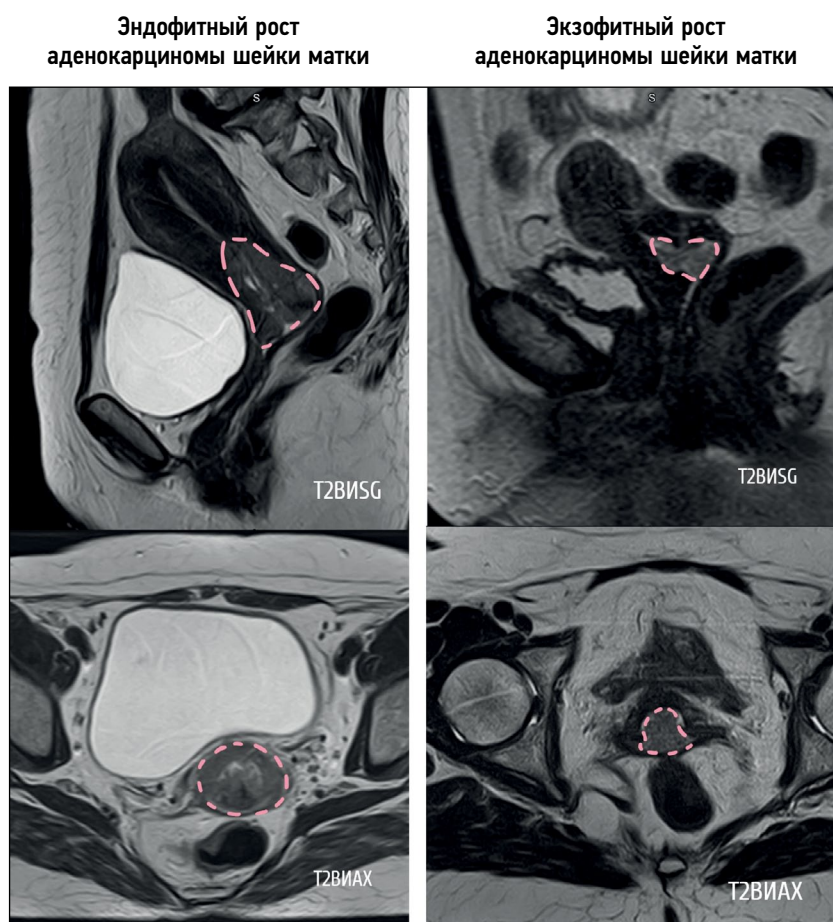


Рис. 3. Форма роста аденокарциномы шейки матки. Верхний ряд изображений представлен T2-взвешенными изображениями в сагиттальных плоскостях, нижний — в аксиальных проекциях.

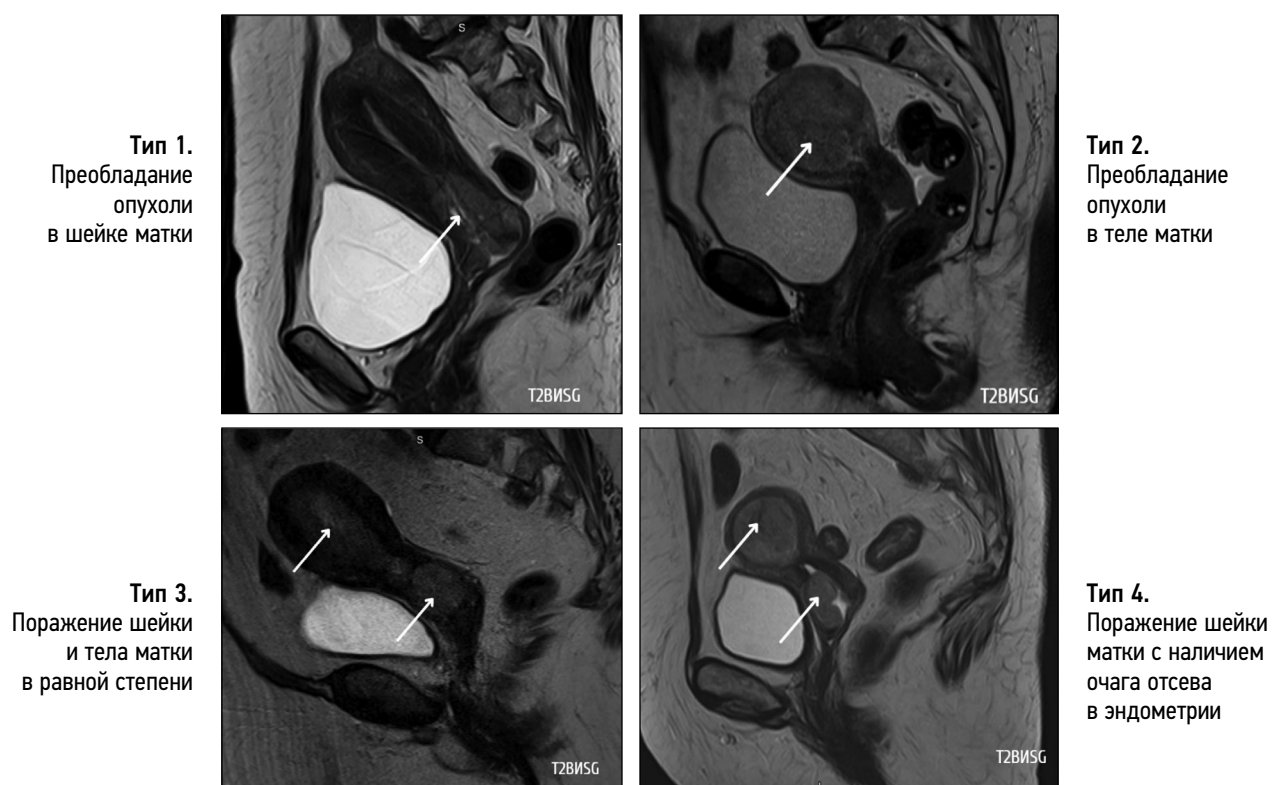


Рис. 4. Тип макроструктуры аденокарциномы шейки матки, T2-взвешенные изображения в сагиттальной плоскости.

3) поражение эндоцервикса и эндометрия в равной степени ($n=2$, 10%);

4) изолированное поражение шейки матки с наличием очага отсева АКШМ в полости матки (в эндометрии), подтверждённое патоморфологическим и иммуногистохимическим исследованиями ($n=3$, 15%).

Следует отметить, что опухоли типов 2, 3 и 4 при МРТ были описаны как рак тела матки, и лишь при патоморфологическом исследовании была подтверждена первичная АКШМ.

Средняя глубина инвазии аденокарциномы в строму шейки матки по результатам патоморфологического исследования составила 8,2 мм (min 2 мм, max 15 мм). Результаты данных операционного материала представлены в табл. 5.

Анализ сравнения глубины инвазии по данным МРТ и постоперационного патоморфологического исследования был выполнен у 11 пациенток, которым не проводилось неoadъювантного химиотерапевтического лечения (табл. 6). По данным МРТ отмечался ложноположительный результат (гипердиагностика) в оценке глубины инвазии опухоли в строму шейки матки у 2 пациенток (18%), ложноотрицательный результат (гиподиагностика) у 1 пациентки (9%). Данные МРТ и патоморфологического исследования совпали у 8 пациенток (73%). Расхождение данных МРТ и патоморфологического исследования в пределах 4 мм расценивалось как погрешность метода, так как толщина среза МРТ (измерения проводились на T2-ВИ) составляла 4 мм.

Таким образом, информативность МРТ в оценке глубины инвазии АКШМ в строму шейки матки составила:

- отношение шансов — 3,500 (95% ДИ 0,145–84,694);
- чувствительность — 85,7% (95% ДИ 0,757–0,993);
- специфичность — 33,3% (95% ДИ 0,018–0,0648);
- предсказательная ценность положительного результата — 75% (95% ДИ 0,673–0,883);

- предсказательная ценность отрицательного результата — 50% (95% ДИ 0,027–0,972).

При анализе отсевов АКШМ в эндометрий нами отмечен их локально инвазивный характер роста с формированием «питающей ножки» и визуализацией питающих сосудов (41%) (рис. 5).

ОБСУЖДЕНИЕ

Аденокарцинома и смешанные аденосквамозные поражения шейки матки в нашем исследовании выявлены в 18% (22 из 123) случаев среди пациенток с диагнозом РШМ. Эти данные подтверждают относительный рост заболеваемости АКШМ, отмеченный как зарубежными исследователями (Z.F. Chan и соавт., F. Islami и соавт.), так и российскими (О.Г. Григорук и соавт.) [4, 10, 12]. Относительное увеличение частоты встречаемости АКШМ связано, как мы полагаем, с отсутствием ярких признаков заболевания (в нашем исследовании у 48% пациенток не было визуальных изменений шейки матки при гинекологическом осмотре, и определялся интактный наружный зев по данным МРТ), а также отсутствием эффективных стратегий скрининга для их выявления. По данным проведённого A. Castanon и соавт. популяционного исследования было выявлено, что существующий цитологический скрининг неэффективен в диагностике предраковых заболеваний АКШМ (аденокарциномы in situ или высокодифференцированной железистой интраэпителиальной неоплазии шейки матки), однако способствует их выявлению на более ранних стадиях (стадии IA). Это связывают с тем, что АКШМ развиваются преимущественно в эндоцервикальном канале, внутри цервикальных крипт, что затрудняет забор материала, содержащего атипичные клетки [25].

Таблица 5. Результаты данных операционного материала 14 пациенток

Параметр	Да <i>n</i> (%)	Нет <i>n</i> (%)
Инвазия в строму шейки матки	13 (93)	1 (7)
Параметральная инвазия	0 (0)	14 (100)
Поражение эндометрия	4 (29)	10 (71)
Поражение придатков матки	2 (14)	12 (86)
Поражение лимфатических узлов	2 (14)	12 (86)

Таблица 6. Данные информативности магнитно-резонансной томографии в диагностике аденокарциномы шейки матки

Параметр	Чувствительность	Специфичность	ПЦПР	ПЦОР
Оценка глубины инвазии опухоли в строму шейки матки	85,7% (ДИ 0,757–0,993)	33,3% (ДИ 0,018–0,0648)	75% (ДИ 0,673–0,883)	50% (ДИ 0,027–0,972)
Оценка стадии опухоли по Т-критерию	77,78% (ДИ 39,99–97,19)	50,00% (ДИ 1,26–98,74)	87,50% (ДИ 62,64–96,69)	33,33% (ДИ 7,30–76,04)

Примечание. ДИ — 95% доверительный интервал; ПЦПР — предсказательная ценность положительного результата; ПЦОР — предсказательная ценность отрицательного результата.

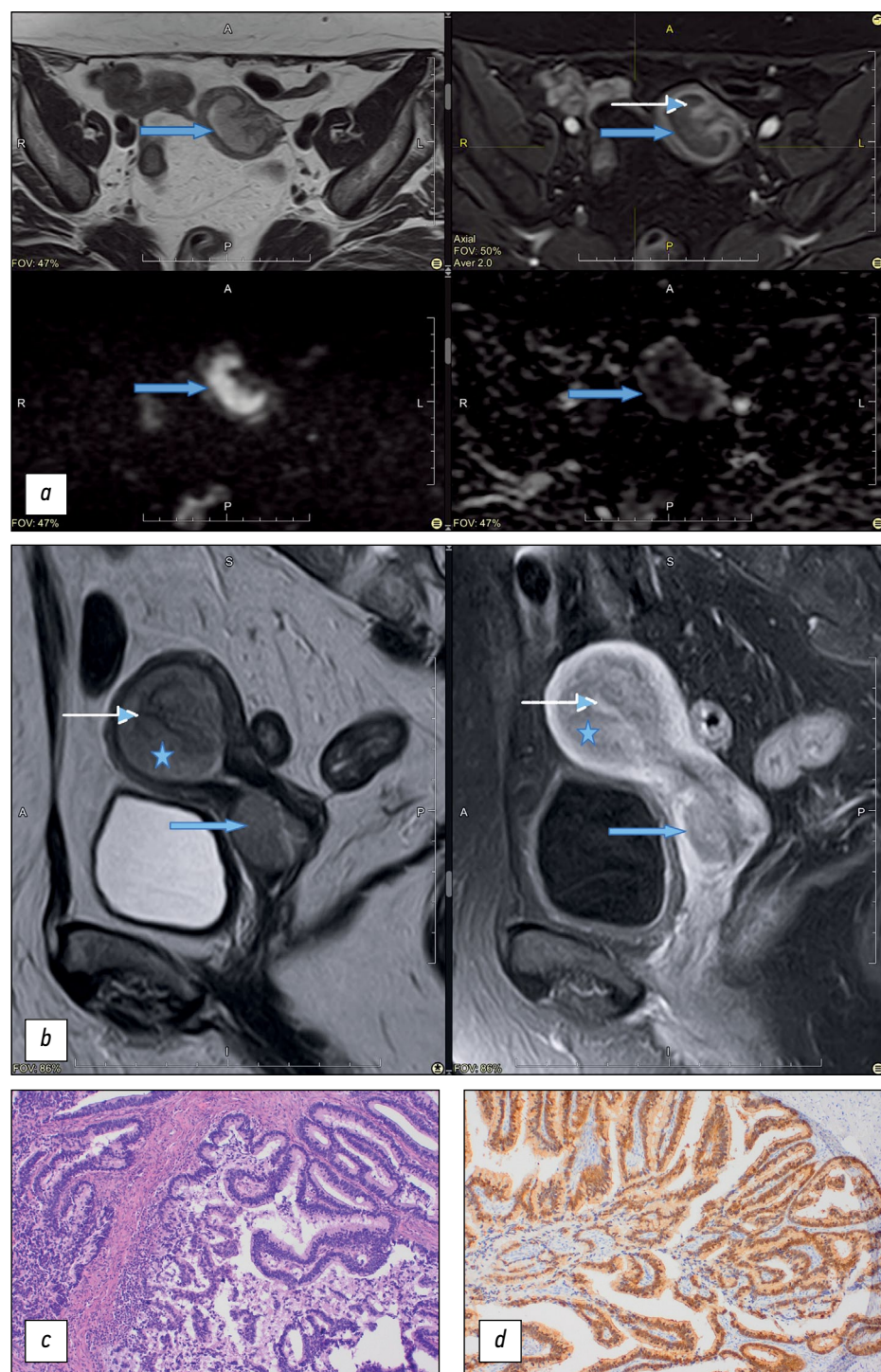


Рис. 5. Рак шейки матки IIA стадии (T2aNoMo), умереннодифференцированная аденокарцинома, присутствует лимфоваскулярная инвазия. Магнитно-резонансная томография малого таза, опухоль в шейке матки и очаг отсева в эндометрий:

a — комплексное изображение, слева направо и сверху вниз: T2-взвешенное изображение, T1FS-взвешенное изображение с контрастным усилением (артериальная фаза динамического контрастного усиления), диффузионно-взвешенное изображение, карта измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). Отмечены также: опухоль (очаг отсева, стрелка), область «ножки» опухоли и питающих сосудов (пунктирная стрелка). В артериальную фазу динамического контрастного усиления определяется накопление парамагнетика базальным слоем эндометрия и сосудами в «питающей ножке» опухоли; *b* — сагиттальная плоскость, T2-взвешенное изображение (слева) и T1FS+C (справа). Отмечены: первичная опухоль (стрелка), отсев в теле матки (звезда), сосуды в очаге отсева (пунктирная стрелка); *c* — гистологическое исследование операционного материала, окраска гематоксилином и эозином, $\times 10$; *d* — иммуногистохимическое исследование, экспрессия p16.

Заключение патоморфологического исследования: Умеренно дифференцированная эндоцервикальная аденокарцинома шейки матки. Опухоль врастает в строму шейки матки на глубину 1,3 см (2/3 толщины стенки шейки матки в области переходной зоны). Опухоль врастает в миометрий (на глубину 0,6 см, 1/3 толщины стенки тела матки) и эндометрий. Влагалищная часть шейки матки покрыта многослойным плоским эпителием.

В исследовании F. Islami и соавт. отмечен рост АКШМ *in situ* и инвазивных форм преимущественно у молодых женщин (35–54 года) за счёт улучшенного скрининга РШМ [12]. Схожие данные получены и в исследованиях Z.F. Chan и соавт., а также D.H. Suh и соавт. [4, 26].

Говоря о предраковых заболеваниях, предвестником эндоцервикальной аденокарциномы желудочного типа является эндоцервикальная железистая гиперплазия, в том числе атипичная аденокарцинома *in situ* [27, 28]. В нашем исследовании у 50% пациенток имелись фоновые заболевания шейки матки (хронический цервицит и пр.), атипичная аденокарцинома *in situ* отмечена у 1 пациентки, у которой в анамнезе были множественные конизации шейки матки по поводу дисплазии тяжёлой степени (CIN III). Эндометриоз наблюдался у 10 пациенток.

Несмотря на высокие показатели информативности МРТ в выявлении и оценке распространённости РШМ, в нашем исследовании у 2 пациенток (9%) с гистологически верифицированной АКШМ на томограммах с мультипараметрическим принципом сканирования опухоль не визуализировалась. Мы предполагаем, что это связано с малым объёмом опухоли и её стелющимся характером роста по ходу цервикального канала, а также с техническими ограничениями метода.

При сравнении данных МРТ и патоморфологического исследования нами получены хорошие результаты:

- общая точность МРТ в оценке глубины инвазии в строму шейки матки составила 70%, чувствительность — 87,5%;
- в оценке распространения опухоли (по Т-критерию) точность составила 72,3%, чувствительность — 77,8%.

В нашем исследовании в случае с гиподиагностикой ($n=1$) разночтения были связаны с опухолевым распадом, который приводил к неоднородности магнитно-резонансного сигнала на T2-ВИ и не был учтён при измерении размера. В случаях с гипердиагностикой ($n=2$) несоответствие было обусловлено выраженной деформацией матки на фоне смешанной формы аденомиоза и субмукозно расположенных лейомиом.

Несмотря на достаточно большое количество преимуществ МРТ, зарубежные исследования также демонстрируют достаточно частое расхождение между клиническим стадированием и хирургическими находками с тенденцией к занижению стадии заболевания, при этом чем выше стадия, тем больше это расхождение выражено. Для АКШМ эти расхождения ещё более существенны [29, 30].

Помимо объективных ошибок, при оценке распространённости различных гистологических форм РШМ к гипердиагностике приводит сопутствующая воспалительная инфильтрация, возникающая после проведения инвазивных манипуляций на шейке матки или в результате распада крупных опухолей. Гиподиагностике же способствует скопление ретенционных кист,

расположенных во влажной порции шейки матки, в том числе вокруг наружного зева, затрудняющих оценку структуры эпителиального покрова и подлежащей шейечной стромы [31].

Возвращаясь к теме отсевов АКШМ в эндометрий, нами отмечен локально инвазивный характер роста очагов отсева в эндометрии и ряда АКШМ, локализованных в перешейке и в средней трети эндоцервикального канала, с формированием «питающей ножки» и визуализацией питающих сосудов (41%). Данная особенность описывается впервые и не анализировалась в статьях ранее. Отмеченный неангиогенез в опухоли, при котором она получает питание от аркуатных и крупных интрамуральных сосудов миометрия, визуализируемых методом МРТ, как мы полагаем, говорит об агрессивном характере роста опухоли, высокой вероятности лимфоваскулярной инвазии (LVI+), повышению вероятности метастазирования в лимфатические узлы и неблагоприятном прогнозе. Однако, в связи с малым количеством наблюдений и отсутствием сравнения с патоморфологическими данными (ввиду ретроспективного анализа данных), выявляемые особенности носят больше наблюдательный характер и требуют дальнейших научных изысканий.

Способность АКШМ давать отсевы в эндометрий отмечена рядом исследователей, которые объясняют это теорией «seed and soil» (теория «семени и почвы») — отсоединением части раковых клеток от первичного очага опухоли, их миграцией в полость матки и имплантацией в эндометрий [32]. Факт имплантации клеток с развитием впоследствии питающих сосудов и преобладанием роста очага отсева в матке, как мы полагаем, может быть объяснён лучшим кровоснабжением миометрия в сравнении с шейкой матки, в строме которой преобладает фиброзная ткань.

Несомненно, использование диффузионно-взвешенных изображений и анализ ИКД-карт повышают эффективность метода по сравнению со стандартными режимами МРТ [33, 34]. В исследовании F. Kuang и соавт. показано, что значения коэффициента ИКД являются надёжным маркером для дифференциации РШМ от нормальной шейки матки с высокой диагностической точностью (значения ИКД при РШМ были значительно ниже, чем у нормальной шейки матки: $0,81 \pm 0,13 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{сек}$ против $1,41 \pm 0,10 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{сек}$). Значения ИКД также могут быть использованы для указания степени дифференцировки и гистологического типа РШМ, хотя существует некоторое перекрытие значений. При этом стоит отметить, что чем выше значение ИКД, тем более дифференцирована опухоль [34, 35]. В нашем исследовании средний показатель ИКД в опухоли при измерении в выбранном участке (region of interest, ROI) составил $0,833 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{сек}$ (min $440 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{сек}$, max $1282 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{сек}$), что в целом совпадает с данными литературы.

Имеются данные о различии значений показателя ИКД между плоскоклеточной карциномой шейки матки

и АКШМ: значения ИКД при плоскоклеточном раке значительно ниже [36].

В исследовании Y.-C. Lin и соавт. было показано, что при неоднозначной морфологии значение ИКД опухоли можно использовать для дифференцировки её гистологической принадлежности: средние значения ИКД были значительно ниже при раке эндометрия ($0,766 \times 10^{-3}$ мм²/сек), чем при РШМ ($0,969 \times 10^{-3}$ мм²/сек). Отмечено также, что при раке эндометрия опухоль характеризуется преимущественно продольным ростом в шейке матки, а при РШМ форма роста преимущественно овальная [37, 38]. Изучением семиотических различий между АКШМ и плоскоклеточной карциномой шейки матки занимались исследователи Е.В. Тарачкова и соавт. У 90 пациенток с гистологически верифицированным РШМ выявлено, что для аденокарциномы по сравнению с плоскоклеточным раком характерны более высокая интенсивность и меньшая неоднородность сигнала на T2-ВИ с подавлением сигнала от жировой ткани [39].

Ключевым моментом в дифференциальной диагностике аденокарциномы матки по данным МРТ являлась установка локализации первичной опухоли. Так, эндоцервикальная аденокарцинома матки с поражением эндометрия и аденокарцинома эндометрия с распространением на шейку матки по сигнальным характеристикам в большинстве случаев неотличимы друг от друга. И, как показало данное исследование, однозначно не стоит полагаться только на анализ локализации большего объема опухоли.

В нашем исследовании лишь в 65% (13 из 20) случаев гистологически подтвержденная эндоцервикальная АКШМ локализовалась исключительно в шейке матки. В 35% случаев (7 из 20) опухоль имитировала рак эндометрия, при этом опухолевые массы определялись как в полости матки, так и по ходу цервикального канала. А в случаях с очагами отсева эндоцервикальной аденокарциномы в эндометрий (3 из 20, 15%) у 2 пациенток размеры опухолевого импланта в эндометрии превышали размеры первичной опухоли шейки матки (см. рис. 5, *d*). Схожая тенденция роста АКШМ отмечена исследователями из института Джона Хопкинса — А. Yemelyanova и соавт. — в 2009 году. Учёные детально проанализировали 10 случаев АКШМ с одновременным поражением тела и шейки матки и пришли к выводу, что довольно часто эндометриодные аденокарциномы с минимальным поражением шейки матки в конечном результате оказывались АКШМ [40].

На настоящий момент патоморфологическое и иммуногистохимическое исследования являются объективным инструментом для дифференциальной диагностики сложных случаев аденокарциномы шейки и тела матки между собой. В то же время стоит отметить, что даже патоморфологическое и иммуногистохимическое исследования не в 100% случаев позволяют установить однозначный

диагноз, так как часть эндометриодных аденокарцином довольно сложно отличить от эндоцервикальной АКШМ: возможно частичное окрашивание АКШМ последних на p16 и рецепторы эстрогена и прогестерона [17]. Диагноз аденокарциномы эндометриодного типа РШМ следует ставить с осторожностью. У эндометриодной аденокарциномы шейки и тела матки иммуногистохимический профиль в целом может не отличаться [41]. При одновременном поражении тела и шейки матки следует исключить распространённый вариант аденокарциномы эндометрия и яичников, а также провести корреляцию клинических и диагностических данных, так как первичная локализация опухоли будет иметь решающее значение при выборе тактики лечения и схем химиотерапии. Согласно IECC, термин «эндометриодная эндоцервикальная аденокарцинома» должен соответствовать опухолям с эндометриодными железами низкой степени злокачественности и подтверждаться наличием сопутствующих патологий (плоскоклеточной метаплазией или эндометриозом) [41].

Таким образом, на настоящий момент дифференциальная диагностика сложных случаев аденокарциномы шейки и тела матки должна основываться на комплексном обследовании пациенток и включать данные анамнеза и физического осмотра, морфологическую верификацию, иммуногистохимическое исследование и результаты МРТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с инфильтративным ростом опухоли и частым её расположением в верхних отделах цервикального канала и области слизистой перешейки матки, эндоцервикальная АКШМ диагностируется на поздних стадиях. В равной степени это связано и с трудностями забора адекватного цитологического материала при ПАП-тесте и отсутствием визуализации изменений шейки матки при гинекологическом осмотре, что не позволяет своевременно выявить наличие опухоли. Поздняя диагностика эндоцервикальной АКШМ приводит к выявлению уже местнораспространённого процесса с частым прямым или метастатическим поражением эндометрия, которые имитирует первичный рак эндометрия.

Настоящее исследование показало, что МРТ является хорошим инструментом с высокими показателями диагностической информативности метода в выявлении опухолевой патологии матки. Выделенные в ходе анализа данных МРТ 4 типа макроструктуры опухолевого роста АКШМ указывают на местноагрессивный рост опухоли и высокую частоту отсевов в эндометрий, а также позволяют структурировать описательную картину врачу-рентгенологу в том числе при верифицированной АКШМ, что в дальнейшем позволит лучшим образом выработать план лечения пациентки.

Имеющиеся ограничения в выявлении малых опухолей АКШМ методом МРТ связаны с преимущественно

инфильтративным и стелющимся характером ростом опухоли, без увеличения размеров матки и изменения сигнальных характеристик эндоцервикса. В то же время неоднородное расширение и гиперплазия цервикального канала по данным МРТ позволяют заподозрить опухольную патологию и своевременно направить женщину к онкогинекологу. Ввиду отсутствия чётких рекомендаций по ведению пациенток с АКШМ *in situ*, МРТ является методом выбора при наблюдении за данной категорией больных. В спорных моментах установки первичной принадлежности аденокарциномы матки следует полагаться на комбинирование физикальных (осмотр гинеколога), инструментальных (МРТ) и морфологических методов диагностики.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли

и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: И.Б. Антонова — концепция и дизайн исследования, согласование окончательного варианта текста; С.П. Аксенова — написание текста статьи, анализ результатов, подготовка иллюстраций, редактирование рукописи; Н.В. Нуднов — концепция и дизайн исследования, согласование окончательного варианта текста; А.В. Кригер — написание текста статьи, анализ результатов, редактирование рукописи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. I.B. Antonova — concept and design of the study, agreement on the final version of the text; S.P. Aksenova — writing the text of the article, analyzing the results, preparing illustrations, editing the manuscript; N.V. Nudnov — concept and design of the study, approval of the final version of the text; A.V. Krieger — writing the text of the article, analyzing the results, editing the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global health estimates: Leading causes of death. Cause-specific mortality, 2000–2019. World Health Organization; c2024. Доступ по ссылке: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghe-leading-causes-of-death>
2. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries // *CA Cancer J Clin.* 2021. Vol. 71, N 3. P. 209–249. doi: 10.3322/caac.21660
3. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. Москва: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022.
4. Chan Z.F., Zhi K.Z. Prevalence and attribution of high-risk HPV in different histological types of cervical cancer // *Zhonghua Fu Chan Ke Za Zhi.* 2019. Vol. 54, N 5. P. 293–300. doi: 10.3760/cma.j.issn.0529-567x.2019.05.002
5. Li N., Franceschi S., Howell-Jones R., et al. Human papillomavirus type distribution in 30,848 invasive cervical cancers worldwide: Variation by geographical region, histological type and year of publication // *Int J Cancer.* 2011. Vol. 128, N 4. P. 927–935. doi: 10.1002/ijc.25396
6. Nicolás I., Marimon L., Barnadas E., et al. HPV-negative tumors of the uterine cervix // *Mod Pathol.* 2019. Vol. 32, N 8. P. 1189–1196. doi: 10.1038/s41379-019-0249-1
7. NCCN guidelines panel. Cervical Cancer. Version 1.2021 PA: National Comprehensive Cancer Network; c2024. Доступ по ссылке: <https://www.nccn.org/guidelines/guidelines-detail?category=1&id=1426>
8. Клинические рекомендации — Рак шейки матки. ID 537. Одобрено Научно-практическим Советом Минздрава РФ. 2020. Режим доступа: https://cr.minzdrav.gov.ru/recommend/537_1
9. Stolnicu S., Barsan I., Hoang L., et al. International Endocervical Adenocarcinoma Criteria and Classification (IECC): A New Pathogenetic Classification for Invasive Adenocarcinomas of the Endocervix // *Am J Surg Pathol.* 2018. Vol. 42, N 2. P. 214–226. doi: 10.1097/PAS.0000000000000986
10. Григорук О.Г., Москвина Т.А., Цой Д.А., и др. Эндоцервикальные аденокарциномы. Цитологическая, гистологическая и молекулярно-генетическая диагностика // *Опухоли женской репродуктивной системы.* 2022. Т. 18, № 2. С. 109–118. doi: 10.17650/1994-4098-2022-18-2-109-118
11. World Health Organization. Female Genital Tumors. In: WHO Classification of Tumours, 5th Edition, Volume 4. International Agency for Research on Cancer, 2020.
12. Islami F., Fedewa S.A., Jemal A. Trends in cervical cancer incidence rates by age, race/ethnicity, histological subtype, and stage at diagnosis in the United States // *Preventive Medicine.* 2019. Vol. 123. P. 316–323. doi: 10.1016/j.ypmed.2019.04.010

13. Hu J., Zheng P., Zhu L. Comparison of clinical pathological characteristics in ovarian preserving patients with stage IB1 cervical adenocarcinoma and squamous cell carcinoma // *Journal of Peking University (Health Sciences)*. 2016. Vol. 48, N 5. P. 783–787. doi: 10.3969/j.issn.1671-167X.2016.05.006
14. Hu K., Wang W., Liu X., et al. Comparison of treatment outcomes between squamous cell carcinoma and adenocarcinoma of cervix after definitive radiotherapy or concurrent chemoradiotherapy // *Radiat Oncol*. 2018. Vol. 13, N 1. P. 249. doi: 10.1186/s13014-018-1197-5
15. Fan Y., Wang M., Mu Y., et al. Ovarian metastasis in women with cervical carcinoma in stages IA to IIB // *Medicine (Baltimore)*. 2020. Vol. 99, N 31. P. e21146. doi: 10.1097/MD.00000000000021146
16. Bhatla N., Aoki D., Sharma D.N., et al. Cancer of the cervix uteri: 2021 update // *Int J Gynaecol Obstet*. 2021. Vol. 155 Suppl. 1. P. 28–44. doi: 10.1002/ijgo.13865
17. Stewart C.J.R., Crum C.P., McCluggage W.G., et al. Guidelines to Aid in the Distinction of Endometrial and Endocervical Carcinomas, and the Distinction of Independent Primary Carcinomas of the Endometrium and Adnexa From Metastatic Spread Between These and Other Sites // *Int J Gynecol Pathol*. 2019. Vol. 38 Suppl. 1, N 1 Suppl. 1. P. S75–S92. doi: 10.1097/PGP.0000000000000553
18. Song J., Im S., Lee S.H., Jang H.J. Deep Learning-Based Classification of Uterine Cervical and Endometrial Cancer Subtypes from Whole-Slide Histopathology Images // *Diagnostics (Basel)*. 2022. Vol. 12, N 11. P. 2623. doi: 10.3390/diagnostics12112623
19. Woo S., Atun R., Ward Z.J., et al. Diagnostic performance of conventional and advanced imaging modalities for assessing newly diagnosed cervical cancer: systematic review and meta-analysis // *Eur Radiol*. 2020. Vol. 30, N 10. P. 5560–5577. doi: 10.1007/s00330-020-06909-3
20. Merz J., Bossart M., Bamberg F., et al. Revised FIGO Staging for Cervical Cancer — A New Role for MRI // *Rofo*. 2020. Vol. 192, N 10. P. 937–944. doi: 10.1055/a-1198-5729
21. Рубцова Н.А., Новикова Е.Г., Синецын В.Е. Возможности МРТ в предоперационной оценке местной распространенности рака шейки матки // *Акушерство, гинекология и репродукция*. 2012. Т. 6, № 3. С. 6–13. EDN: PUVJZT
22. Balcacer P., Shergill A., Litkouhi B. MRI of cervical cancer with a surgical perspective: staging, prognostic implications and pitfalls // *Abdom Radiol (NY)*. 2019. Vol. 44, N 7. P. 2557–2571. doi: 10.1007/s00261-019-01984-7
23. Woo S., Suh C.H., Kim S.Y., et al. Magnetic resonance imaging for detection of parametrial invasion in cervical cancer: An updated systematic review and meta-analysis of the literature between 2012 and 2016 // *European Radiology*. 2018. Vol. 28, N 2. P. 530–541. doi: 10.1007/s00330-017-4958-x
24. Alt C.D., Bharwani N., Danza F.M., et al. ESUR Quick Guide to Female Pelvis Imaging. ESUR, 2019. Доступ по ссылке: https://www.researchgate.net/publication/334725882_ESUR_Quick_Guide_to_Female_Pelvis_Imaging
25. Castanon A., Landy R., Sasieni P.D. Is cervical screening preventing adenocarcinoma and adenosquamous carcinoma of the cervix? // *Int J Cancer*. 2016. Vol. 139, N 5. P. 1040–1045. doi: 10.1002/ijc.30152
26. Suh D.H., Ha H.I., Lee Y.J., et al. Incidence and treatment outcomes of uterine cervical cancer in Korea 1999–2018 from the national cancer registry // *J Gynecol Oncol*. 2023. Vol. 34, N 2. P. e39. doi: 10.3802/jgo.2023.34.e39
27. Miyamoto T., Kobara H., Shiozawa T. Biology and management of lobular endocervical glandular hyperplasia // *J Obstet Gynaecol Res*. 2022. Vol. 48, N 12. P. 3056–3067. doi: 10.1111/jog.15441
28. Kerwin C.M., Markese M., Moroney M.R., et al. Adenocarcinoma of the uterine cervix, gastric-type (GAS): a review of the literature focused on pathology and multimodality imaging // *Abdom Radiol (NY)*. 2023. Vol. 48, N 2. P. 713–723. doi: 10.1007/s00261-022-03724-w
29. Marnitz S., Tsunoda A.T., Martus P., et al. Surgical versus clinical staging prior to primary chemoradiation in patients with cervical cancer FIGO stages IIB–IVA: oncologic results of a prospective randomized international multicenter (Uterus-11) intergroup study // *Int J Gynecol Cancer*. 2020. Vol. 30, N 12. P. 1855–1861. doi: 10.1136/ijgc-2020-001973
30. Akhavan S., Mousavi A., Sheikh Hassani S., et al. Evaluation of Cervical Cancer Staging Based on Magnetic Resonance Imaging in Comparison with Surgical Staging // *Int J Cancer Manag*. 2023. Vol. 16, N 1. P. e126966. doi: 10.5812/ijcm-126966
31. Трухачёва Н.Г., Фролова И.Г., Коломиец Л.А., и др. Оценка степени распространённости рака шейки матки при использовании МРТ // *Сибирский онкологический журнал*. 2015. № 2. С. 64–70. EDN: TSLSAD
32. Horn L.C., Höhn A.K., Stark S., et al. Endocervical adenocarcinoma in situ (AIS) with ovarian and pulmonary involvement: report of a case and review of the literature suggesting a “seed and soil hypothesis” // *J Cancer Res Clin Oncol*. 2019. Vol. 145, N 8. P. 2061–2069. doi: 10.1007/s00432-019-02966-4
33. Mao L., Zhang X., Chen T., et al. High-resolution reduced field-of-view diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the diagnosis of cervical cancer // *Quant Imaging Med Surg*. 2023. Vol. 13, N 6. P. 3464–3476. doi: 10.21037/qims-22-579
34. Kuang F., Ren J., Zhong Q., et al. The value of apparent diffusion coefficient in the assessment of cervical cancer // *Eur Radiol*. 2013. Vol. 23, N 4. P. 1050–1058. doi: 10.1007/s00330-012-2681-1
35. Wang M., Peruchio J.A.U., Chan Q. Diffusion Kurtosis Imaging in the Assessment of Cervical Carcinoma // *Acad Radiol*. 2020. Vol. 27, N 5. P. E94–E101. doi: 10.1016/j.acra.2019.06.022
36. Monist M., Lewkowicz D., Piętak P., et al. Synchronously occurring endometrioid carcinomas of the uterine corpus and uterine cervix preceded by different precancerous lesions: A case study and a literature review // *Pathol Res Pract*. 2023. Vol. 245. P. 154452. doi: 10.1016/j.prp.2023.154452
37. Lin Y.C., Lin G., Chen Y.R., et al. Role of magnetic resonance imaging and apparent diffusion coefficient at 3T in distinguishing between adenocarcinoma of the uterine cervix and endometrium // *Chang Gung Med J*. 2011. Vol. 34, N 1. P. 93–100.
38. Gui B., Lupinelli M., Russo L., et al. MRI in uterine cancers with uncertain origin: Endometrial or cervical? Radiological point of view with review of the literature // *European journal of radiology*. 2022. Vol. 153. P. 110357. doi: 10.1016/j.ejrad.2022.110357

39. Тарачкова Е.В., Шорилов М.А., Панов В.О., и др. Возможности мультипараметрической магнитно-резонансной томографии в дифференциальной диагностике гистологического типа рака шейки на дооперационном этапе // Опухоли женской репродуктивной системы. 2016. Т. 12, № 2. С. 60–69. doi: 10.17650/1994-4098-2016-12-2-60-69

40. Yemelyanova A., Vang R., Seidman J.D., Gravitt P.E., Ronnett B.M. Endocervical adenocarcinomas with prominent endometrial or endomyometrial involvement simulating primary endometrial

carcinomas: utility of HPV DNA detection and immunohistochemical expression of p16 and hormone receptors to confirm the cervical origin of the corpus tumor // *Am J Surg Pathol*. 2009. Vol. 33, N 6. P. 914–924. doi: 10.1097/PAS.0b013e3181971fdd

41. Jain P., Aggarwal A., Ghazi R.G., et al. Role of MRI in diagnosing the primary site of origin in indeterminate cases of uterocervical carcinomas: a systematic review and meta-analysis // *Br J Radiol*. 2022. Vol. 95, N 1129. P. 20210428. doi: 10.1259/bjr.20210428

REFERENCES

1. Global health estimates: Leading causes of death. Cause-specific mortality, 2000–2019. World Health Organization; c2024. Available from: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghe-leading-causes-of-death>

2. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*. 2021;71(3):209–249. doi: 10.3322/caac.21660

3. Kaprin AD, Starinskii VV, Shakhzadova AO, editors. *State of oncological care for the Russian population in 2021*. Moscow: MNIOI im. P.A. Gertsena — filial FGBU “NMITs radiologii” Minzdrava Rossii; 2022. (In Russ).

4. Chan ZF, Zhi KZ. Prevalence and attribution of high-risk HPV in different histological types of cervical cancer. *Zhonghua Fu Chan Ke Za Zhi*. 2019;54(5):293–300. doi: 10.3760/cma.j.issn.0529-567x.2019.05.002

5. Li N, Franceschi S, Howell-Jones R, et al. Human papillomavirus type distribution in 30,848 invasive cervical cancers worldwide: Variation by geographical region, histological type and year of publication. *Int J Cancer*. 2011;128(4):927–935. doi: 10.1002/ijc.25396

6. Nicolás I, Marimon L, Barnadas E, et al. HPV-negative tumors of the uterine cervix. *Mod Pathol*. 2019;32(8):1189–1196. doi: 10.1038/s41379-019-0249-1

7. NCCN guidelines panel. Cervical Cancer. Version 1.2021 PA: National Comprehensive Cancer Network; c2024. Available from: <https://www.nccn.org/guidelines/guidelines-detail?category=1&id=1426>

8. *Cervical cancer. Clinical guidelines*. ID 537. Approved by the Scientific and Practical Council of the Ministry of Health of the Russian Federation. 2020. Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/537_1 (In Russ).

9. Stolnicu S, Barsan I, Hoang L, et al. International Endocervical Adenocarcinoma Criteria and Classification (IECC): A New Pathogenetic Classification for Invasive Adenocarcinomas of the Endocervix. *Am J Surg Pathol*. 2018;42(2):214–226. doi: 10.1097/PAS.0000000000000986

10. Grigoruk OG, Moskvina TA, Tsoy DA, et al. Endocervical adenocarcinomas. Cytological, histological, and molecular diagnostics. *Tumors of female reproductive system*. 2022;18(2):109–118. doi: 10.17650/1994-4098-2022-18-2-109-118

11. World Health Organization. Female Genital Tumors. In: *WHO Classification of Tumours, 5th Edition, Volume 4*. International Agency for Research on Cancer; 2020.

12. Islami F, Fedewa SA, Jemal A. Trends in cervical cancer incidence rates by age, race/ethnicity, histological subtype, and stage at diagnosis in the United States. *Preventive Medicine*. 2019;123:316–323. doi: 10.1016/j.ypmed.2019.04.010

13. Hu J, Zheng P, Zhu L. Comparison of clinical pathological characteristics in ovarian preserving patients with stage IB1 cervical adenocarcinoma and squamous cell carcinoma. *Journal of Peking University (Health Sciences)*. 2016;48(5):783–787. doi: 10.3969/j.issn.1671-167X.2016.05.006

14. Hu K, Wang W, Liu X, et al. Comparison of treatment outcomes between squamous cell carcinoma and adenocarcinoma of cervix after definitive radiotherapy or concurrent chemoradiotherapy. *Radiat Oncol*. 2018;13(1):249. doi: 10.1186/s13014-018-1197-5

15. Fan Y, Wang M, Mu Y, et al. Ovarian metastasis in women with cervical carcinoma in stages IA to IIB. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(31):e21146. doi: 10.1097/MD.00000000000021146

16. Bhatla N, Aoki D, Sharma DN, et al. Cancer of the cervix uteri: 2021 update. *Int J Gynaecol Obstet*. 2021;155 Suppl. 1:28–44. doi: 10.1002/ijgo.13865

17. Stewart CJR, Crum CP, McCluggage WG, et al. Guidelines to Aid in the Distinction of Endometrial and Endocervical Carcinomas, and the Distinction of Independent Primary Carcinomas of the Endometrium and Adnexa From Metastatic Spread Between These and Other Sites. *Int J Gynecol Pathol*. 2019;38 Suppl. 1(1 Suppl. 1):S75–S92. doi: 10.1097/PGP.0000000000000553

18. Song J, Im S, Lee SH, Jang HJ. Deep Learning-Based Classification of Uterine Cervical and Endometrial Cancer Subtypes from Whole-Slide Histopathology Images. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(11):2623. doi: 10.3390/diagnostics12112623

19. Woo S, Atun R, Ward ZJ, et al. Diagnostic performance of conventional and advanced imaging modalities for assessing newly diagnosed cervical cancer: systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol*. 2020;30(10):5560–5577. doi: 10.1007/s00330-020-06909-3

20. Merz J, Bossart M, Bamberg F, et al. Revised FIGO Staging for Cervical Cancer — A New Role for MRI. *Rofo*. 2020;192(10):937–944. doi: 10.1055/a-1198-5729

21. Rubtsova NA, Novikova EG, Sinitsyn VE. MRI opportunities in cervical cancer local staging preoperative evaluation. *Obstetrics, Gynecology and Reproduction*. 2012;6(3):6–13. EDN: PUVJZT

22. Balcacer P, Shergill A, Litkouhi B. MRI of cervical cancer with a surgical perspective: staging, prognostic implications

- and pitfalls. *Abdom Radiol (NY)*. 2019;44(7):2557–2571. doi: 10.1007/s00261-019-01984-7
- 23.** Woo S, Suh CH, Kim SY, et al. Magnetic resonance imaging for detection of parametrial invasion in cervical cancer: An updated systematic review and meta-analysis of the literature between 2012 and 2016. *European Radiology*. 2018;28(2):530–541. doi: 10.1007/s00330-017-4958-x
- 24.** Alt CD, Bharwani N, Danza FM, et al. ESUR Quick Guide to Female Pelvis Imaging. ESUR, 2019. Available from: https://www.researchgate.net/publication/334725882_ESUR_Quick_Guide_to_Female_Pelvis_Imaging
- 25.** Castanon A, Landy R, Sasieni PD. Is cervical screening preventing adenocarcinoma and adenosquamous carcinoma of the cervix. *Int J Cancer*. 2016;139(5):1040–1045 doi: 10.1002/ijc.30152
- 26.** Suh DH, Ha HI, Lee YJ, et al. Incidence and treatment outcomes of uterine cervical cancer in Korea 1999–2018 from the national cancer registry. *J Gynecol Oncol*. 2023;34(2):e39. doi: 10.3802/jgo.2023.34.e39
- 27.** Miyamoto T, Kobara H, Shiozawa T. Biology and management of lobular endocervical glandular hyperplasia. *J Obstet Gynaecol Res*. 2022;48(12):3056–3067. doi: 10.1111/jog.15441
- 28.** Kerwin CM, Markese M, Moroney MR, et al. Adenocarcinoma of the uterine cervix, gastric-type (GAS): a review of the literature focused on pathology and multimodality imaging. *Abdom Radiol (NY)*. 2023;48(2):713–723. doi: 10.1007/s00261-022-03724-w
- 29.** Marnitz S, Tsunoda AT, Martus P, et al. Surgical versus clinical staging prior to primary chemoradiation in patients with cervical cancer FIGO stages IIB–IVA: oncologic results of a prospective randomized international multicenter (Uterus-11) intergroup study. *Int J Gynecol Cancer*. 2020;30(12):1855–1861. doi: 10.1136/ijgc-2020-001973
- 30.** Akhavan S, Mousavi A, Sheikh Hassani S, et al. Evaluation of Cervical Cancer Staging Based on Magnetic Resonance Imaging in Comparison with Surgical Staging. *Int J Cancer Manag*. 2023;16(1):e126966. doi: 10.5812/ijcm-126966
- 31.** Trukhacheva NG, Frolova IG, Kolomiets LA, et al. Assessment of the extent of cervical cancer spread using magnetic resonance imaging. *Siberian journal of oncology*. 2015;(2):64–70. EDN: TSLSAD
- 32.** Horn LC, Höhn AK, Stark S, et al. Endocervical adenocarcinoma in situ (AIS) with ovarian and pulmonary involvement: report of a case and review of the literature suggesting a “seed and soil hypothesis”. *J Cancer Res Clin Oncol*. 2019;145(8):2061–2069. doi: 10.1007/s00432-019-02966-4
- 33.** Mao L, Zhang X, Chen T, et al. High-resolution reduced field-of-view diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the diagnosis of cervical cancer. *Quant Imaging Med Surg*. 2023;13(6):3464–3476. doi: 10.21037/qims-22-579
- 34.** Kuang F, Ren J, Zhong Q, et al. The value of apparent diffusion coefficient in the assessment of cervical cancer. *Eur Radiol*. 2013;23(4):1050–1058. doi: 10.1007/s00330-012-2681-1
- 35.** Wang M, Perucho JAU, Chan Q. Diffusion Kurtosis Imaging in the Assessment of Cervical Carcinoma. *Acad Radiol*. 2020;27(5):E94–E101. doi: 10.1016/j.acra.2019.06.022
- 36.** Monist M, Lewkowicz D, Piętak P, et al. Synchronously occurring endometrioid carcinomas of the uterine corpus and uterine cervix preceded by different precancerous lesions: A case study and a literature review. *Pathol Res Pract*. 2023;245:154452. doi: 10.1016/j.prp.2023.154452
- 37.** Lin YC, Lin G, Chen YR, et al. Role of magnetic resonance imaging and apparent diffusion coefficient at 3T in distinguishing between adenocarcinoma of the uterine cervix and endometrium. *Chang Gung Med J*. 2011;34(1):93–100.
- 38.** Gui B, Lupinelli M, Russo L, et al. MRI in uterine cancers with uncertain origin: Endometrial or cervical? Radiological point of view with review of the literature. *European journal of radiology*. 2022;153:110357. doi: 10.1016/j.ejrad.2022.110357
- 39.** Tarachkova EV, Shorikov MA, Panov VO, et al. Possibilities of multiparametric MRI in the differential diagnosis of histological types of cervical cancer in the preoperative period. *Tumors of female reproductive system*. 2016;12(2):60–69. doi: 10.17650/1994-4098-2016-12-2-60-69
- 40.** Yemelyanova A, Vang R, Seidman JD, Gravitt PE, Ronnett BM. Endocervical adenocarcinomas with prominent endometrial or endomyometrial involvement simulating primary endometrial carcinomas: utility of HPV DNA detection and immunohistochemical expression of p16 and hormone receptors to confirm the cervical origin of the corpus tumor. *Am J Surg Pathol*. 2009;33(6):914–924. doi: 10.1097/PAS.0b013e3181971fdd
- 41.** Jain P, Aggarwal A, Ghazi RG, et al. Role of MRI in diagnosing the primary site of origin in indeterminate cases of uterocervical carcinomas: a systematic review and meta-analysis. *Br J Radiol*. 2022;95(1129):20210428. doi: 10.1259/bjr.20210428

ОБ АВТОРАХ

* **Аксенова Светлана Павловна**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 86;
ORCID: 0000-0003-2552-5754;
eLibrary SPIN: 4858-4627;
e-mail: fabella@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Svetlana P. Aksenova**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 86 Profsoyuznaya Str., Moscow, 117997, Russia;
ORCID: 0000-0003-2552-5754;
eLibrary SPIN: 4858-4627;
e-mail: fabella@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Антонова Ирина Борисовна, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0003-2668-2110;

eLibrary SPIN: 6247-3917;

e-mail: Iran24@yandex.ru

Нуднов Николай Васильевич, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0001-5994-0468;

eLibrary SPIN: 3018-2527;

e-mail: nudnov@rncrr.ru

Кригер Анна Валентиновна;

ORCID: 0000-0001-6823-2658;

eLibrary SPIN: 2338-6164;

e-mail: dr.akriger@gmail.com

Irina B. Antonova, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-2668-2110;

eLibrary SPIN: 6247-3917;

e-mail: Iran24@yandex.ru

Nikolay V. Nudnov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0001-5994-0468;

eLibrary SPIN: 3018-2527;

e-mail: nudnov@rncrr.ru

Anna V. Kriger;

ORCID: 0000-0001-6823-2658;

eLibrary SPIN: 2338-6164;

e-mail: dr.akriger@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568087>

Магнитно-резонансная томография при воронкообразной деформации грудной клетки

Г.С. Музафарова, М.В. Вишнякова, А.С. Абраменко, В.А. Кузьмичев, В.В. Гацуцын

Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Магнитно-резонансная томография чаще применяется для подтверждения факта наличия воронкообразной деформации грудной клетки, а также для оценки компрессионных изменений сердца на этом уровне.

Цель — прицельная предоперационная оценка воронкообразной деформации грудной клетки по данным магнитно-резонансной томографии.

Материалы и методы. Проведена ретроспективная оценка магнитно-резонансной томографии органов грудной клетки у 38 пациентов (30 мужского пола, 8 женского пола). Средний возраст — 19,9 года (± 9 лет).

Магнитно-резонансная томография сердца выполнялась на аппарате General Electric Optima MR450w GEM 1,5 Тл с использованием импульсных последовательностей 2D-FIESTA-C с электрокардиографической синхронизацией с функциональной оценкой состояния левого и правого желудочков. Были получены параметры, необходимые для дальнейшего оперативного лечения пациентов по поводу воронкообразной деформации грудины — индекс Галлера, индекс коррекции, угол ротации грудины.

Проведена статистическая обработка полученных данных, поиск взаимосвязи между индексом Галлера, индексом коррекции, углом ротации грудины и фракцией выброса правого желудочка. Значение $p < 0,05$ считали границей статистической значимости.

Результаты. В 92% случаев у пациентов выявлена умеренная и тяжёлая воронкообразная деформация грудной клетки. При поиске взаимосвязи между значениями индекса Галлера и фракцией выброса правого желудочка не было получено статистически значимой корреляции Пирсона ($p=0,777$ для значений фракции выброса на вдохе и $p=0,798$ для значений фракции выброса на выдохе). Среднее значение фракции выброса правого желудочка составило 46%. При статистическом анализе по мере увеличения индекса Галлера (увеличение степени деформации органов грудной клетки) было отмечено увеличение индекса коррекции ($p < 0,05$). Значения угла ротации грудины, потребовавшие модификации оперативного вмешательства (более 15°), были выявлены у 44,7% пациентов.

Заключение. Магнитно-резонансная томография — высокоинформативный метод диагностики при воронкообразной деформации грудной клетки: без лучевой нагрузки и с возможностью подробной предоперационной оценки патологических изменений.

Получены данные о наличии корреляции между значениями индекса Галлера и индекса коррекции ($p < 0,05$). Кроме того, по данным магнитно-резонансной томографии выявлено уменьшение фракции выброса правого желудочка.

Ключевые слова: воронкообразная деформация грудной клетки; магнитно-резонансная томография; фракция выброса правого желудочка; индекс Галлера; индекс коррекции; угол ротации грудины.

Как цитировать:

Музафарова Г.С., Вишнякова М.В., Абраменко А.С., Кузьмичев В.А., Гацуцын В.В. Магнитно-резонансная томография при воронкообразной деформации грудной клетки // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 167–177. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568087>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568087>

Magnetic resonance imaging in the evaluation of pectus excavatum

Gulishe S. Muzafarova, Marina V. Vishnyakova, Alexander S. Abramenko, Vladimir A. Kuzmichev, Vladimir V. Gatsutsyn

Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Magnetic resonance imaging is more often used to confirm the presence of pectus excavatum and assess compression changes in the heart at this level.

AIM: To evaluate pectus excavatum preoperatively according to magnetic resonance imaging findings.

MATERIALS AND METHODS: A retrospective evaluation of chest magnetic resonance imaging data of 38 patients (male, $n=30$; female, $n=8$) was performed. The average age was 19.9 years (± 9 years). Cardiac magnetic resonance imaging was performed on a 1.5-T General Electric Optima MR450w GEM scanner with 2D-FIESTA-C pulse sequences, as well as functional assessment of the left and right ventricles. Parameters for surgical treatment of pectus excavatum were as follows: the Haller index, correction index, and sternum rotation angle. Statistical analysis of the relationship between the Haller index, correction index, and sternum rotation angle and ejection fraction of the right ventricle was conducted. A p -value <0.05 was considered significant.

RESULTS: Moderate and severe pectus excavatum were found in 92% of the cases. No significant Pearson correlation was obtained between the Haller index and right ventricular ejection fraction (inspiratory and expiratory ejection fraction, $p=0.777$ and 0.798 , respectively). The mean right ventricular ejection fraction was 46%. A correlation was noted between the Haller index and the correction index ($p < 0.05$). The rotation angle of the sternum, which required modification of surgical intervention, was detected in 44.7% of patients.

CONCLUSION: Magnetic resonance imaging is an informative diagnostic method for pectus excavatum without radiation exposure and enables detailed preoperative assessment. A correlation was noted between the Haller index and the correction index ($p < 0.05$). Magnetic resonance imaging revealed a decrease in the ejection fraction of the right ventricle.

Keywords: pectus excavatum; magnetic resonance imaging; right ventricle ejection fraction; Haller index; correction index; sternal torsion angle.

To cite this article:

Muzafarova GS, Vishnyakova MV, Abramenko AS, Kuzmichev VA, Gatsutsyn VV. Magnetic resonance imaging in the evaluation of pectus excavatum. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):167–177. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568087>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568087>

漏斗胸畸形的磁共振成像

Gulishe S. Muzafarova, Marina V. Vishnyakova, Alexander S. Abramenko,
Vladimir A. Kuzmichev, Vladimir V. Gatsutsyn

Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, Russia

摘要

论证。磁共振成像更常用于确认是否存在漏斗胸畸形，并评估该水平的胸部压迫变化。

目的是通过磁共振成像对漏斗胸畸形进行术前评估。

材料和方法。我们对 38 名患者 (30 名男性, 8 名女性) 的胸部器官磁共振成像进行了回顾性评估。平均年龄为 19.9 岁 (± 9 岁)。

心脏磁共振成像是在 General Electric Optima MR450w GEM 1.5 特斯拉设备上进行的, 使用的是 2D-FIESTA-C 脉冲序列, 同时进行了伴有左心室和右心室功能评估的心电图同步。获得了对漏斗胸畸形患者进行进一步手术治疗所需的参数: Haller 指数、矫正指数、胸骨旋转角度。

对获得的数据进行统计处理, 寻找 Haller 指数、矫正指数、胸骨旋转角度和右心室射血分数之间的相关性。P<0.05 的值被认为是统计学意义的边界。

结果。在 92% 的患者中发现了中度和重度漏斗胸畸形。在寻找 Haller 指数值与右心室射血分数之间的相关性时, 未发现具有统计学意义的 Pearson 相关性 (吸气射血分数值的相关性为 $P=0.777$, 呼气射血分数值的相关性为 $P=0.798$)。右心室射血分数的平均值为 46%。在统计分析中, 随着 Haller 指数 (胸腔器官畸形程度的增加) 的增加, 矫正指数也在增加 ($P<0.05$)。44.7% 的患者的胸骨旋转角度值需要修改手术干预 (超过 15°)。

结论。磁共振成像是一种对漏斗胸畸形有高度参考价值的诊断方法: 无需放射线照射, 还能对病理变化进行详细的术前评估。

数据显示了, Haller 指数与矫正指数值之间存在相关性 ($P<0.05$)。此外, 磁共振成像数据显示了, 右心室射血分数有所下降。

关键词: 漏斗胸畸形; 磁共振成像; 右心室射血分数; Haller 指数; 矫正指数; 胸骨旋转角度。

引用本文:

Muzafarova GS, Vishnyakova MV, Abramenko AS, Kuzmichev VA, Gatsutsyn VV. 漏斗胸畸形的磁共振成像. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):167–177.
DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568087>

收到: 07.08.2023

接受: 22.03.024

发布日期: 19.06.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК, *pectus excavatum*) — распространённый дефект развития грудной клетки (частота 1:300–1000 новорождённых), клинические проявления которого наиболее часто манифестируют в 10–12 лет и в период пубертатного возраста [1, 2].

При ВДГК происходит формирование различного по глубине и форме западения грудины и передних отделов рёбер. Предполагается, что деформация грудной клетки является результатом аномального развития рёберных хрящей с их чрезмерным ростом, приводящим к прогрессивному смещению грудины. Изменения максимально выражены на уровне прикрепления к грудине IV–VII рёбер. При смещении грудины впереди диагностируется вентральный тип изменений — килевидная деформация; при смещении грудины кзади — дорзальный тип или воронкообразная деформация [2].

При ВДГК кроме косметического дефекта происходит смещение органов и структур средостения, а также компрессия лёгочной ткани, что может привести к функциональным изменениям со стороны сердца и лёгких и снижению физической активности [3–6].

Для оценки степени деформации и взаимоотношения изменённой грудной стенки с органами средостения широко используется рентгеновская компьютерная томография благодаря своей широкой доступности и скорости выполнения исследования [3].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) тоже используется для подтверждения факта наличия деформации, а также для оценки возможной компрессии сердца [3]. МРТ не обладает лучевой нагрузкой и позволяет получить аналогичный компьютерной томографии объём диагностических данных о состоянии грудины и рёбер. Однако подробные данные об информативности МРТ в оценке параметров, необходимых для планирования оперативного вмешательства, представлены только в единичных источниках [4].

Учитывая важность определения показаний к хирургическому лечению ВДГК, для оценки степени тяжести патологии используют различные показатели: индекс Галлера, индекс коррекции, определение угла ротации грудины.

Для определения индекса Галлера проводят измерения в аксиальной плоскости сканирования. Вычисляют отношение поперечного размера грудной клетки, которое измеряется как максимальное расстояние между внутренней частью рёбер, к переднезаднему размеру (расстояние между передней поверхностью позвоночника и задней пластинкой грудины) [7]. При ВДГК происходит уменьшение переднезаднего размера вследствие западения грудино-рёберного комплекса, что как следствие приводит к увеличению индекса Галлера [8]. Выделяют следующие значения индекса Галлера [8]:

- <2,0 — норма;
- 2,0–3,2 — мягкая ВДГК;

- 3,2–3,5 — умеренная ВДГК;
- >3,5 — тяжёлая ВДГК.

Показанием к проведению хирургической коррекции ВДГК является индекс Галлера более 3,25.

Индекс коррекции — это отношение ожидаемого увеличения деформации грудной клетки после размещения пластины (в формуле — разница между максимальным размером и имеющимся минимальным размером) к максимальному переднему и заднему размеру внутренней грудной клетки, умноженное на 100. Индекс коррекции относительно недавно стал использоваться в определении тактики лечения пациентов с ВДГК [9].

Изучение угла ротации грудины принципиально для пациентов с ВДГК, так как определение выраженности и направленности угла позволяет корректно далее спланировать ход оперативного вмешательства [10].

ЦЕЛЬ

Провести прицельную оценку ВДГК по данным МРТ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено одноцентровое ретроспективное исследование, включавшее оценку МРТ сердца и органов грудной клетки у 38 пациентов.

Критерии соответствия

Критерии включения в исследование:

- обследование пациента по поводу воронкообразной деформации органов грудной клетки;
- наличие выполненной МРТ сердца и органов грудной клетки;
- наличие информированного согласия.

Критерии исключения:

- наличие в организме электронных водителей ритма, металлических элементов;
- наличие клаустрофобии;
- неадекватное поведение пациента.

Описание медицинского вмешательства

МРТ сердца выполнялась в рамках обследования при подготовке к хирургическому лечению, исследования проводились на аппарате General Electric Optima MR450w GEM 1,5 Тл (GE Healthcare, США) с использованием импульсных последовательностей 2D-FIESTA-C. Протокол исследования с электрокардиографической синхронизацией включал функциональную оценку состояния миокарда левого и правого желудочков. Функциональное исследование проводилось с применением стандартных последовательностей получения киноизображений сердца (balanced gradient echo) в стандартных кардиальных осях (длинные 2- и 4-камерные, короткая 2-камерная). Вычисление фракции выброса правого

желудочка проводилось на вдохе и на выдохе в полу-автоматическом режиме (с ручной коррекцией полученных значений).

При выполнении исследования функции сердца также были получены параметры, необходимые для дальнейшего оперативного лечения пациентов по поводу воронкообразной деформации грудины — индекс Галлера, индекс коррекции, угол ротации грудины.

Этическая экспертиза

МРТ сердца выполнялась в рамках предоперационного обследования пациентов по запросу клинических специалистов, поэтому при ретроспективной оценке исследований этическая экспертиза не проводилась.

Статистический анализ

Размер выборки, необходимый для исследования, предварительно не рассчитывался. Была проведена статистическая обработка полученных данных с вычислением средних значений и стандартных отклонений измеряемых параметров. Соответствие распределения количественных признаков нормальному оценивалось при помощи критерия Шапиро–Уилка. Связь количественных признаков оценивали при помощи критериев корреляции Пирсона и Спирмена. Приводили значение коэффициента корреляции, границы 95% доверительного интервала и достигнутое значение p . Оценивали двусторонний уровень значимости. Значение $p < 0,05$ считали

границей статистической значимости. Анализ проведён в GraphPad Prism 9 (GraphPad Software, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В рамках ретроспективного исследования был проведён анализ данных МРТ сердца и органов грудной клетки 38 пациентов (30 мужского пола, 8 женского пола). Средний возраст составил 19,9 года (± 9 лет).

Индекс Галлера

Мы разделили пациентов по степени выраженности индекса Галлера на 3 подгруппы (рис. 1, табл. 1). Пациенты с мягкой ВДГК далее не подвергались оперативному вмешательству. Пациентам с умеренной и тяжёлой деформациями грудной клетки была выполнена коррекция деформации.

При поиске взаимосвязи между значениями индекса Галлера и фракцией выброса правого желудочка не было получено статистически значимой корреляции Пирсона ($p=0,777$ для значений фракции выброса на вдохе и $p=0,798$ для значений фракции выброса на выдохе) (рис. 2, табл. 2). Среднее значение фракции выброса правого желудочка составило 46%.

Не было выявлено статистически значимой связи между индексом Галлера и углом ротации грудины ($p=0,9489$).

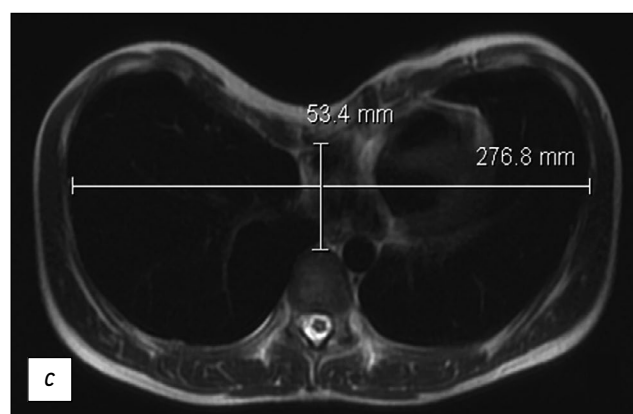
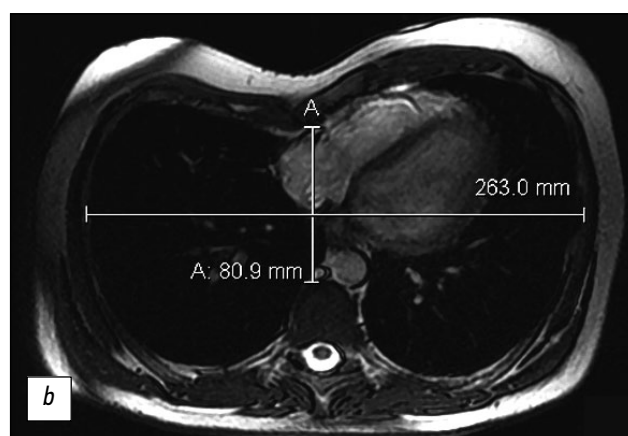
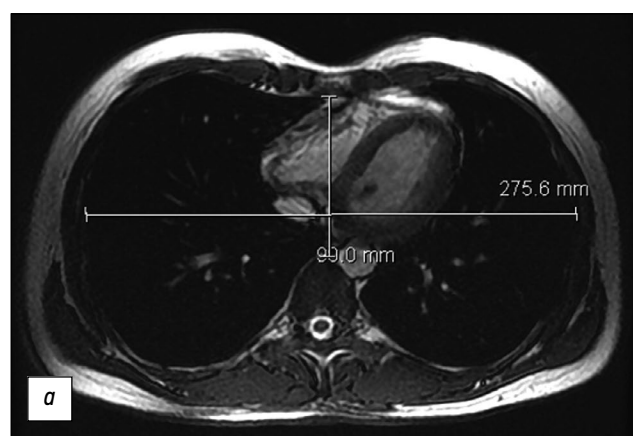


Рис. 1. Магнитно-резонансная томография органов грудной клетки на уровне максимальной деформации: *a* — индекс Галлера 3,1; *b* — индекс Галлера 3,3; *c* — индекс Галлера 5,2.

Таблица 1. Распределение пациентов по значению индекса Галлера

	Воронкообразная деформация грудной клетки		
	Мягкая	Умеренная	Тяжёлая
Количество пациентов	3	6	29
Среднее значение индекса Галлера	2,8	3,3	5,1
Стандартное отклонение индекса Галлера	0,4	0,1	1,8

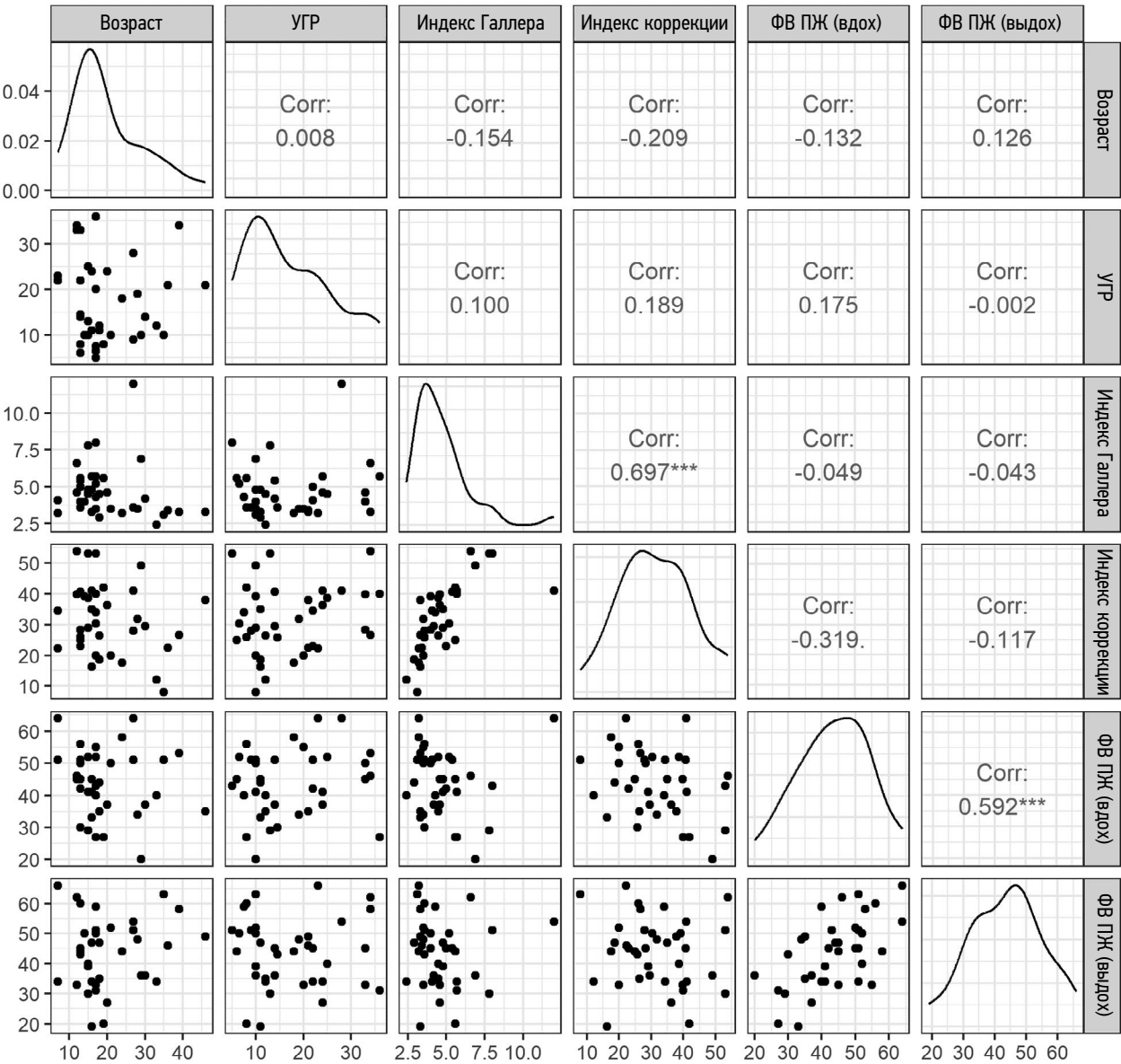


Рис. 2. Отображение наличия или отсутствия взаимосвязи между изучаемыми параметрами. УГР — угол ротации грудины; ФВ ПЖ — фракция выброса правого желудочка.

Таблица 2. Зависимость между значениями переменных (индекс Галлера и угол ротации грудины) и фракцией выброса правого желудочка на вдохе и выдохе

Переменная	Индекс коррекции	Фракция выброса правого желудочка	
		Вдох	Выдох
Угол ротации грудины	R=0,19 $p=0,255$	R=0,18 $p=0,306$	R=0 $p=0,99$
Индекс Галлера	R=0,7 $p<0,001$	R=-0,05 $p=0,777$	R=-0,04 $p=0,798$

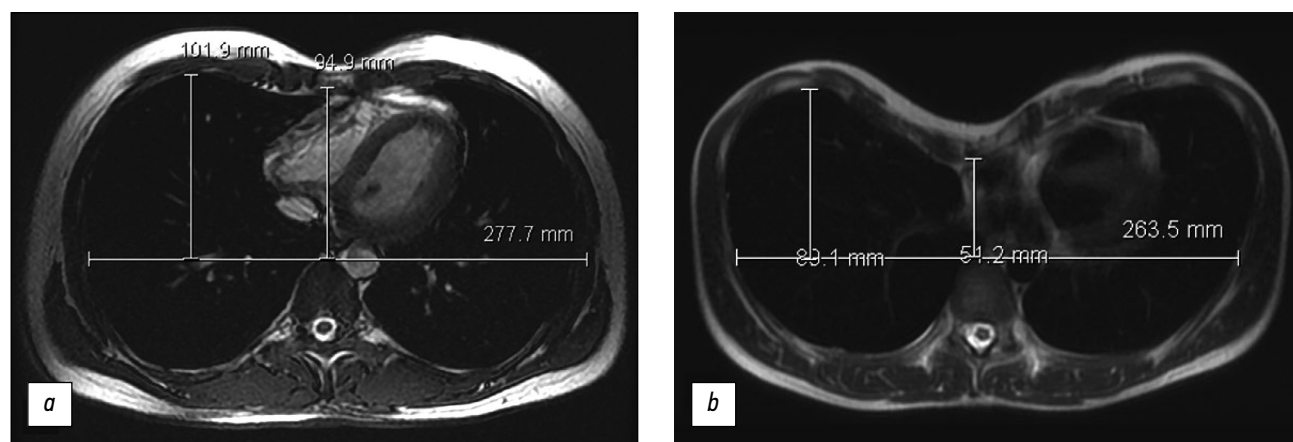


Рис. 3. Магнитно-резонансная томография органов грудной клетки на уровне максимальной деформации: *a* — индекс коррекции составляет 7%; *b* — индекс коррекции составляет 32%.

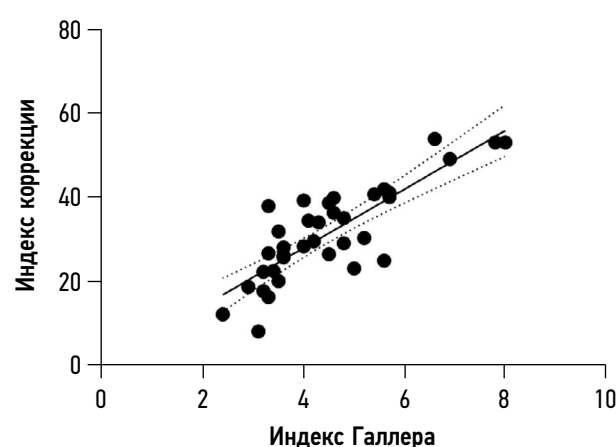


Рис. 4. Отображение корреляции между значениями индекса Галлера и индекса коррекции ($p < 0,05$).

Индекс коррекции

Среднее значение индекса коррекции по данным нашего исследования составило $31,5 (\pm 11)$ (рис. 3). При статистическом анализе по мере увеличения индекса Галлера (увеличение степени деформации органов грудной

клетки) было отмечено увеличение индекса коррекции, $p < 0,05$ (рис. 4). Так, среднее значение индекса коррекции для пациентов с мягкой ВДГК составило 13, а для пациентов с умеренной и тяжёлой деформацией — 24 и 35 соответственно.

Не было выявлено статистически значимой связи между углом ротации грудины и индексом коррекции ($p=0,35$), а также между индексом коррекции и фракцией выброса правого желудочка ($p=0,1$).

Угол ротации грудины

Важным фактором для определения тактики лечения является угол ротации грудины (рис. 5).

Значимым для проведения оперативного вмешательства являлся угол $\geq 150^\circ$ — 44,7% общего количества пациентов (табл. 3). Такое положение грудины требовало нестандартной косой установки корригирующей пластины. Положение осуществлялось «навстречу» острому углу грудины с целью последующего её разворота. Таким образом, если острый угол был направлен вправо, корригирующая пластина проводилась из вышележащего межреберья справа, через пик деформации с подворотом

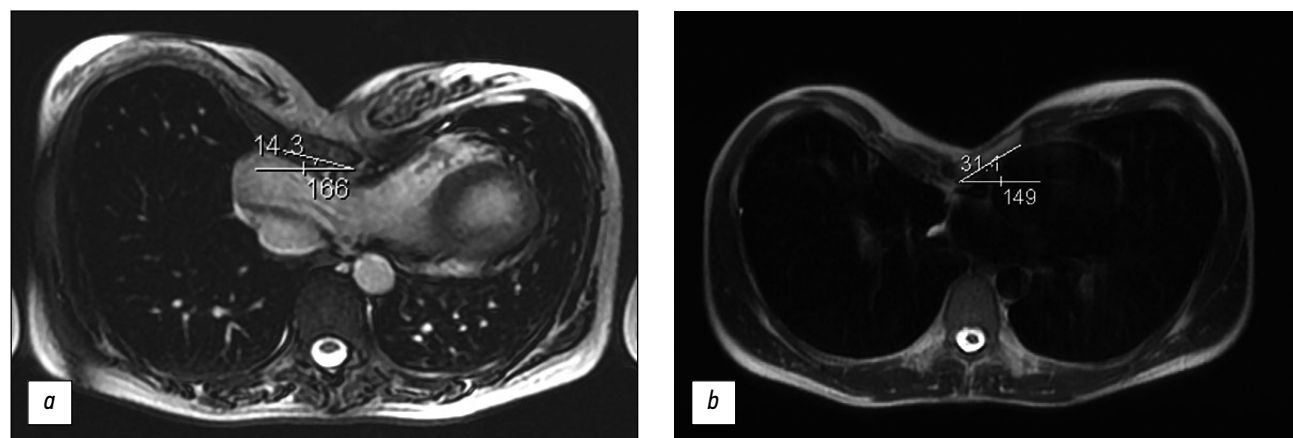


Рис. 5. Магнитно-резонансная томография органов грудной клетки на уровне максимальной деформации: *a* — угол ротации грудины составляет $14,3^\circ$; *b* — угол ротации грудины составляет $31,1^\circ$.

Таблица 3. Распределение пациентов по значениям угла ротации грудины

Угол ротации грудины <15°	
Количество пациентов	21
Среднее значение угла	10°
Угол ротации грудины >15°	
Количество пациентов	17
Среднее значение угла	26°

грудины, в нижележащее межреберье слева (рис. 6, *a*). Частота встречаемости данной ротации составила 86% всех случаев поворота грудины. В случае направления острого угла влево (14% всех случаев) корригирующая пластина проводилась из нижележащего межреберья справа, через пик деформации, в вышележащее межреберье слева (рис. 6, *b*).

ОБСУЖДЕНИЕ

Традиционно для диагностики и анализа параметров при ВДГК используют метод компьютерной томографии, который повсеместно применяется в связи с его распространённостью и большей доступностью [11]. Очевидный недостаток при рентгеновской компьютерной томографии органов грудной клетки — наличие лучевой нагрузки, на уменьшение которой направлена модификация протоколов сканирования на протяжении последних лет [12].

Метод МРТ менее распространён в диагностике ВДГК и занимает больше времени, однако имеет преимущество

в связи с отсутствием лучевой нагрузки и возможностью оценки компрессионных изменений сердца.

При прицельной оценке ВДГК в мировой литературе используется большое количество разнообразных индексов. Один из наиболее часто используемых — это индекс Галлера, предложенный для выделения пациентов, которым необходима хирургическая коррекция деформации. Пороговой величиной данного показателя для операции является значение 3,25. Однако на настоящий момент существуют работы, показывающие возможные проблемы, связанные с использованием только индекса Галлера при планировании оперативного вмешательства. Так, индекс Галлера не коррелирует с возрастом, дальнейшими параметрами оперативного лечения и возможными осложнениями после операции [13]. Кроме того, исследование, посвящённое оценке индекса Галлера среди контрольной группы пациентов и пациентов с ВДГК, показало наличие одинаковых числовых значений в обеих группах (пересечение цифрового результата) в 48% случаев [9].

Подобные результаты говорят о необходимости стандартизации данных и внедрении дополнительных индексов для предоперационной и дальнейшей послеоперационной оценки [9, 13, 14]. Подобным индексом стал индекс коррекции: превышение данного значения более чем на 28% является показанием к операции при условии корреляции с индексом Галлера [15]. Индекс коррекции возможно использовать также для сопоставления с послеоперационными результатами.

Полученные в нашем исследовании значения индексов Галлера, коррекции и угла ротации грудины

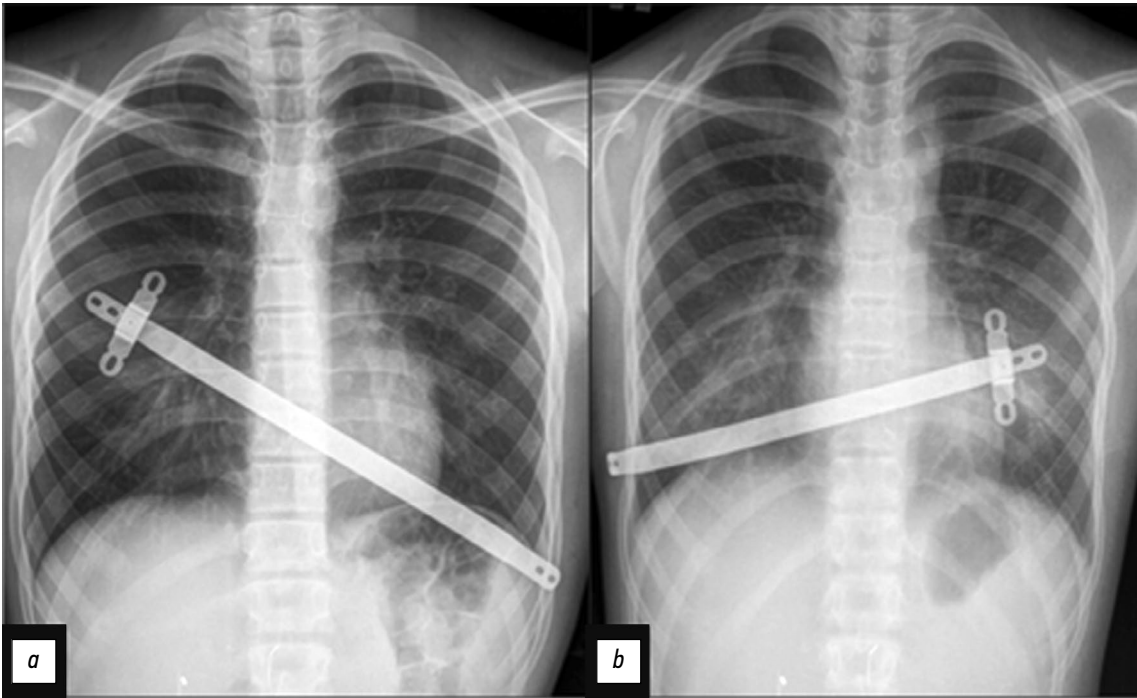


Рис. 6. Рентгенологическое исследование органов грудной клетки в прямой проекции после коррекции воронкообразной деформации грудной клетки. Положение пластин при направлении угла: *a* — вправо; *b* — влево.

соответствуют клиническому состоянию пациентов, а также данным мировой литературы, посвящённым предоперационной оценке по компьютерной томографии и МРТ деформации грудной клетки [16, 17].

В нашем исследовании среднее значение фракции выброса правого желудочка у пациентов с ВДГК было снижено и составило 46%. Подобные результаты согласуются с данными литературы о том, что при деформациях отмечено снижение фракции выброса правого желудочка [18–20]. Однако при статистическом анализе не было выявлено взаимосвязи между цифровыми значениями индекса Галлера и фракцией выброса, что может быть обусловлено неравномерным распределением пациентов по выраженности степени деформации и требует дальнейшего изучения.

Ограничения исследования

К ограничениям нашего исследования можно отнести его ретроспективный характер, относительно небольшой размер выборки пациентов и неравномерное распределение пациентов по степени нарастания изменений, а также отсутствие сопоставления с золотым стандартом — компьютерной томографией органов грудной клетки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше исследование показало, что МРТ является высокоинформативным методом диагностики при ВДГК без лучевой нагрузки с возможностью подробной предоперационной оценки патологических изменений.

Были получены данные о наличии корреляции между значениями индекса Галлера и индекса коррекции ($p < 0,05$).

В нашем исследовании для пациентов с ВДГК было характерно уменьшение фракции выброса правого желудочка. Однако числовые значения не коррелировали

с индексом Галлера, что может быть обусловлено ограничениями проведённого исследования.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: М.В. Вишнякова — концепция и дизайн исследования, редактирование текста; Г.С. Музафарова — написание текста, сбор и обработка материалов; А.С. Абраменко — сбор и обработка материалов; В.А. Кузьмичев, В.В. Гацуцын — концепция исследования, редактирование текста.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. M.V. Vishnyakova — study concept and design, text editing; G.S. Muzafarova — writing text, collecting and processing materials; A.S. Abramenko — collection and processing of materials; V.A. Kuzmichev, V.V. Gatsutsyn — research concept, text editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печетов А.А., Есаков Ю.С., Губайдуллина Г.Ф., Маков М.А., Хлань Т.Н. Выбор метода коррекции воронкообразной деформации грудной клетки у пациентов старшего возраста // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2017. Т. 7. С. 24–29. doi: 10.17116/hirurgia2017724-29
2. Fokin A.A., Steuerwald N.M., Ahrens W.A., Allen K.E. Anatomical, histologic, and genetic characteristics of congenital chest wall deformities // *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2009. Vol. 21, N 1. P. 44–57. doi: 10.1053/j.semtcvs.2009.03.001
3. Scalise P.N., Demehri F.R. The management of pectus excavatum in pediatric patients: a narrative review // *Transl Pediatr*. 2023. Vol. 12, N 2. P. 208–220. doi: 10.21037/tp-22-361
4. Trò R., Martini S., Stagnaro N., et al. A new tool for assessing Pectus Excavatum by a semi-automatic image processing pipeline calculating the classical severity indexes and a new marker: the Volumetric Correction Index // *BMC Med Imaging*. 2022. doi: 10.1186/s12880-022-00754-0
5. Андреев П.С., Скворцов А.П., Цой И.В., и др. Лечение воронкообразной деформации грудной клетки у детей и подростков // *Практическая медицина*. 2021. Т. 19, № 4. С. 138–141. doi: 10.32000/2072-1757-2021-4-138-141
6. Andreev P.S., Skvortsov A.P., Khabibyanov R.Ya., Maleev M.V. Our experience in surgical treatment of penetrated chest deformation // *Annali d'Italia*. 2023. N 41. P. 53–57. doi: 10.5281/zenodo.7774296
7. Haller J.A. Jr, Kramer S.S., Lietman S.A., et al. Use of CT scans in selection of patients for pectus excavatum surgery: a preliminary report // *J Pediatr Surg*. 1987. Vol. 22, N 10. P. 904–906. doi: 10.1016/s0022-3468(87)80585-7
8. Sidden C.R., Katz M.E., Swoveland B.C., Nuss D. Radiologic considerations in patients undergoing the Nuss procedure for correction of pectus excavatum // *Pediatric Radiology*. 2001. Vol. 31, N 6. P. 429–434. doi: 10.1007/s002470100455
9. St. Peter S.D., Juang D., Garey C.L., et al. A novel measure for pectus excavatum: the correction index // *Journal*

of Pediatric Surgery. 2011. Vol. 46, N 12. P. 2270–2273. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2011.09.009

10. Tauchi R., Suzuki Y., Tsuji T., et al. Clinical Characteristics and Thoracic factors in patients with Idiopathic and Syndromic Scoliosis Associated with Pectus Excavatum // *Spine Surg Relat Res*. 2018. Vol. 2, N 1. P. 37–41. doi: 10.22603/ssrr.2017-0027

11. Шамсиев А.М., Шамсиев Ж.А., Тураев Ю.А., Муталибов А.И., Бургutow М.Ж. Роль функциональных исследований кардиореспираторной системы при воронкообразной деформации грудной клетки // *Журнал Проблемы биологии и медицины*. 2017. Т. 1, № 93. С. 9–14.

12. Peng R., Mardakhaev E., Shmukler A., Levsky J.M., Haramati L.B. Meeting ACR Dose Guidelines for CT Lung Cancer Screening in an Overweight and Obese Population // *Acad Radiol*. 2021. Vol. 28, N 3. P. 381–386. doi: 10.1016/j.acra.2020.02.009

13. Mortellaro V.E., Iqbal C.W., Fike F.B., et al. The predictive value of Haller index in patients undergoing pectus bar repair for pectus excavatum // *J Surg Res*. 2011. Vol. 170, N 1. P. 104–106. doi: 10.1016/j.jss.2011.02.014

14. Karakılıç A., Karaçam V., Ersöz H., et al. Determination of severity of deformity with rib length to costal cartilage length ratio in thorax deformities // *Türk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg*. 2018. Vol. 26, N 2. P. 279–285. doi: 10.5606/tgkdc.dergisi.2018.15009

15. Poston P.M., Patel S.S., Rajput M., et al. The correction index: setting the standard for recommending operative repair of pectus excavatum // *Ann Thorac Surg*. 2014. Vol. 97, N 4. P. 1176–1180. doi: 10.1016/j.athoracsur.2013.12.050

16. Marcovici P.A., LoSasso B.E., Kruk P., Dwek J.R. MRI for the evaluation of pectus excavatum // *Pediatric Radiology*. 2011. Vol. 41. P. 757–758. doi: 10.1007/s00247-011-2031-5

17. Lollert A., Funk J., Tietze N., et al. Morphologic assessment of thoracic deformities for the preoperative evaluation of pectus excavatum by magnetic resonance imaging // *European Radiology*. 2015. Vol. 25. P. 785–791. doi: 10.1007/s00330-014-3450-0

18. Dore M., Triana J.P., Bret M., et al. Advantages of Cardiac Magnetic Resonance Imaging for Severe Pectus Excavatum Assessment in Children // *Eur J Pediatr Surg*. 2018. Vol. 28, N 1. P. 34–38. doi: 10.1055/s-0037-1604427

19. Saleh R.S., Finn J.P., Fenchel M., et al. Cardiovascular magnetic resonance in patients with pectus excavatum compared with normal controls // *J Cardiovasc Magn Reson*. 2010. Vol. 12, N 1. doi: 10.1186/1532-429X-12-73

20. Stagnaro N., Trocchio G., Torre M., et al. Cardiovascular MRI assessment of pectus excavatum in pediatric patients and postoperative simulation using vacuum bell // *J Pediatr Surg*. 2021. Vol. 56, N 9. P. 1600–1605. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2020.11.017

REFERENCES

1. Pechetov AA, Esakov JuS, Gubajdullina GF, Makov MA, Hlan' TN. Differetial approach for chest wall reconstruction for pectus excavatum for adult. *N.I. Pirogov Journal of Surgery*. 2017;(7):24–29. doi: 10.17116/hirurgia2017724-29

2. Fokin AA, Steuerwald NM, Ahrens WA, Allen KE. Anatomical, histologic, and genetic characteristics of congenital chest wall deformities. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2009;21(1):44–57. doi: 10.1053/j.semthvs.2009.03.001

3. Scalise PN, Demehri FR. The management of pectus excavatum in pediatric patients: a narrative review. *Transl Pediatr*. 2023;12(2):208–220. doi: 10.21037/tp-22-361

4. Trò R, Martini S, Stagnaro N, et al. A new tool for assessing Pectus Excavatum by a semi-automatic image processing pipeline calculating the classical severity indexes and a new marker: the Volumetric Correction Index. *BMC Med Imaging*. 2022. doi: 10.1186/s12880-022-00754-0

5. Andreyev PS, Skvortsov AP, Tsoy IV, et al. Treatment of funnel breast in children and adolescents. *Practical medicine*. 2021;19(4):138–141. doi: 10.32000/2072-1757-2021-4-138-141

6. Andreev PS, Skvortsov AP, Khabibyanov RYa, Maleev MV. Our experience in surgical treatment of penetrated chest deformation. *Annali d'Italia*. 2023;(41):53–57. doi: 10.5281/zenodo.7774296

7. Haller JA Jr, Kramer SS, Lietman SA, et al. Use of CT scans in selection of patients for pectus excavatum surgery: a preliminary report. *J Pediatr Surg*. 1987;22(10):904–906. doi: 10.1016/s0022-3468(87)80585-7

8. Sidden CR, Katz ME, Swoveland BC, Nuss D. Radiologic considerations in patients undergoing the Nuss procedure for correction of pectus excavatum. *Pediatric Radiology*. 2001;31(6):429–434. doi: 10.1007/s002470100455

9. St. Peter SD, Juang D, Garey CL, et al. A novel measure for pectus excavatum: the correction index. *Journal of Pediatric Surgery*. 2011;46(12):2270–2273. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2011.09.009

10. Tauchi R, Suzuki Y, Tsuji T, et al. Clinical Characteristics and Thoracic factors in patients with Idiopathic and Syndromic Scoliosis Associated with Pectus Excavatum. *Spine Surg Relat Res*. 2018;2(1):37–41. doi: 10.22603/ssrr.2017-0027

11. Shamsiev AM, Shamsiev ZhA, Turaev JuA, Mutalibov AI, Burgutov MZh. The role of functional studies of the cardiorespiratory system with funnel chest deformity. *Journal Problems of Biology and Medicine*. 2017;1(93):9–14.

12. Peng R, Mardakhaev E, Shmukler A, Levsky JM, Haramati LB. Meeting ACR Dose Guidelines for CT Lung Cancer Screening in an Overweight and Obese Population. *Acad Radiol*. 2021;28(3):381–386. doi: 10.1016/j.acra.2020.02.009

13. Mortellaro VE, Iqbal CW, Fike FB, et al. The predictive value of Haller index in patients undergoing pectus bar repair for pectus excavatum. *J Surg Res*. 2011;170(1):104–106. doi: 10.1016/j.jss.2011.02.014

14. Karakılıç A, Karaçam V, Ersöz H, et al. Determination of severity of deformity with rib length to costal cartilage length ratio in thorax deformities. *Türk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg*. 2018;26(2):279–285. doi: 10.5606/tgkdc.dergisi.2018.15009

15. Poston PM, Patel SS, Rajput M, et al. The correction index: setting the standard for recommending operative repair of pectus excavatum. *Ann Thorac Surg*. 2014;97(4):1176–1180. doi: 10.1016/j.athoracsur.2013.12.050

16. Marcovici PA, LoSasso BE, Kruk P, Dwek JR. MRI for the evaluation of pectus excavatum. *Pediatric Radiology*. 2011;41:757–758. doi: 10.1007/s00247-011-2031-5

17. Lollert A, Funk J, Tietze N, et al. Morphologic assessment of thoracic deformities for the preoperative evaluation of pectus excavatum by magnetic resonance imaging. *European Radiology*. 2015;25:785–791. doi: 10.1007/s00330-014-3450-0

18. Dore M, Triana JP, Bret M, et al. Advantages of Cardiac Magnetic Resonance Imaging for Severe Pectus Excavatum

Assessment in Children. *Eur J Pediatr Surg.* 2018;28(1):34–38. doi: 10.1055/s-0037-1604427

19. Saleh RS, Finn JP, Fenchel M, et al. Cardiovascular magnetic resonance in patients with pectus excavatum compared with normal controls. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2010;12(1). doi: 10.1186/1532-429X-12-73

20. Stagnaro N, Trocchio G, Torre M, et al. Cardiovascular MRI assessment of pectus excavatum in pediatric patients and postoperative simulation using vacuum bell. *J Pediatr Surg.* 2021;56(9):1600–1605. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2020.11.017

ОБ АВТОРАХ

* **Вишнякова Марина Валентиновна**, д-р мед. наук;
адрес: Россия, 129110, г. Москва, ул. Щепкина, 61/2-15;
ORCID: 0000-0003-3838-636X;
eLibrary SPIN: 1137-2991;
e-mail: cheridra@mail.ru

Музафарова Гулише Серверовна;
ORCID: 0000-0003-0940-3247;
eLibrary SPIN: 2950-5431;
e-mail: gms0495@mail.ru

Абраменко Александр Сергеевич;
ORCID: 0000-0002-6286-2162;
eLibrary SPIN: 9743-3001;
e-mail: a.s.abramenko@gmail.com

Кузьмичев Владимир Александрович, канд. мед. наук,
профессор;
ORCID: 0000-0001-6493-8012;
eLibrary SPIN: 8345-5298;
e-mail: vakuzmichev@gmail.ru

Гацуцын Владимир Витальевич;
ORCID: 0000-0002-2364-5325;
eLibrary SPIN: 1431-4417;
e-mail: vg86@list.ru

AUTHORS' INFO

* **Marina V. Vishnyakova**, MD, Dr. Sci. (Medicine);
address: 61/2-15 Schshepkina Str., Moscow, 129110, Russia;
ORCID: 0000-0003-3838-636X;
eLibrary SPIN: 1137-2991;
e-mail: cheridra@mail.ru

Gulishe S. Muzafarova;
ORCID: 0000-0003-0940-3247;
eLibrary SPIN: 2950-5431;
e-mail: gms0495@mail.ru

Alexander S. Abramenko;
ORCID: 0000-0002-6286-2162;
eLibrary SPIN: 9743-3001;
e-mail: a.s.abramenko@gmail.com

Vladimir A. Kuzmichev, MD, Cand. Sci. (Medicine),
Professor;
ORCID: 0000-0001-6493-8012;
eLibrary SPIN: 8345-5298;
e-mail: vakuzmichev@gmail.ru

Vladimir V. Gatsutsyn;
ORCID: 0000-0002-2364-5325;
eLibrary SPIN: 1431-4417;
e-mail: vg86@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622846>

Разработка системы показателей, определяющих потребность в проведении телемедицинских консультаций при оказании медицинской помощи различных профилей

Е.С. Самсонова^{1,2,3}, И.А. Михайлов^{1,2,3}, В.В. Омеляновский^{1,2,3,4}, М.В. Авксентьева^{1,3},
И.А. Железнякова^{1,3}, Г.Г. Лебеденко^{1,3}

¹ Центр экспертизы и контроля качества медицинской помощи, Москва, Россия;

² Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко, Москва, Россия;

³ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия;

⁴ Научно-исследовательский финансовый институт, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. На данный момент не существует разработанной единой системы оценки результатов и реального вклада телемедицинских консультаций в повышение качества оказания медицинской помощи в системе здравоохранения Российской Федерации.

Цель — разработка системы показателей для дифференцированной оценки потребности в проведении телемедицинских консультаций при оказании медицинской помощи различных профилей.

Материалы и методы. Исследование проходило в два этапа. На первом этапе были проанализированы отчёты по результатам выездных мероприятий национальных медицинских исследовательских центров в субъекты Российской Федерации и годовые публичные отчёты о их деятельности за 2020–2022 гг. на предмет выявления показателей, определяющих потребность в телемедицинских консультациях. Выявленные показатели уточняли и валидировали в открытом интервью с представителями национальных медицинских исследовательских центров. По результатам первого этапа был сформирован перечень показателей для определения потребности в телемедицинских консультациях по различным профилям медицинской помощи. На втором этапе 18 экспертов проходили опрос, в котором оценивалась значимость каждого показателя в баллах от 1 до 5 и рассчитывались весовые коэффициенты каждого показателя для их последующего использования при планировании объёмов телемедицинских консультаций.

Результаты. Выделено три группы показателей, определяющих потребность в телемедицинских консультациях для различных профилей медицинской помощи: 1) показатели, влияющие на плановые объёмы телемедицинских консультаций; 2) показатели, характеризующие результативность и эффективность проведения телемедицинских консультаций; 3) показатели, характеризующие обоснованность запросов на телемедицинские консультации. К первой группе относятся показатели, отражающие состояние здоровья пациентов и некоторые особенности оказания медицинской помощи этого профиля (смертность, инвалидность, больничная летальность, частота экстренных/неотложных консультаций и консультаций реанимационных пациентов). Вторая группа включает показатели субъективной и объективной оценки результативности и эффективности проведения телемедицинских консультаций, где субъективная оценка включает удовлетворённость результатами ТМК, а объективная — число положительных и отрицательных исходов заболевания и исходов госпитализаций, по которым были проведены телемедицинские консультации. К третьей группе отнесены показатели, характеризующие обоснованность запросов на телемедицинские консультации: полнота обследования пациента перед консультацией, корректность установленного диагноза, экспертная оценка возможности принятия самостоятельного решения на уровне региона или медицинской организации. Весовые коэффициенты значимости показателей первой группы варьировали от 0,05 до 1,61 и отличались для разных профилей.

Заключение. Предложена система показателей для дифференцированной оценки потребности в проведении телемедицинских консультаций при оказании медицинской помощи различных профилей.

Ключевые слова: потребность в телемедицинских консультациях; эффективность; национальные медицинские исследовательские центры; профиль медицинской помощи; показатель; весовой коэффициент значимости.

Как цитировать:

Самсонова Е.С., Михайлов И.А., Омеляновский В.В., Авксентьева М.В., Железнякова И.А., Лебеденко Г.Г. Разработка системы показателей, определяющих потребность в проведении телемедицинских консультаций при оказании медицинской помощи различных профилей // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 178–189. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622846>

Рукопись получена: 30.10.2023

Рукопись одобрена: 15.12.2023

Опубликована online: 29.01.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622846>

Identification of indicators used to assess needs for telemedicine consultations in various profiles of medical care

Elena S. Samsonova^{1,2,3}, Ilya A. Mikhailov^{1,2,3}, Vitaly V. Omelyanovsky^{1,2,3,4}, Maria V. Avksentieva^{1,3}, Inna A. Zheleznyakova^{1,3}, Georgy G. Lebedenko^{1,3}

¹ The Center for Healthcare Quality Assessment and Control, Moscow, Russia;

² N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russia;

³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia;

⁴ Scientific and research financial institute, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: A unified system for assessing the results and real contributions of telemedicine consultations to improving medical care quality in the healthcare system of the Russian Federation has not yet been developed.

AIM: To develop a system of indicators for differentiated assessment of the needs for telemedicine consultations in the provision of medical care.

MATERIALS AND METHODS: In the first stage, reports on the results of on-site activities of national medical research centers in regions of the Russian Federation and their annual public reports (2020–2022) were analyzed to identify indicators that determine the need for telemedicine consultations. The identified indicators were clarified and validated in an open interview with the representatives of the national medical research centers. In the second stage, the value of each indicator was determined based on the expert survey: 18 experts assessed each indicator on a scale of 1–5. Then, the weight coefficient of each indicator was calculated for their subsequent use in planning the coverage of telemedicine consultations.

RESULTS: Three groups of indicators that determined the need for telemedicine consultations for different medical care profiles were as follows: (1) indicators that affect the planned volumes of telemedicine consultations, (2) indicators that characterize the efficiency and effectiveness of telemedicine consultations, and (3) indicators that characterize the validity of requests for telemedicine consultations. Group 1 included indicators of lethality, disability, hospital mortality, frequency of emergency/urgent consultations, and frequency of consultations of patients requiring intensive care. Group 2 included indicators for assessing the effectiveness and efficiency of telemedicine consultations, both subjective (result satisfaction) and objective (number of positive and negative treatment and hospitalization outcomes for cases that received where telemedicine consultations). Group 3 included indicators that characterize the validity of requests for telemedicine consultations: thoroughness of a patient's examination before a telemedicine consultation and accuracy of the diagnosis. The weight coefficients of group 1 indicators ranged from 0.05 to 1.61 and varied for different profiles.

CONCLUSION: A system of indicators was proposed for the differentiated assessment of the needs for telemedicine consultations when providing medical care.

Keywords: need for telemedicine consultations; effectiveness; national medical research centers; profile of medical care; indicator; weight coefficient.

To cite this article:

Samsonova ES, Mikhailov IA, Omelyanovsky VV, Avksentieva MV, Zheleznyakova IA, Lebedenko GG. Identification of indicators used to assess needs for telemedicine consultations in various profiles of medical care. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):178–189. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622846>

Submitted: 30.10.2023

Accepted: 15.12.2023

Published online: 29.01.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622846>

制定一套指标体系，确定在提供各种医疗服务时对远程医疗会诊的需求

Elena S. Samsonova^{1,2,3}, Ilya A. Mikhailov^{1,2,3}, Vitaly V. Omelyanovsky^{1,2,3,4},
Maria V. Avksentieva^{1,3}, Inna A. Zheleznyakova^{1,3}, Georgy G. Lebedenko^{1,3}

¹ The Center for Healthcare Quality Assessment and Control, Moscow, Russia;

² N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russia;

³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia;

⁴ Scientific and research financial institute, Moscow, Russia

摘要

论证。目前，还没有一个完善的统一体系来评估远程医疗会诊在提高俄罗斯联邦医疗系统医疗质量方面的成果和实际贡献。

目的是制定一套指标体系，用于区别评估在提供各种医疗服务时对远程医疗会诊的需求。

材料和方法。研究分两个阶段进行。在第一阶段，分析了俄罗斯联邦各主体国家医学研究中心的实地活动成果报告。此外，还分析了关于其 2020–2022 年活动的年度公开报告，以发现确定远程医疗会诊需求的指标。在与国家医学研究中心代表的公开访谈中，对确定的指标进行了澄清和验证。根据第一阶段的结果，形成了一份指标清单，以确定在各种医疗保健情况下对远程医疗会诊的需求。在第二阶段，对 18 名专家进行了访谈，以 1 至 5 分评估每项指标的重要性。在同一阶段，还计算了每项指标的加权系数，以便随后在规划远程医疗会诊量时使用。

结果。确定了三组指标，这些指标决定不同医疗保健情况下的远程医疗会诊需求：1) 影响远程医疗会诊计划量的指标；2) 表明远程医疗会诊效率和效果的指标；3) 表明远程医疗会诊申请有效性的指标。第一组包括反映病人健康状况的指标和医疗护理的一些特征（死亡率、残疾、住院致死率、急诊/非急诊会诊频率和重症监护病人的会诊）。第二组包括对远程医疗会诊效果和效率的主观和客观评估指标。主观评估包括对远程医疗会诊结果的满意度，客观评估包括进行远程医疗会诊的疾病正负结果和住院结果的数量。第三组包括描述远程医疗会诊申请有效性的指标。这些指标包括会诊前病人检查的完整性、确定诊断的正确性、专家对在地区或医疗组织层面做出独立决定的可能性的评估。第一组指标的显著性加权系数从 0.05 到 1.61 不等，不同情况下的加权系数也不同。

结论。提出了一套指标体系，用于区别评估在提供各种医疗服务时对远程医疗会诊的需求。

关键词：远程医疗会诊需求；效率；国家医学研究中心；医疗护理概况；指标；显著性加权系数。

引用本文：

Samsonova ES, Mikhailov IA, Omelyanovsky VV, Avksentieva MV, Zheleznyakova IA, Lebedenko GG. 制定一套指标体系，确定在提供各种医疗服务时对远程医疗会诊的需求. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):178–189. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622846>

收到: 30.10.2023

接受: 15.12.2023

发布日期: 29.01.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Телемедицина — один из наиболее эффективных инновационных методов оказания медицинской помощи различных профилей [1]. Активное применение телемедицинских технологий позволяет сокращать время пребывания пациента в медицинских организациях, приводит к повышению доступности медицинской помощи (особенно в странах с низкой плотностью населения) благодаря увеличению охвата населения диагностическими исследованиями и диспансерным наблюдением, а также способствует повышению удовлетворённости пациентов качеством оказания медицинской помощи [2].

Показано также, что применение телемедицинских технологий при оказании медицинской помощи различных профилей приводит к повышению доступности и клинической эффективности проводимого лечения [3, 4]. Кроме того, продемонстрирована их важная роль в ограничении распространения COVID-19 во время пандемии [5]. Телемедицинские технологии также эффективно используются для проведения дистанционного мониторинга состояния здоровья пациентов с различными заболеваниями [6–9].

В Российской Федерации (РФ) значительная доля телемедицинских консультаций (ТМК) выполняется национальными медицинскими исследовательскими центрами (НМИЦ). Проведение ТМК для краевых, республиканских, областных, окружных медицинских организаций субъектов РФ — одна из ключевых задач федерального проекта «Развитие сети НМИЦ и внедрение инновационных медицинских технологий». Описан положительный опыт применения ТМК для целого ряда профилей медицинской помощи:

- «терапия» [10];
- «психиатрия» и «психиатрия-наркология» [11–13];
- «офтальмология» [14];
- «онкология» [15];
- «хирургия (трансплантология)» [16];
- «анестезиология и реаниматология для беременных» [17];
- «акушерство и гинекология» и «неонатология» [18].

Положительный опыт использования ТМК подтверждается представителями «якорных» медицинских организаций субъектов РФ [19]. Однако до сих пор не разработана единая система оценки результатов и реального вклада ТМК в повышение качества оказания медицинской помощи в системе здравоохранения РФ, а также не определены факторы, которые позволят повысить эффективность расходования финансовых средств, выделяемых на организацию и проведение ТМК.

ЦЕЛЬ

Целью настоящего исследования явилась разработка системы показателей для дифференцированной оценки

потребности в проведении ТМК при оказании медицинской помощи различных профилей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнялось в два этапа:

1. Формирование перечня показателей, определяющих потребность в ТМК при оказании медицинской помощи различных профилей.
2. Количественная оценка значимости каждого из показателей в виде весового коэффициента.

Перечень показателей формировался на основе изучения сложившейся практики проведения ТМК и оценки результатов, включая:

- анализ отчётов по результатам выездных мероприятий НМИЦ в субъекты РФ и годовых публичных отчётов о деятельности НМИЦ за 2020–2022 гг. на предмет выявления показателей, влияющих на потребность в ТМК;
- открытое интервью с представителями НМИЦ для уточнения и валидации выявленных показателей.

Количественная оценка значимости каждого из показателей получена в экспертном опросе. На основе результатов экспертной оценки рассчитаны весовые коэффициенты значимости показателей, определяющих потребность в ТМК по различным профилям медицинской помощи.

Для анализа отчётов НМИЦ была разработана структурированная форма, в которую вносили:

- показатели, использованные НМИЦ для определения потребности в ТМК;
- предложения (конкретные и общего характера) по повышению результативности и эффективности проведения ТМК;
- показатели, определяющие техническую возможность проведения ТМК в субъектах РФ;
- результаты оценки выполнения рекомендаций сотрудников НМИЦ, данных в ходе ТМК (при наличии).

Сходные показатели, определяющие потребность в ТМК, объединяли далее в группы для последующей валидации в ходе открытых интервью с экспертами НМИЦ.

Открытое интервью с экспертами НМИЦ для уточнения и валидации ключевых показателей, определяющих потребность в ТМК, проводилось в очном формате, суммарно было опрошено 14 экспертов из 5 НМИЦ. Экспертам предлагалось определить релевантность отобранных на этапе анализа выездных отчётов показателей, определяющих объёмы ТМК по профилю медицинской помощи, и сформулировать дополнительные условия, которые необходимо учитывать при определении потребности в ТМК по различным профилям медицинской помощи.

По результатам первого этапа был сформирован перечень показателей, которые можно использовать для определения потребности в ТМК по различным профилям медицинской помощи.

На втором этапе были получены экспертные оценки значимости показателей из сформированного перечня путём опроса экспертов по специально разработанной форме. Экспертов для участия в опросе отбирали по следующим критериям:

- опыт участия в реализации федерального проекта «Развитие сети НМИЦ и внедрение инновационных медицинских технологий» не менее 1 года;
- опыт организационно-методической работы на уровне субъектов РФ не менее 5 лет;
- наличие опыта планирования и организации проведения ТМК, и/или опыта расчёта затрат на проведение ТМК, и/или опыта анализа результативности проведения ТМК на различных уровнях;
- уровень компетентности экспертов не менее 0,5 балла (по результатам самооценки)¹ [20].

Всего экспертный опрос прошли 18 экспертов: руководители структурных подразделений, ответственные либо за организационно-методическую работу по профилю в субъектах РФ, либо за проведение консультаций/консилиумов с применением телемедицинских технологий, а также сотрудники НМИЦ и Федерального государственного бюджетного учреждения «Центр экспертизы и контроля качества медицинской помощи» Министерства здравоохранения РФ. Средний коэффициент компетентности экспертов составил 0,58.

Каждому эксперту предлагалось оценить значимость учёта каждого из показателей в баллах от 1 до 5, где 1 балл соответствует наименьшей значимости, а 5 баллов — наибольшей значимости. Значимость показателей, влияющих на плановые объёмы ТМК, предлагалось оценить для каждого профиля в отдельности. Значимость показателей, характеризующих результативность и эффективность проведения ТМК и обоснованность запросов на них, предлагалось оценить без привязки к конкретным профилям медицинской помощи, так как в открытом интервью большинство опрошенных экспертов сошлись во мнении, что значимость данных показателей не меняется в зависимости от профиля медицинской помощи.

По результатам экспертного опроса для каждого показателя рассчитывалась средняя оценка (из оценок всех экспертов) в баллах. Далее оценивалась согласованность экспертных мнений с применением коэффициента конкордации Кендалла (W) [21], который представляет собой число от 0 до 1, характеризующее степень

согласованности мнений экспертов (в виде рангов) по совокупности критериев. При значении коэффициента $W < 0,3$ согласованность мнений экспертов считалась неудовлетворительной, при значениях $0,3 < W < 0,7$ — средней, и при $W > 0,7$ — высокой. Значимость различий выявленной корреляции по коэффициенту согласованности между показателями оценивалась с использованием непараметрического критерия Фридмана. Статистическая обработка производилась в программе Statistica 10 (StatSoft, США).

В заключение были рассчитаны итоговые весовые коэффициенты показателей для всех профилей (направлений) деятельности — как произведение среднего значения от оценок всех экспертов и коэффициента конкордации Кендалла. Весовые коэффициенты для показателей, влияющих на плановые объёмы ТМК, были рассчитаны для каждого профиля в отдельности, а для показателей, характеризующих результативность и эффективность проведения ТМК и обоснованность запросов на них, — без привязки к конкретным профилям медицинской помощи.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ отчётов НМИЦ и открытых интервью с экспертами-сотрудниками НМИЦ позволил выделить три группы показателей, определяющих потребность в ТМК для различных профилей медицинской помощи.

1. Показатели, влияющие на плановые объёмы ТМК.
2. Показатели, характеризующие результативность и эффективность проведения ТМК.
3. Показатели, характеризующие обоснованность запросов на ТМК.

Показатели, влияющие на плановые объёмы телемедицинских консультаций

Плановые объёмы ТМК формируются под влиянием показателей, отражающих состояние здоровья пациентов, получающих медицинскую помощь определённого профиля, и некоторые особенности оказания медицинской помощи этого профиля. Показатели распределены нами в 5 подгрупп.

1. Показатели смертности от заболеваний, ведение которых относится к профилю.
2. Показатели инвалидности.
3. Показатели больничной летальности.
4. Показатели частоты экстренных/неотложных консультаций (среди всех ТМК).

¹ Каждому эксперту предлагалось оценить уровень своих компетенций по трём направлениям: k_1 — численное значение самооценки экспертом уровня теоретических знаний предмета исследования; k_2 — численное значение самооценки экспертом уровня практических знаний (опыта) предмета исследования; k_3 — числовое значение самооценки экспертом уровня способности прогнозировать будущее развитие или состояние предмета исследования. Каждое из трёх направлений оценивается экспертом по следующей шкале: «высокий уровень» — 1 балл; «средний уровень» — 0,5 балла; «низкий уровень» — 0 баллов. Коэффициент компетентности эксперта (k) рассчитывался путём вычисления среднего арифметического от значений k_1 , k_2 и k_3 .

5. Показатели частоты консультаций реанимационных пациентов (среди всех ТМК).

Показатели, использующиеся с наибольшей частотой в различных подгруппах, представлены в табл. 1.

Показатели, характеризующие результативность и эффективность проведения телемедицинских консультаций

Результативность и эффективность проведения ТМК оцениваются на основе субъективных и объективных показателей.

Субъективный показатель — удовлетворённость медицинских работников в субъектах РФ результатами ТМК, которую можно оценить путём опросов по структурированной форме обратной связи. Экспертами некоторых НМИЦ уже используются формы, содержащие, например, такие вопросы:

- Удовлетворены ли Вы результатами консультации?
- Соответствует ли результат консультации поставленным целям?
- Удовлетворены ли Вы заключением, полученным в результате ТМК?
- Учтены ли рекомендации, данные в ходе консультации?
- Был ли уточнён/изменён диагноз пациента в результате консультации?
- Изменилась ли схема лечения пациента в результате консультации?
- Возникли ли у Вас затруднения при создании запроса ТМК?

- Оцените соответствие ожидания запроса приоритету консультации (плановый, неотложный, экстренный).
- Оцените удовлетворённость работой группы ТМК НМИЦ.
- По результатам проведённой ТМК пациент маршрутизирован в медицинскую организацию федерального уровня для проведения лечения/дополнительных обследований («да» или «нет»).

Ответ на каждый вопрос предлагается дать в баллах, как правило, от 1 до 5, а итог в этом случае представляет собой интегральную балльную оценку.

Для объективной оценки результативности и эффективности проведённых ТМК со стороны субъекта РФ эксперты чаще всего считают необходимым изучить исходы случаев заболеваний и госпитализаций, по которым были проведены ТМК. По результатам открытого интервью руководителей отделов ТМК выведено два показателя, по которым рекомендуется проводить объективную оценку.

1. Доля (или абсолютное количество) положительных исходов по случаям проведения ТМК — выздоровление/улучшение/ремиссия + выписан/переведён в другую медицинскую организацию, федеральную медицинскую организацию или НМИЦ.
2. Доля (или абсолютное количество) отрицательных исходов по случаям проведения ТМК — ухудшение/прогрессирование/развитие осложнений/смерть (летальный исход) + выписан/переведён в другую медицинскую организацию, федеральную медицинскую организацию или НМИЦ.

Таблица 1. Показатели, влияющие на плановые объёмы телемедицинских консультаций (наиболее часто используемые национальными медицинскими исследовательскими центрами)

Подгруппа	Показатели
Показатели смертности от заболеваний, ведение которых относится к профилю	Коэффициенты смертности на 100 тыс. населения от отдельных заболеваний или групп заболеваний по профилю; Общий коэффициент смертности на 100 тыс. населения от всех заболеваний по профилю
Показатели инвалидности	Коэффициенты инвалидности на 10 тыс. населения от отдельных заболеваний или групп по профилю; Общий коэффициент смертности на 10 тыс. населения от всех заболеваний по профилю
Показатели больничной летальности	Больничная летальность при различных хирургических операциях по профилю
Показатели частоты экстренных/неотложных консультаций (среди всех ТМК)	Доля пациентов с различными острыми осложнениями от заболеваний по профилю
Показатели частоты консультаций реанимационных пациентов (среди всех ТМК)	Частота возникновения наиболее важных экстренных и неотложных состояний (закодированных по МКБ-10); Частота назначения ряда медицинских услуг (диализа, ЭКМО и т.д.)

Примечание. ТМК — телемедицинские консультации; МКБ-10 — Международная классификация болезней 10-го пересмотра; ЭКМО — экстракорпоральная мембранная оксигенация.

Показатели, характеризующие обоснованность запросов на телемедицинские консультации

Судя по выездным отчётам НМИЦ и интервью с их сотрудниками, на обоснованность назначения ТМК со стороны медицинских организаций субъектов РФ влияют:

- полнота обследования пациента перед консультацией;
- корректность установленного диагноза;
- экспертная оценка возможности самостоятельного принятия решения на уровне региона или медицинской организации.

Полнота обследования пациента перед консультацией трактуется как проведение обследования в соответствии с клиническими рекомендациями, включая выполнение всех необходимых инструментальных и лабораторных исследований.

Под корректностью установленного диагноза подразумевается, что диагноз пациента полностью соответствует клинической картине заболевания, формулировка и кодирование диагноза проведены в соответствии с действующей редакцией Международной классификации болезней и другими общепринятыми классификациями.

Возможность принятия самостоятельного решения на уровне региона или медицинской организации оценивается экспертным путём с учётом наличия кадровых и материальных ресурсов, необходимых для постановки верного диагноза, проведения соответствующих исследований, назначения необходимой терапии, а также целесообразности своевременного перевода пациента в другую медицинскую организацию без проведения ТМК с НМИЦ.

При определении потребности в ТМК большинство экспертов предложили использовать показатель «доля обоснованных запросов на проведение ТМК от общего количества запросов со стороны субъекта РФ».

Оценка значимости показателей и расчёт весовых коэффициентов

Рассчитанные по результатам экспертной оценки значения весовых коэффициентов первой группы приведены в табл. 2 (отдельно для разных профилей).

Значимость показателей первой группы отличалась для разных профилей. Так, для профиля «акушерство и гинекология» наибольшей значимостью характеризуется доля реанимационных пациентов (коэффициент 0,92), а наименьшей — показатели инвалидности (0,66). Для профиля «кардиология» наибольшую значимость имеют показатели больничной летальности (0,66), а наименьшую — показатели инвалидности (0,49). Для профиля «онкология» наиболее значимы показатели смертности (0,57), а наименее — показатели инвалидности (0,45). Для профиля «медицинская реабилитация» наибольшей значимостью характеризуются доля реанимационных пациентов (0,14) и показатели инвалидности (0,13), а наименьшей — показатели смертности (0,10), при этом значения коэффициентов всех показателей ниже, чем для других профилей (кроме колопроктологии и гериатрии).

Максимальными значениями весовых коэффициентов всех 5 подгрупп оказались у четырёх профилей: «анестезиология и реанимация (для взрослых)», «анестезиология и реанимация (для детей)», «анестезиология и реанимация (для беременных)» и «инфекционные болезни» (рис. 1). Самыми значимыми в этих профилях оказались показатели больничной летальности и доли консультаций реанимационных пациентов. Далее для реанимационных профилей следуют показатели смертности и доли экстренных ТМК, для инфекционных болезней эти две подгруппы поменялись местами. Замыкают ранжированный ряд показатели инвалидности.

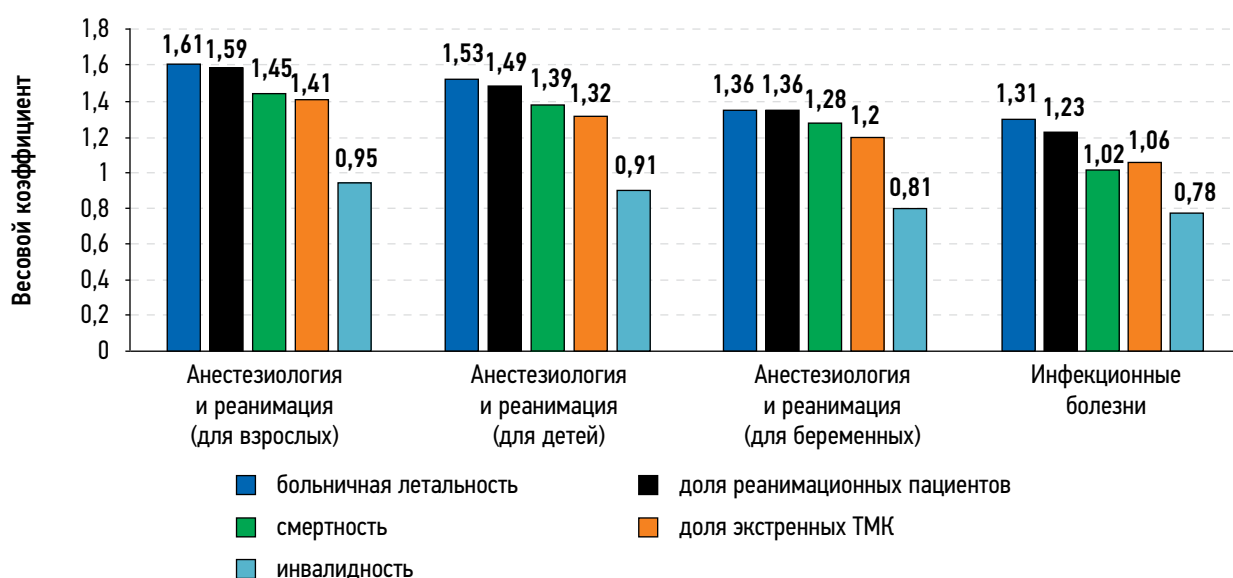


Рис. 1. Четыре профиля медицинской помощи с максимальными значениями весовых коэффициентов показателей, влияющих на плановые объёмы телемедицинских консультаций.

Таблица 2. Значения весовых коэффициентов, характеризующих значимость показателей, влияющих на плановые объёмы телемедицинских консультаций

Профиль	Коэффициент конкордации	значение <i>p</i>	Весовой коэффициент значимости показателей			
			смертность	инвалидность	больничная летальность	доля экстренных ТМК
Акушерство и гинекология	0,2171	0,0036	0,74	0,66	0,87	0,77
	0,3188	0,0001	1,28	0,81	1,36	1,20
	0,3723	0,0000	1,45	0,95	1,61	1,41
	0,3486	0,0001	1,39	0,91	1,53	1,32
Гематология	0,1151	0,0817	0,43	0,32	0,44	0,36
Гериатрия	0,0240	0,7863	0,06	0,05	0,06	0,05
Детская онкология и гематология	0,1761	0,0130	0,76	0,58	0,69	0,63
Детская травматология и ортопедия	0,1734	0,0141	0,54	0,60	0,67	0,61
Инфекционные болезни	0,3406	0,0001	1,02	0,78	1,31	1,06
Кардиология	0,1541	0,0255	0,59	0,49	0,66	0,52
Колoproктология	0,0201	0,8355	0,06	0,05	0,06	0,06
Медицинская реабилитация	0,0547	0,4146	0,10	0,13	0,11	0,11
Неврология	0,0425	0,5477	0,15	0,13	0,16	0,14
Нейрохирургия	0,2201	0,0032	0,93	0,71	0,97	0,89
Неонатология	0,1307	0,0516	0,52	0,45	0,57	0,51
Онкология	0,1342	0,0466	0,57	0,45	0,49	0,45
Оториноларингология	0,0973	0,1355	0,22	0,22	0,28	0,27
Офтальмология	0,0859	0,1859	0,20	0,24	0,24	0,20
Педиатрия	0,1611	0,0206	0,59	0,47	0,66	0,55
Психиатрия и психиатрия-наркология	0,0760	0,2424	0,18	0,19	0,19	0,21
Пульмонология	0,0509	0,4536	0,16	0,37	0,47	0,40
Санаторно-курортное лечение	0,0316	0,6852	0,05	0,05	0,06	0,05
Сердечно-сосудистая хирургия	0,2363	0,0019	0,95	0,75	1,05	0,93
Стоматология	0,0973	0,1811	0,22	0,22	0,28	0,27
Терапия	0,0582	0,3806	0,16	0,15	0,19	0,15
Травматология и ортопедия	0,1118	0,0898	0,35	0,37	0,44	0,37
Урология	0,0928	0,1539	0,26	0,23	0,29	0,27
Фтизиатрия	0,1376	0,0421	0,47	0,36	0,45	0,34
Хирургия	0,1844	0,0100	0,64	0,53	0,72	0,63
Хирургия (трансплантация органов и/или тканей)	0,0836	0,1979	0,32	0,26	0,33	0,29
Челюстно-лицевая хирургия	0,0578	0,3850	0,15	0,15	0,18	0,16
Эндокринология	0,0458	0,5099	0,15	0,13	0,17	0,14

Примечание. ТМК — телемедицинские консультации.

Таблица 3. Значения весовых коэффициентов показателей, характеризующих результативность и эффективность проведения телемедицинских консультаций

Параметр	Коэффициент конкордации	значение p	Весовой коэффициент
Значимость учёта субъективной оценки качества телемедицинских консультаций с помощью формы обратной связи от субъекта РФ			0,0679
Значимость учёта доли (или абсолютного количества) положительных исходов по случаям проведения ТМК	0,01852	0,71653	0,0658
Значимость учёта доли (или абсолютного количества) отрицательных исходов по случаям проведения ТМК			0,0638
Значимость учёта доли обоснованных запросов на проведение ТМК от общего количества запросов со стороны субъекта РФ			0,0743

Примечание. РФ — Российская Федерация; ТМК — телемедицинские консультации.

Весовые коэффициенты значимости показателей второй и третьей группы приведены в табл. 3 (без привязки к профилям). Наибольшей значимостью среди них характеризуется показатель доли обоснованных запросов на проведение ТМК от общего количества запросов со стороны субъекта РФ (0,0743). Далее следуют показатель субъективной оценки качества ТМК (0,0679), количество положительных исходов по случаям проведения ТМК (0,0658) и абсолютное количество отрицательных исходов по случаям проведения ТМК (0,0638).

ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании на основе анализа сложившейся практики телемедицинского консультирования с привлечением экспертной оценки был сформирован перечень показателей, которые в дальнейшем можно использовать для оценки потребности в ТМК по различным профилям медицинской помощи, и установлена значимость каждого показателя в виде весового коэффициента.

В отечественных исследованиях проводилась преимущественно качественная оценка эффективности ТМК. В частности, по нескольким профилям медицинской помощи активное использование ТМК в субъектах РФ привело к:

- сокращению длительности госпитализации — за счёт оптимизации фармакотерапии (профили «психиатрия» и «психиатрия-наркология» [11–13]);
- повышению результативности малоинвазивных вмешательств — за счёт корректировки техники выполнения операций (профиль «офтальмология» [14]);
- повышению обоснованности назначения противоопухолевой лекарственной терапии (профиль «онкология» [15]);
- снижению частоты послеоперационных осложнений и больничной летальности в ряде медицинских организаций (профили «анестезиология и реаниматология для беременных» [17], «акушерство и гинекология» и «неонатология» [18]).

Предложенные нами показатели, определяющие потребность в ТМК, частично согласуются с результатами

других исследований в данной области. Так, в систематическом обзоре S. Khanal и соавт. [22] по результатам анализа 46 публикаций по 36 программам развития ТМК в различных странах мира был выявлен ряд условий, при которых применение телемедицины является наиболее целесообразным и эффективным. К таким условиям авторы относят, например, случаи коррекции экстренных состояний (при наличии возможности проведения ТМК в режиме реального времени) — данный показатель также был выделен и в нашем исследовании. Однако и в обзоре S. Khanal и соавт. не была произведена количественная оценка значимости выявленных факторов.

Мы использовали открытое интервью для уточнения показателей, влияющих на потребность в ТМК. Подобный подход применялся в норвежском исследовании, где также проводили открытое интервью с ключевыми заинтересованными сторонами на национальном, региональном и местном уровне для выделения основных факторов, определяющих использование телемедицины органами здравоохранения и медицинскими организациями [23]. Однако в этом исследовании в качестве основных были выделены организационные факторы, такие как интеграция телемедицины в повседневное предоставление медицинских услуг, наличие единого органа по управлению телемедициной, обучение медицинских работников правильному использованию телемедицины.

В обоих описанных исследованиях авторами подчёркивается необходимость количественной оценки показателей и факторов, определяющих использование телемедицины и потребность в ней. Нами как раз была поставлена задача не только выявить основные показатели и факторы, определяющие потребность в ТМК в различных профилях медицинской помощи, но и разработать методику количественного определения значимости показателей через весовые коэффициенты.

Количественная оценка значимости показателей и дифференцированный учёт специфики различных профилей медицинской помощи — это ключевое отличие нашего исследования от других подобных исследований, в которых в большинстве случаев проводилась только

качественная оценка факторов, влияющих на использование ТМК. Аналогичных исследований с количественной оценкой значимости показателей и факторов нами не было найдено.

Вместе с тем проведённое нами исследование характеризуется некоторыми ограничениями. Получение первичных данных для расчёта ряда показателей может быть затруднено или сопряжено с неточностью их сбора. Весовые коэффициенты, отражающие значимость факторов, определены на небольшой выборке экспертов, и для их уточнения в будущем может потребоваться более масштабное исследование.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана система показателей, которые (с учётом их значимости) могут быть использованы для дифференцированной оценки потребности в проведении ТМК при оказании медицинской помощи различных профилей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение

исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Е.С. Самсонова — концепция и дизайн исследования, сбор материала, написание текста статьи, получение, анализ и интерпретация данных; И.А. Михайлов — концепция и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных, статистическая обработка данных, написание текста статьи, утверждение окончательной версии для публикации; В.В. Омеляновский, М.В. Авксентьева, И.А. Железнякова — концепция и дизайн исследования, редактирование статьи, утверждение окончательной версии для публикации; Г.Г. Лебеденко — концепция и дизайн исследования, редактирование текста статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. All authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. E.S. Samsonova — concept and design of the study, collection of material, writing the article, acquisition, analysis and interpretation of data; I.A. Mikhailov — concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, approval of the final version; V.V. Omelyanovsky, M.V. Avksentieva, I.A. Zheleznyakova — concept and design of the study, editing, approval of the final version; G.G. Lebedenko — concept and design of the study, editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hsu M.-H., Chu T.-B., Yen J.-C., et al. Development and implementation of a national telehealth project for long-term care: a preliminary study // *Computer methods and programs in biomedicine*. 2010. Vol. 97, N 3. P. 286–292. doi: 10.1016/j.cmpb.2009.12.008
2. Telemedicine Consultations for Patients in Long Term Care: A Review of Clinical Effectiveness, Cost-Effectiveness, and Guidelines. Ottawa : Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health, 2015.
3. Kern-Goldberger A.R., Srinivas S.K. Telemedicine in Obstetrics // *Clinics in perinatology*. 2020. Vol. 47, N 4. P. 743–757. doi: 10.1016/j.clp.2020.08.007
4. Narasimha S., Madathil K.C., Agnisarman S., et al. Designing Telemedicine Systems for Geriatric Patients: A Review of the Usability Studies // *Telemedicine journal and e-health*. 2017. Vol. 23, N 6. P. 459–472. doi: 10.1089/tmj.2016.0178
5. Wolf T.G., Schulze R.K.W., Ramos-Gomez F., et al. Effectiveness of Telemedicine and Teledentistry after the COVID-19 Pandemic // *International journal of environmental research and public health*. 2022. Vol. 19, N 21. doi: 10.3390/ijerph192113857
6. Omboni S., McManus R.J., Bosworth H.B., et al. Evidence and Recommendations on the Use of Telemedicine for the Management of Arterial Hypertension: An International Expert Position Paper // *Hypertension*. 2020. Vol. 76. P. 1368–1383. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.15873
7. Chirra M., Marsili L., Wattley L., et al. Telemedicine in Neurological Disorders: Opportunities and Challenges // *Telemedicine journal and e-health: the official journal of the American Telemedicine Association*. 2019. Vol. 25, N 7. P. 541–550. doi: 10.1089/tmj.2018.0101
8. Jackson L.E., Edgil T.A., Hill B., et al. Telemedicine in rheumatology care: A systematic review // *Seminars in arthritis and rheumatism*. 2022. Vol. 56. P. 152045. doi: 10.1016/j.semarthrit.2022.152045
9. Rubin M.N., Demaerschak B.M. The use of telemedicine in the management of acute stroke // *Neurosurgical focus*. 2014. Vol. 36, N 1. P. E4. doi: 10.3171/2013.11.FOCUS13428
10. Драпкина О.М., Шепель Р.Н., Ваховская Т.В., и др. Оценка эффективности телемедицинских консультаций, проводимых экспертами ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России // *Профилактическая медицина*. 2020. Т. 23, № 6. С. 7–14. doi: 10.17116/profmed2020230617
11. Чехонадский И.И., Скрипов В.С., Семенова Н.В., Шведова А.А., Малышко Л.В. Возможности телемедицинских консультаций пациентов, страдающих психическими расстройствами // *Профилактическая медицина*. 2021. Т. 24, № 9. С. 74–78. doi: 10.17116/profmed20212409174

12. Скрипов В.С., Чехонадский И.И., Кочорова Л.В., Шведова А.А., Семенова Н.В. Результаты взаимодействия с региональными службами в рамках телемедицинских консультаций по психиатрии и наркологии // *Обзор психиатрии и медицинской психологии имени ВМ Бехтерева*. 2019. № 3. С. 73–77. doi: 10.31363/2313-7053-2019-3-73-77
13. Скрипов В.С., Семенова Н.В., Кочорова Л.В., Шведова А.А., Чехонадский И.И. Опыт проведения консультаций с применением телемедицинских технологий в психиатрии и наркологии // *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2019. Т. 2, № 66. С. 188–190.
14. Чухраёв А.М., Ходжаев Н.С., Кечин Е.В. Анализ структуры телемедицинских консультаций по профилю «офтальмология» в Российской Федерации // *Здравоохранение Российской Федерации*. 2020. Т. 64, № 1. С. 22–28. doi: 10.18821/0044-197X-2020-64-1-22-28
15. Потиевская В.И., Кононова Е.В., Шапутко Н.В., и др. Телемедицинские консультации в кардиоонкологии // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2022. Т. 21, № 2. С. 60–71. doi: 10.15829/1728-8800-2022-3164
16. Готье С.В., Хомяков С.М. Планирование дистанционных консультаций с применением телемедицинских технологий по профилю «трансплантация» // *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2019. Т. 21, № 5. С. 9–10.
17. Пырегов А.В., Холин А.М., Юрова М.В., Хамов А.А. Анализ эффективности телемедицинских консультаций в акушерстве по профилю «Анестезиология и реаниматология» на при-

мере двухлетнего опыта Национального исследовательского центра // *Акушерство и гинекология*. 2020. № 1. С. 155–162. doi: 10.18565/aig.2020.1.155-162

18. Сухих Г.Т., Шувалова М.П., Кан Н.Е., Прялухин И.А. Роль национального медицинского исследовательского центра в обеспечении качества и безопасности медицинской деятельности службы родовспоможения в субъектах Российской Федерации // *Вестник Росздравнадзора*. 2023. № 1. С. 20–27.
19. Алексеева Н.Ю., Руденко Н.Ю., Сягаев Р.А. Анализ применения телемедицинских технологий при оказании медицинской помощи детскому населению Иркутской области // *Система менеджмента качества: опыт и перспективы*. 2022. № 11. С. 266–269.
20. Горшков М.К., Шереги Ф.Э. *Прикладная социология: методология и методы*. Москва : Альфа-М: ИНФРА-М, 2009.
21. Willerman B. The adaptation and use of Kendall's coefficient of concordance (W) to sociometric-type rankings // *Psychol Bull*. 1995. Vol. 52, N 2. P. 132–133. doi: 10.1037/h0041665
22. Khanal S., Burgon J., Leonard S., et al. Recommendations for the Improved Effectiveness and Reporting of Telemedicine Programs in Developing Countries: Results of a Systematic Literature Review // *Telemedicine journal and e-health*. 2015. Vol. 21, N 11. P. 903–915. doi: 10.1089/tmj.2014.0194
23. Alami H., Gagnon M.P., Wootton R., Fortin J.P., Zanaboni P. Exploring factors associated with the uneven utilization of telemedicine in Norway: a mixed methods study // *BMC medical informatics and decision making*. 2017. Vol. 17, N 1. P. 180. doi: 10.1186/s12911-017-0576-4

REFERENCES

1. Hsu M-H, Chu T-B, Yen J-C, et al. Development and implementation of a national telehealth project for long-term care: a preliminary study. *Computer methods and programs in biomedicine*. 2010;97(3):286–292. doi: 10.1016/j.cmpb.2009.12.008
2. *Telemedicine Consultations for Patients in Long Term Care: A Review of Clinical Effectiveness, Cost-Effectiveness, and Guidelines*. Ottawa: Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health; 2015.
3. Kern-Goldberger AR, Srinivas SK. Telemedicine in Obstetrics. *Clinics in perinatology*. 2020;47(4):743–757. doi: 10.1016/j.clp.2020.08.007
4. Narasimha S, Madathil KC, Agnisarman S, et al. Designing Telemedicine Systems for Geriatric Patients: A Review of the Usability Studies. *Telemedicine journal and e-health*. 2017;23(6):459–472. doi: 10.1089/tmj.2016.0178
5. Wolf TG, Schulze RKW, Ramos-Gomez F, et al. Effectiveness of Telemedicine and Teledentistry after the COVID-19 Pandemic. *International journal of environmental research and public health*. 2022;19(21). doi: 10.3390/ijerph192113857
6. Omboni S, McManus RJ, Bosworth HB, et al. Evidence and Recommendations on the Use of Telemedicine for the Management of Arterial Hypertension: An International Expert Position Paper. *Hypertension*. 2020;76:1368–1383. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.15873
7. Chirra M, Marsili L, Wattley L, et al. Telemedicine in Neurological Disorders: Opportunities and Challenges. *Telemedicine journal and e-health: the official journal of the American Telemedicine Association*. 2019;25(7):541–550. doi: 10.1089/tmj.2018.0101

8. Jackson LE, Edgil TA, Hill B, et al. Telemedicine in rheumatology care: A systematic review. *Seminars in arthritis and rheumatism*. 2022;56:152045. doi: 10.1016/j.semarthrit.2022.152045
9. Rubin MN, Demaerschalk BM. The use of telemedicine in the management of acute stroke. *Neurosurgical focus*. 2014;36(1):E4. doi: 10.3171/2013.11.FOCUS13428
10. Drapkina OM, Shepel RN, Vakhovskaya TV, et al. Evaluation of the effectiveness of telemedicine consultations conducted by experts of National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2020;23(6):7–14. doi: 10.17116/profmed2020230617
11. Chekhonadsky II, Skripov VS, Semenova NV, Shvedova AA, Malysheko LV. Capabilities of telemedicine consultations of patients with mental disorders. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2021;24(9):74–78. doi: 10.17116/profmed20212409174
12. Skripov VS, Chekhonadsky II, Kochorova LV, Shvedova AA, Semenova NV. Results of interaction with regional services in the framework of telemedicine consultations on psychiatry and narcology. *V.M. Bekhterev review of psychiatry and medical psychology*. 2019;(3):73–77. doi: 10.31363/2313-7053-2019-3-73-77
13. Skripov VS, Semenova NV, Kochorova LV, Shvedova AA, Chekhonadsky II. Experience in consulting with the use of telemedicine technologies in psychiatry and narcology. *Bulletin of the Russian military medical academy*. 2019;2(66):188–190.
14. Chukhrayov AM, Khodzhaev NS, Kechin EV. Analysis of the structure of telemedicine consultations in ophthalmology in

the Russian Federation. *Health care of the Russian Federation*. 2020;64(1):22–28. doi: 10.18821/0044-197X-2020-64-1-22-28

15. Potievskaya VI, Kononova EV, Shaputko NV, et al. Telehealth consultations in cardio-oncology. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2022;21(2):60–71. doi: 10.15829/1728-8800-2022-3164

16. Gautier SV, Khomyakov SM. Planning of remote consultations with the use of telemedicine technologies on the profile “transplantation”. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2019;21(S):9–10. (In Russ).

17. Pyregov AV, Kholin AM, Yurova MV, Khamo AA. Analysis of the effectiveness of telemedicine consultations in obstetrics in the profile “Anesthesiology and resuscitation” on the example of two-year experience of the National Research Center. *Akusherstvo i ginekologiya*. 2020(1):155–162. (In Russ). doi: 10.18565/aig.2020.1.155-162

18. Sukhikh GT, Shuvalova MP, Kan NE, Prialukhin IA. The role of the National Medical Research Center in the quality and safety of maternity services in the regions of the Russian Federation. *Vestnik Roszdravnadzora*. 2023;(1):20–27.

19. Alekseeva NYu, Rudenko NYu, Syagaev RA. Analysis of the use of telemedicine technologies in the provision of medical care to the pediatric population of the Irkutsk region. *Sistema menedzhmenta kachestva: opyt i perspektivy*. 2022;(11):266–269. (In Russ).

20. Gorshkov MK, Sheregi FE. *Applied Sociology: Methodology and Methods*. Moscow: Al'fa-M: INFRA-M; 2009. (In Russ).

21. Willerman B. The adaptation and use of Kendall's coefficient of concordance (W) to sociometric-type rankings. *Psychol Bull*. 1955;52(2):132–133. doi: 10.1037/h0041665

22. Khanal S, Burgon J, Leonard S, et al. Recommendations for the Improved Effectiveness and Reporting of Telemedicine Programs in Developing Countries: Results of a Systematic Literature Review. *Telemedicine journal and e-health*. 2015;21(11):903–915. doi: 10.1089/tmj.2014.0194

23. Alami H, Gagnon MP, Wootton R, Fortin JP, Zanaboni P. Exploring factors associated with the uneven utilization of telemedicine in Norway: a mixed methods study. *BMC medical informatics and decision making*. 2017;17(1):180. doi: 10.1186/s12911-017-0576-4

ОБ АВТОРАХ

* **Михайлов Илья Александрович**, канд. мед. наук;
адрес: 109028, город Москва, Хохловский пер., д. 10, стр. 5;
ORCID: 0000-0001-8020-369X;
eLibrary SPIN: 5798-0749;
e-mail: mikhailov@rosmedex.ru

Самсонова Елена Сергеевна;
ORCID: 0000-0002-6085-1320;
eLibrary SPIN: 8372-5195;
e-mail: samsonova@rosmedex.ru

Омельяновский Виталий Владимирович, д-р мед. наук,
профессор;
ORCID: 0000-0003-1581-0703;
eLibrary SPIN: 1776-4270;
e-mail: vvo@rosmedex.ru

Авксентьева Мария Владимировна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-6660-0402;
eLibrary SPIN: 3333-4237;
e-mail: avksenteva@rosmedex.ru

Железнякова Инна Александровна;
ORCID: 0000-0003-2943-6564;
eLibrary SPIN: 2413-9265;
e-mail: zheleznyakova@rosmedex.ru

Лебеденко Георгий Геннадьевич;
eLibrary SPIN: 5504-7272;
e-mail: lebedenko@rosmedex.ru

AUTHORS' INFO

* **Ilya A. Mikhailov**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 10 build. 5 Khokhlovsky lane, Moscow, 109028, Russia;
ORCID: 0000-0001-8020-369X;
eLibrary SPIN: 5798-0749;
e-mail: mikhailov@rosmedex.ru

Elena A. Samsonova;
ORCID: 0000-0002-6085-1320;
eLibrary SPIN: 8372-5195;
e-mail: samsonova@rosmedex.ru

Vitaly V. Omelyanovsky, MD, Dr. Sci. (Medicine),
Professor;
ORCID: 0000-0003-1581-0703;
eLibrary SPIN: 1776-4270;
e-mail: vvo@rosmedex.ru

Maria V. Avksentieva, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-6660-0402;
eLibrary SPIN: 3333-4237;
e-mail: avksenteva@rosmedex.ru

Inna A. Zheleznyakova;
ORCID: 0000-0003-2943-6564;
eLibrary SPIN: 2413-9265;
e-mail: zheleznyakova@rosmedex.ru

Georgy G. Lebedenko;
eLibrary SPIN: 5504-7272;
e-mail: lebedenko@rosmedex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569418>

Дифференциальная диагностика хронических нарушений сознания по данным структурной магнитно-резонансной томографии

А.Н. Сергеева¹, С.Н. Морозова¹, Д.В. Сергеев¹, Е.В. Кремнева¹, А.А. Зимин¹,
Л.А. Легостаева¹, Е.Г. Язева², М.В. Кротенкова¹, Ю.В. Рябинкина¹, Н.А. Супонева¹,
М.А. Пирадов¹

¹ Научный центр неврологии, Москва, Россия;

² ООО «Реабилитационный центр "Три сестры"», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Дифференциальная диагностика хронических нарушений сознания остаётся сложной задачей даже для опытных клиницистов. В связи с этим для оценки таких пациентов актуальной является разработка инструментальных подходов, предоставляющих дополнительную информацию о диагнозе.

Цель — оценка межэкспертной согласованности и возможностей практического применения ранее предложенной шкалы оценки изменений на основе структурной магнитно-резонансной томографии для дифференциальной диагностики хронических нарушений сознания (DOC-MRIDS) на более крупной выборке пациентов.

Материалы и методы. Исследованы 60 соматически стабильных пациентов с клинически диагностированными хроническими нарушениями сознания: 32 — в вегетативном состоянии, и 28 — в состоянии минимального сознания. Клиническая оценка проводилась с использованием пересмотренной шкалы восстановления после комы (CRS-R). Всем пациентам была проведена структурная магнитно-резонансная томография с использованием томографов 3.0 T Siemens, включающая T2- и T1-последовательности. При оценке структурных изменений по шкале DOC-MRIDS учитывались наличие и выраженность следующих признаков: диффузная атрофия коры, увеличение желудочков, расширение борозд, лейкоареоз, дегенерация ствола мозга и/или таламуса, дегенерация мозолистого тела, очаговое поражение мозолистого тела; производился подсчёт суммарного балла. Данные магнитно-резонансной томографии анализировались тремя нейрорадиологами с оценкой межэкспертной согласованности (коэффициент альфа Кrippendorфа).

Результаты. Выявлена высокая межэкспертная согласованность оценки по шкале DOC-MRIDS: $\alpha=0,806$ (95% доверительный интервал 0,757–0,849). Пациенты в вегетативном состоянии имели более высокий балл по шкале магнитно-резонансной томографии DOC-MRIDS по сравнению с пациентами в состоянии минимального сознания ($p < 0,005$). Получена отрицательная корреляция между оценкой по шкалам CRS-R и DOC-MRIDS ($\rho=-0,457$, $p < 0,0001$) между отдельными доменами клинической шкалы и признаками по магнитно-резонансной томографии.

Заключение. Оценка структурных изменений у пациентов с хроническими нарушениями сознания с помощью шкалы DOC-MRIDS помогает установить вероятный клинический тип нарушения сознания с достаточной специфичностью, чувствительностью и межэкспертной согласованностью и может использоваться в клинической практике как дополнительный к клиническим данным дифференциально-диагностический метод.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; структурная оценка; хронические нарушения сознания; вегетативное состояние; состояние минимального сознания; дифференциальная диагностика.

Как цитировать:

Сергеева А.Н., Морозова С.Н., Сергеев Д.В., Кремнева Е.В., Зимин А.А., Легостаева Л.А., Язева Е.Г., Кротенкова М.В., Рябинкина Ю.В., Супонева Н.А., Пирадов М.А. Дифференциальная диагностика хронических нарушений сознания по данным структурной магнитно-резонансной томографии // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 190–202. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569418>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569418>

Conventional structural magnetic resonance imaging in differentiating chronic disorders of consciousness

Anastasia N. Sergeeva¹, Sofya N. Morozova¹, Dmitrii V. Sergeev¹, Elena I. Kremneva¹, Alexey A. Zimin¹, Lyudmila A. Legostaeva¹, Elizaveta G. Iazeva², Marina V. Krotenkova¹, Yulia V. Ryabinkina¹, Natalia A. Suponeva¹, Michael A. Piradov¹

¹ Research Center of Neurology, Moscow, Russia;

² LLC "Three sisters" Rehabilitation center, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Differential diagnosis of chronic disorders of consciousness remains one of the most difficult problems even for experienced clinicians.

AIM: To evaluate the inter-expert consistency and capacity of the researcher-developed structural scale based on magnetic resonance imaging to differentiate chronic disorders of consciousness, named, DOC-MRIDS, on a larger sample of patients.

MATERIALS AND METHODS: Sixty patients with a clinically stable status diagnosed with consciousness disorders (vegetative state, $n=32$; minimally conscious state, $n=28$) were enrolled. The revised coma recovery scale (CRS-R) was included in the clinical assessment. All patients underwent structural magnetic resonance imaging with 3.0-T Siemens scanners including T2 and T1 sequences. Structural changes were assessed using the DOC-MRIDS scale and included the following features: diffuse cortical atrophy, ventricular enlargement, gyri dilatation, leukoaraiosis, brainstem and/or thalamic degeneration, corpus callosum degeneration, and focal corpus callosum lesions. A total score was calculated. Magnetic resonance imaging data were analyzed by three neuroradiologists, and inter-observer agreement (Krippendorff's alpha) was assessed.

RESULTS: A high inter-examiner agreement of the DOC-MRIDS scale score was found, with $\alpha=0.806$ (95% confidence interval 0.757–0.849). The vegetative state group had a higher DOC-MRIDS score than the minimally conscious state group ($p<0.005$). A negative correlation was obtained between CRS-R and DOC-MRIDS scale scores ($\rho=-0.457$, $p<0.0001$), individual clinical scale domains, and magnetic resonance imaging features.

CONCLUSION: When assessing structural changes in patients with chronic consciousness disorders, the use of the DOC-MRIDS scale helps differentiate the type of such disorders with sufficient specificity, sensitivity, and inter-rater agreement. This scale can be used in clinical practice as an additional differential diagnostic tool.

Keywords: magnetic resonance imaging; structural assessment; chronic disorders of consciousness; unresponsive wakefulness syndrome; minimally conscious state; differential diagnosis.

To cite this article:

Sergeeva AN, Morozova SN, Sergeev DV, Kremneva EI, Zimin AA, Legostaeva LA, Iazeva EG, Krotenkova MV, Ryabinkina YuV, Suponeva NA, Piradov MA. Conventional structural magnetic resonance imaging in differentiating chronic disorders of consciousness. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):190–202. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569418>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569418>

根据结构性磁共振成像数据对慢性意识障碍进行鉴别诊断

Anastasia N. Sergeeva¹, Sofya N. Morozova¹, Dmitrii V. Sergeev¹, Elena I. Kremneva¹, Alexey A. Zimin¹, Lyudmila A. Legostaeva¹, Elizaveta G. Iazeva², Marina V. Krotenkova¹, Yulia V. Ryabinkina¹, Natalia A. Suponeva¹, Michael A. Piradov¹

¹ Research Center of Neurology, Moscow, Russia;

² LLC "Three sisters" Rehabilitation center, Moscow, Russia

摘要

论证。即使对于经验丰富的临床医生来说，慢性意识障碍的鉴别诊断仍然是一项艰巨的任务。在这方面，开发评估这些患者的工具性方法具有重要意义，它能为诊断提供更多信息。

目的是评估之前提出的基于结构性磁共振成像的慢性意识障碍鉴别诊断变化评估量表（DOC-MRIDS）在更多患者样本中的专家间一致性和实际应用的可行性。

材料和方法。研究对象为 60 名经临床诊断为慢性意识障碍的躯体稳定患者：32 名处于植物人状态，28 名处于微意识状态。临床评估采用昏迷恢复量表修订版（CRS-R）进行。所有患者均使用 3.0 T Siemens 断层扫描仪进行了 T2 和 T1 序列结构性磁共振成像。在根据 DOC-MRIDS 量表评估结构变化时，考虑了以下特征的存在和严重程度：弥漫性皮质萎缩、脑室扩大、脑沟扩张、白质疏松、脑干和/或丘脑变性、胼胝体变性和胼胝体局灶性病变；并计算了总分。磁共振成像数据由三位神经放射学专家进行分析，并评估专家间的一致性（Krippendorff 的 α 系数）。

结果。DOC-MRIDS 量表评分的专家间一致性很高： $\alpha=0.806$ （95%置信区间为 0.757–0.849）。与处于微意识状态的患者相比，植物人患者的 DOC-MRIDS 磁共振成像量表得分更高（ $P<0.005$ ）。CRS-R 和 DOC-MRIDS 评分之间呈负相关（ $P=-0.457$, $P<0.0001$ ），临床量表的各个领域与磁共振成像特征之间呈负相关。

结论。使用 DOC-MRIDS 量表对慢性意识障碍患者的结构变化进行评估，有助于确定意识障碍的可能临床类型，具有足够的特异性、灵敏度和专家间的一致性，可在临床实践中作为临床数据的补充鉴别诊断方法。

关键词：磁共振成像；慢性意识障碍；植物人状态；微意识状态；鉴别诊断。

引用本文：

Sergeeva AN, Morozova SN, Sergeev DV, Kremneva EI, Zimin AA, Legostaeva LA, Iazeva EG, Krotenkova MV, Ryabinkina YuV, Suponeva NA, Piradov MA. 根据结构性磁共振成像数据对慢性意识障碍进行鉴别诊断. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):190–202. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569418>

收到: 15.09.2023

接受: 04.12.2023

发布日期: 27.06.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Формирование хронического нарушения сознания (ХНС), то есть стойкого отсутствия у пациентов восстановления осознанного поведения после комы, несмотря на восстановление бодрствования, обычно является результатом обширного повреждения ряда структур головного мозга [1]. Поскольку в этих случаях наблюдается полное или частичное сохранение вегетативной функции гипоталамуса и ствола головного мозга (в частности, регуляция кровообращения и спонтанное дыхание), пациенты с ХНС могут выживать в течение длительного периода [2]. Основными видами ХНС являются вегетативное состояние (ВС; синоним — синдром ареактивного бодрствования) и состояние минимального сознания (СМС) [2, 3]. ВС представляет собой клиническое состояние полного отсутствия осознания себя и окружающей среды, тогда как пациенты в СМС способны демонстрировать неустойчивые, но отчётливые и воспроизводимые поведенческие признаки осознания себя или реакций на окружающую среду [3, 4].

В дифференциальной диагностике ВС и СМС крайне важным является выявление признаков сознания, что во многом определяет дальнейшую тактику реабилитации [3]. Диагностические критерии, позволяющие дифференцировать ВС от СМС, включают клинические признаки осознанных ответов на внешние стимулы и возможность целенаправленной коммуникации. Золотым стандартом выявления признаков сознания является подробное стандартизированное клиническое обследование [5]. Общепринятый клинический инструмент для оценки пациентов с ХНС — пересмотренная шкала восстановления после комы (CRS-R), которая даёт оптимальные результаты для дифференциальной диагностики ВС и СМС [6]. Однако такая оценка часто бывает затруднена из-за сложности интерпретации выявляемых реакций, колебания уровня активности пациента, а также тяжёлого моторного дефицита, афазии, механических барьеров (например, трахеостомической трубки), болевого синдрома и множества других факторов. В связи с этим частота диагностических ошибок может достигать 40% [7].

Многочисленные исследования были направлены на оптимизацию дифференциальной диагностики ХНС и прогнозирования исхода с использованием методов нейровизуализации, например, церебральной позитронной эмиссионной томографии с 18F-фтордезоксиглюкозой, которая, как было показано, дополняла клинические обследования и помогала прогнозировать долгосрочное выздоровление пациентов с ХНС [8]. М. Monti и соавт. с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) продемонстрировали, что у небольшой части пациентов с ХНС активация мозга происходила при выполнении некоторых задач с ментальным воображением, что также предполагает наличие сознания [9]. По результатам другого исследования, была обнаружена корреляция между восстановлением лобно-таламических

связей по данным фМРТ покоя и когнитивной функции [10]. Кроме того, в другом исследовании [11] анализ функциональной связности сетей покоя (сеть пассивного режима работы головного мозга, лобно-теменная сеть, сеть выявления значимости, слуховая, сенсомоторная и зрительная сеть) выявил различия между группами пациентов с ВС и СМС в более чем 80% случаев.

Тем не менее подходы к функциональной визуализации не получили широкого распространения, так как требуют сложной обработки данных, а их результаты могут быть противоречивыми. Структурная визуализация является гораздо более доступным методом оценки степени поражения головного мозга при ХНС. С её помощью на большой выборке (143 пациента) было показано, что ХНС характеризуются выраженной атрофией базальных ядер и таламуса [12]. Кроме того, было предпринято несколько попыток найти закономерности повреждения головного мозга, позволяющие различить пациентов в ВС и СМС. Так, у пациентов в ВС по сравнению с СМС была выявлена более выраженная атрофия левой скорлупы и бледного шара, уменьшение объёма таламуса и более выраженные изменения вентромедиальной префронтальной коры, задней поясной извилины и предклинья. Сравнивались также подкатегории СМС в зависимости от сложности регистрируемого поведенческого ответа: СМС– (минус) и СМС+ (плюс). У последних более сохранна кора левого полушария большого мозга, включая среднюю височную, верхнюю височную и нижнюю лобную извилины (зона Брока) [13]. Получены доказательства прогностического значения данных структурной МРТ у посттравматических пациентов в ВС: повреждения мозолистого тела и дорсолатеральных отделов ствола были предикторами невосстановления. В другом исследовании применили морфометрический подход и показали различия пациентов в ВС и СМС по объёму серого вещества в парацентральной, парагиппокампальной, нижней теменной, медиальной орбитофронтальной коре, таламусах, хвостатых ядрах [14].

В то же время, сложные подходы к анализу данных визуализации могут быть недоступны в рутинной практике. Учитывая широкое использование структурной МРТ, потребность в её проведении практически у всех пациентов с ХНС и доказанную связь между изменениями на МРТ и клинической картиной у пациентов с ХНС, в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научный центр неврологии» была разработана шкала оценки структурных изменений на основе структурной МРТ для дифференциальной диагностики ХНС (Disorders of Consciousness MRI-based Distinguishing Scale, DOC-MRIDS) [15]. С её помощью проводится балльная оценка наиболее распространённых и клинически важных изменений на МРТ, выявляемых у пациентов с ХНС, с целью предоставить дополнительные данные для дифференциальной диагностики пациентов в ВС и СМС. Шкала была протестирована на 30 пациентах и продемонстрировала высокую чувствительность и специфичность (82% и 92%),

однако для более широкого её использования в клинической практике необходима дальнейшая оценка её надёжности.

ЦЕЛЬ

Оценка возможностей шкалы DOC-MRIDS для дифференциальной диагностики ХНС на более крупной выборке пациентов и определение межэкспертной согласованности результатов оценки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено экспериментальное одноцентровое поперечное выборочное неконтролируемое неослепленное исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения:

- наличие ХНС;
- возраст старше 18 лет;
- срок с момента развития нарушения сознания не менее 28 дней;
- соматически стабильное состояние пациента;
- наличие информированного согласия от официального представителя пациента.

Критерии исключения: наличие противопоказаний к МРТ.

Условия проведения

Исследование проводилось на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научный центр неврологии» (г. Москва), отделение реанимации и интенсивной терапии.

Продолжительность исследования

Набор участников исследования проводился в период с 2015 по 2021 год.

Описание медицинского вмешательства

Всем пациентам проводилась структурная МРТ на томографах MAGNETOM Verio 3T и MAGNETOM Prisma 3T (Siemens Healthineers, Германия). Протокол сканирования включал получение T2-взвешенных изображений с использованием спин-эхо последовательности (время повторения — 4000 мс; время эхо — 118 мс; толщина — 5,0 мм; шаг — 1,5 мм; продолжительность — 2 мин 02 с) и T1-взвешенных изображений с использованием трёхмерной последовательности «градиентное эхо» (время повторения — 1900 мс; время эхо — 2,5 мс; толщина — 1,0 мм; шаг — 1,0 мм; количество срезов — 176; продолжительность — 4 мин 18 с), для оценки вещества головного мозга пациента.

Для оценки структурных изменений по шкале DOC-MRIDS были выбраны наиболее часто наблюдаемые

признаки: диффузная атрофия коры, увеличение желудочков, расширение борозд, лейкоареоз, дегенерация ствола мозга и/или таламуса, дегенерация мозолистого тела, очаговое поражение мозолистого тела (рис. 1).

При диффузной кортикальной атрофии, дегенерации ствола мозга и/или таламуса и поражении мозолистого тела изменения классифицировали как наличие (1) или отсутствие (0) патологии. Учитывалось несомненное распространённое истончение коры головного мозга и симметричное двустороннее уменьшение размеров таламуса и/или ствола мозга. Одностороннее повреждение вследствие инсульта или травматического повреждения рассматривалось как отсутствие признака. Остальные параметры оценивались по следующей системе: 0 — изменения отсутствуют, 1 — умеренные изменения, 2 — выраженные изменения:

- умеренное увеличение желудочков оценивалось при индексе Эванса от 0,31 до 0,74 (1), выраженное увеличение — индекс Эванса более 0,74 (2);
- расширение субарахноидальных пространств от 0,2 см до 0,4 см расценивалось как умеренное расширение борозд (1), а более 0,4 см — как выраженное (2);
- перивентрикулярные «шапочки», диффузные перивентрикулярные изменения интенсивности сигнала в белом веществе оценивались как умеренный лейкоареоз (1); обширные, сливающиеся T2-гиперинтенсивные области с распространением на глубокое белое вещество и подкорковые образования оценивались как выраженный лейкоареоз (2);
- дегенерацию мозолистого тела оценивали по толщине его центральной части: 0,4–0,2 см — умеренная степень (1), менее 0,2 см — выраженная (2).

По итогам визуального анализа перечисленных изменений подсчитывалась сумма баллов в диапазоне от 0 (неизменённый головной мозг) до 11 (обширное поражение головного мозга) (табл. 1).

Оценка всех перечисленных МРТ-параметров проводилась по T2- и T1-взвешенным изображениям независимо друг от друга тремя экспертами-нейрорадиологами (стаж работы более 15 лет), «ослепленными» в отношении клинического диагноза пациентов.

Клиническая оценка и диагностика ВС или СМС проводилась тремя неврологами с опытом работы с пациентами с ХНС не менее трёх лет, с использованием валидированной версии пересмотренной шкалы восстановления после комы (CRS-R) на русском языке [4]. Оценка проводилась не менее 5 раз, использовался наилучший результат.

Анализ в подгруппах

В исследование было включено 60 пациентов (28 женщин, 32 мужчины) в возрасте от 18 до 67 лет (медиана возраста — 32 [24; 49] года) с клинически диагностированным ХНС (31 — ВС, 29 — СМС). Все пациенты были соматически стабильны.

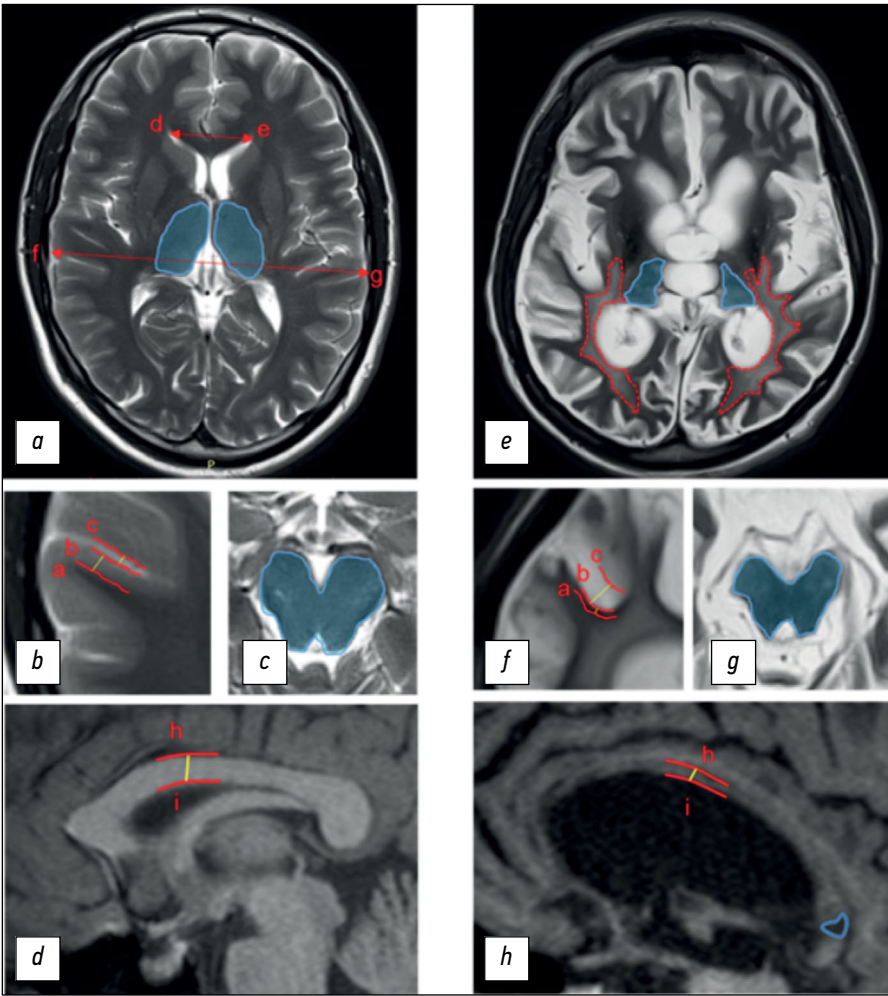


Рис. 1. Оценка по шкале DOC-MRIDS: *a–d* — на примере здорового добровольца; *e–h* — на примере пациента с ХНС. Обозначенные расстояния: *a–b* — толщина коры; *b–c* — ширина борозды; *h–i* — толщина центральной части мозолистого тела; расстояния *d–e* и *f–g* использовались для расчёта индекса Эванса. Выделенные голубым цветом области: *a* — неизменённые зрительные бугры; *c* — ствол мозга; *e* — дегенерация зрительных бугров; *g* — дегенерация ствола мозга. Линии: *e* — красные пунктирные линии обозначают распространённость лейкоареоза; *h* — сплошная голубая линия отмечает гипоинтенсивные очаги в мозолистом теле.

Этическая экспертиза

Информированное согласие было получено от всех официальных представителей пациентов. Все процедуры, выполненные в этом исследовании с участием людей, соответствовали этическим стандартам институционального

и/или национального исследовательского комитета и Хельсинской декларации 1964 г. с её более поздними поправками или сопоставимым этическим стандартам. Протокол информированного согласия одобрен Этическим комитетом Федерального государственного бюджетного

Таблица 1. Параметры магнитно-резонансной томографии для оценки по шкале DOC-MRIDS

Параметры	Шкала DOC-MRIDS			
	Отсутствие	Наличие	Умеренные изменения	Выраженные изменения
Диффузная кортикальная атрофия	0	1	–	–
Дегенерация ствола/таламуса	0	1	–	–
Очаговое поражение мозолистого тела	0	1	–	–
Увеличение желудочков	0	–	1	2
Расширение борозд	0	–	1	2
Лейкоареоз	0	–	1	2
Дегенерация мозолистого тела	0	–	1	2

Таблица 2. Демографические и клинические данные

	Вегетативное состояние	Состояние минимального сознания	Все пациенты
Количество	31	29	60
Возраст, годы	34 [24; 51]	32 [25; 45]	32 [24; 49]
Пол, м/ж	15/16	17/12	28/32
Этиология черепно-мозговой травмы/нетравматические причины	4/27*	15/14*	19/41
Продолжительность заболевания, мес	14 (2–72)	12 (2–56)	13 (2–72)
DOC-MRIDS	4**	6**	5,5
CRS-R	6*	12,0*	9

* $p < 0,05$; ** $p < 0,005$ (критерий Манна–Уитни); DOC-MRIDS — шкала оценки структурных изменений Disorders of Consciousness MRI-based Distinguishing Scale; CRS-R — пересмотренная шкала восстановления после комы.

научного учреждения «Научный центр неврологии» 19.11.2014 (идентификационный номер проекта 11/14).

Статистический анализ данных

При вычислении объёма выборки, проводимом по общепринятому алгоритму, показано, что 60 человек обеспечивают достаточный уровень репрезентативности. Характер распределения данных в выборке больных ($n=60$) не соответствовал нормальному, поэтому для анализа применялись непараметрические методы статистики: критерии Краскела–Уоллиса, Манна–Уитни (при одновременном сравнении пациентов по трём и более параметрам — с поправкой на множественное сравнение Бенджамини–Хохберга). Для изучения взаимосвязи между показателями применялся непараметрический коэффициент корреляции Спирмена. При анализе номинативных данных применялся критерий хи-квадрат с поправкой на непрерывность. Для построения информативности разработанной шкалы применялся ROC-анализ с расчётом показателя AUC (area under curve — площадь под кривой), а также показателей чувствительности и специфичности.

Межэкспертная согласованность нейрорадиологов оценивалась с помощью коэффициента альфа Кrippендорфа. Во всех случаях проверки гипотез уровень статистической значимости соответствовал $p < 0,05$.

Результаты описательной статистики приведены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (Q25–Q75). Статистический анализ проводился в программах SPSS Statistics 22 (IBM, США), Rstudio (Posit PBC, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Длительность ХНС составила от 2 до 72 месяцев после выхода из комы. ХНС развивалось вследствие черепно-мозговой травмы (ЧМТ; $n=19$) и нетравматических причин (аноксическое повреждение головного мозга, острое нарушение мозгового кровообращения по ишемическому

и геморрагическому типу, демиелинизирующее поражение головного мозга, интоксикации и др.; $n=41$).

В табл. 2 представлены демографические и клинические данные пациентов в группах ВС и СМС. Медиана общей оценки по шкале CRS-R в группах ВС и СМС составила 6 и 12,0 балла соответственно.

Основные результаты исследования

Не было выявлено значимых различий между группами ВС и СМС по возрасту (критерий Манна–Уитни, $p=0,982$), продолжительности заболевания ($p=0,807$) и полу (критерий хи-квадрат с поправкой на непрерывность, $p=0,453$). При этом частота нетравматического повреждения головного мозга в группе ВС статистически значимо преобладала по сравнению с травматическим (критерий хи-квадрат, $p=0,003$), тогда как у пациентов с СМС соотношение нетравматического и травматического факторов не различалось (критерий хи-квадрат, $p=0,268$). В целом пациенты с нетравматическим повреждением головного мозга характеризовались более тяжёлой клинической картиной по сравнению с пациентами, перенёвшими ЧМТ — медиана общей оценки по CRS-R составила 6,0 (5,0–10,0) балла и 11,0 (8,0–16,0) балла соответственно (критерий Манна–Уитни с поправкой на множественное сравнение Бенджамини–Хохберга, $p=0,001$).

Значение коэффициента альфа по методу Кrippендорфа между 3 экспертами соответствовало высокой межэкспертной согласованности при оценке изображений по шкале DOC-MRIDS: $\alpha=0,806$ (95% доверительный интервал 0,757–0,849). Для выбора оценки одного из трёх экспертов был проведён анализ с помощью критерия Краскела–Уоллиса, который не показал значимых различий между экспертами ($p=0,363$), поэтому для дальнейшего статистического анализа был выбран результат второго эксперта.

При оценке зависимости между сроками ХНС и баллом по шкале DOC-MRIDS была выявлена слабая положительная корреляция (коэффициент Спирмена — 0,338; $p=0,008$). Корреляционный анализ Спирмена показал

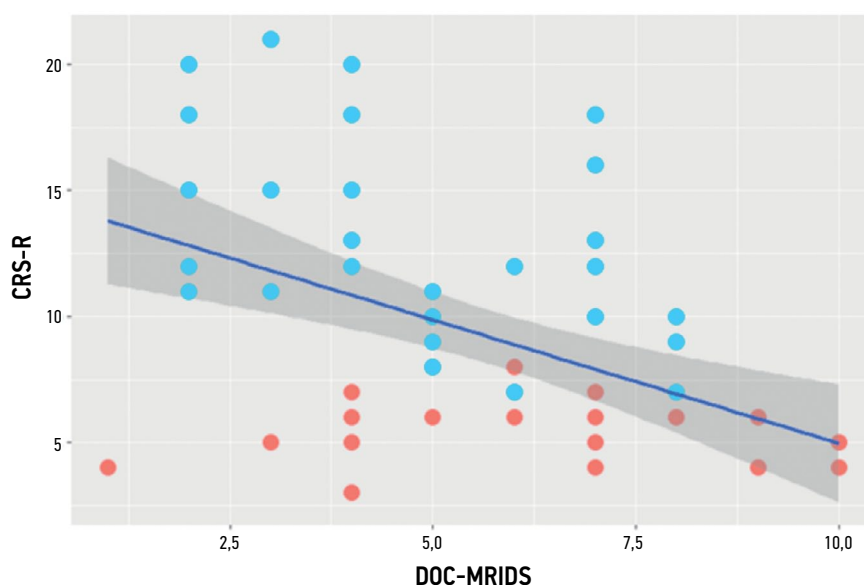


Рис. 2. Отрицательная корреляция между оценкой по шкале CRS-R и DOC-MRIDS ($\rho=-0,457$, $p < 0,0001$). Красные точки — группа вегетативного состояния; голубые точки — группа состояния минимального сознания.

статистически значимую отрицательную корреляцию между оценкой по шкалам CRS-R и DOC-MRIDS ($\rho=-0,457$, $p < 0,0001$) (рис. 2). Значимые отрицательные коэффициенты корреляции были выявлены между общим баллом по шкале CRS-R также со следующими параметрами: диффузная атрофия коры ($\rho=-0,457$); очаги в мозолистом теле ($\rho=0,349$); расширение желудочков ($\rho=-0,342$); расширение борозд ($\rho=-0,442$); лейкоареоз ($\rho=-0,502$), во всех случаях $p < 0,001$. Отдельные домены шкалы CRS-R также значимо коррелировали практически со всеми параметрами структурной шкалы (табл. 3).

Выявлены статистически значимые различия между группами по шкале DOC-MRIDS. Так, пациенты в ВС характеризовались более низкой оценкой по шкале DOC-MRIDS по сравнению с пациентами в СМС (критерий Манна–Уитни, $p < 0,005$). В результате ROC-анализа на данной выборке пациентов пороговое значение оценки по шкале DOC-MRIDS, позволяющее разделить пациентов в ВС и СМС, составило 5,5 балла, с оптимальной чувствительностью 68% и специфичностью 64% ($AUC=0,71$ $p=0,005$; рис. 3).

В зависимости от этиологического фактора выявлены статистические различия. Такие признаки, как атрофия

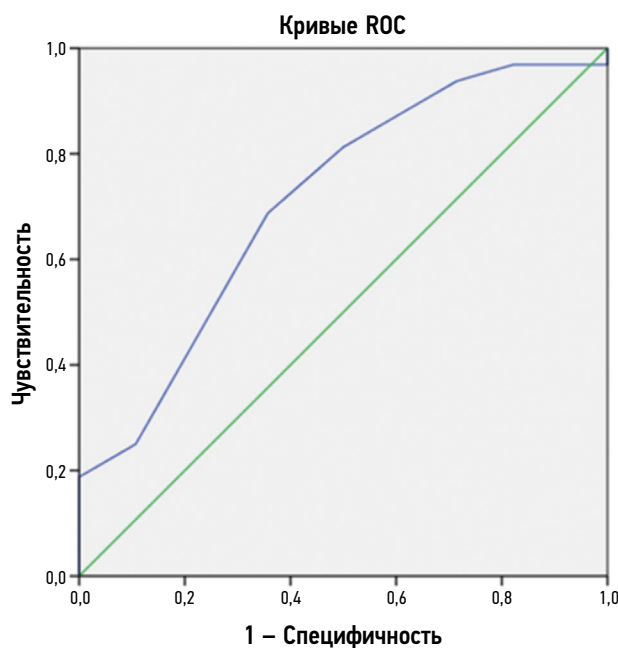


Рис. 3. ROC-кривая для дифференцировки пациентов в вегетативном состоянии и в состоянии минимального сознания. $AUC=0,71$; $p=0,005$.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между отдельными доменами шкалы CRS-R и показателями шкалы DOC-MRIDS

Статистический показатель	Слуховая функция	Зрительная функция	Двигательная функция	Оромоторная функция	Коммуникация	Бодрствование
<i>Диффузная атрофия коры</i>						
Коэффициент корреляции (р)	-0,472**	-0,382**	-0,492**	-0,152	-0,315*	-0,159
Значение р	0,000	0,005	0,000	0,278	0,022	0,255
<i>Дегенерация ствола и/или таламуса</i>						
Коэффициент корреляции (р)	-0,288*	-0,212	-0,209	-0,091	-0,140	-0,137
Значение р	0,035	0,124	0,130	0,513	0,314	0,323
<i>Очаги в мозолистом теле</i>						
Коэффициент корреляции (р)	0,289*	0,360**	0,355**	0,229	0,164	0,142
Значение р	0,032	0,007	0,008	0,093	0,232	0,301
<i>Расширение желудочков</i>						
Коэффициент корреляции (р)	-0,276*	-0,318*	-0,379**	-0,149	-0,309*	-0,256
Значение р	0,041	0,018	0,004	0,276	0,022	0,059
<i>Расширение борозд</i>						
Коэффициент корреляции (р)	-0,502**	-0,425**	-0,516**	-0,169	-0,341*	-0,201
Значение р	0,000	0,001	0,000	0,218	0,011	0,141
<i>Лейкоареоз</i>						
Коэффициент корреляции (р)	-0,405**	-0,451**	-0,480**	-0,338*	-0,396**	-0,250
Значение р	0,002	0,001	0,000	0,012	0,003	0,066
<i>Атрофия мозолистого тела</i>						
Коэффициент корреляции (р)	-0,165	-0,135	-0,049	-0,174	-0,001	-0,141
Значение р	0,229	0,324	0,722	0,204	0,996	0,305

* $p < 0,05$; ** $p < 0,005$ (корреляционный анализ Спирмена)

коры (критерий хи-квадрат, $p < 0,0001$), расширение борозд ($p=0,001$) и лейкоареоз значимо преобладали у пациентов с нетравматическим поражением ($p=0,004$), тогда как у пациентов с травматической этиологией ХНС чаще встречались очаги изменения в мозолистом теле ($p=0,002$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

МРТ-шкала для количественной оценки структурных изменений головного мозга, характерных для ХНС, была предложена в качестве вспомогательного инструмента для дифференцировки клинических вариантов ХНС. В пилотном исследовании была продемонстрирована применимость шкалы для использования в рутинной практике и получены достаточно высокие чувствительность и специфичность инструмента [15]. Настоящее исследование стало следующим этапом разработки шкалы и имело целью выяснить её надёжность при применении различными рентгенологами и у более крупной выборки пациентов.

Обсуждение основного результата

Данные, полученные в двукратно большей, сбалансированной по виду ХНС популяции пациентов, свидетельствуют о более низкой чувствительности и специфичности шкалы DOC-MRIDS по сравнению с пилотным исследованием: 82% и 92% по сравнению с 68% и 64% соответственно. Возможно, это связано со значительным разбросом сроков ХНС (длительность ХНС составила 2–72 месяца). Тем не менее эти показатели остаются достаточно высокими для того, чтобы опираться на результаты оценки по шкале в клинической практике. Высокая межэкспертная согласованность свидетельствует о возможности получать надёжный результат при оценке различными рентгенологами.

Важно отметить, что для оценки использовались данные клинически стабильных пациентов, то есть у них отсутствовали соматические состояния, способные ухудшить результаты оценки неврологической оценки сознания (такие, как инфекционные осложнения, повышение внутричерепного давления и т.д.). Не менее важно, что для получения клинических данных о состоянии сознания использовались результаты многократной оценки

с помощью наиболее надёжной шкалы CRS-R, и оценка проводилась неврологами с достаточным опытом работы с пациентами с ХНС [16, 17]. Такой подход позволяет добиться наиболее точного установления вида клинического синдрома ХНС. Кроме того, несоответствие у пациента с ХНС рентгенологических характеристик по шкале DOC-MRIDS с клинической картиной может в ряде случаев указывать на необходимость повторной неврологической оценки.

Следует отметить, что в группе ВС преобладали пациенты с нетравматическим генезом нарушения сознания. Это связано со сложностями набора пациентов с ХНС в исследование: поскольку прогноз после ЧМТ несколько лучше, эта категория пациентов чаще переходит в статус СМС, и в связи с этим для набора в группу ВС пациентов с нетравматическим поражением и формированием сбалансированной по этиологии популяции потребовалось бы более длительное время. Эта особенность исследуемой группы могла повлиять на интерпретацию результатов оценки по шкале DOC-MRIDS, так как у пациентов с нетравматическим поражением отмечались более выраженные изменения по таким параметрам шкалы, как атрофия коры, расширение борозд и лейкоареоз. Таким образом, для дальнейшего изучения вопроса о том, как этиология поражения влияет на оценку по шкале DOC-MRIDS у пациентов с ВС, требуется исследование на большей выборке пациентов, сбалансированной по количеству случаев травматического и нетравматического генеза.

Слабая положительная корреляция между сроками ХНС и оценкой по шкале DOC-MRIDS может отражать динамику морфологических изменений. Детальных долгосрочных исследований этого вопроса не проводилось.

Несомненным преимуществом DOC-MRIDS является её доступность, так как для оценки требуются данные структурной МРТ (последовательности T2 спиновое эхо и T1 градиентное эхо с указанными параметрами сканирования), которые можно получить на любых высокопольных томографах с напряжённостью магнитного поля более 1,0 Тл.

Общей проблемой для МРТ-исследований, которая может затруднять оценку по шкале DOC-MRIDS, являются артефакты от движения пациента, что особенно актуально для пациентов в СМС. Для уменьшения выраженности артефактов может потребоваться медикаментозная седация, что сопряжено с потенциальными рисками для пациента и усложнением организации исследования. Однако в случае использования структурной МРТ влияние артефактов может быть уменьшено за счёт специальных алгоритмов реконструкции изображений. Кроме того, следует отметить, что результаты анализа структурной МРТ, в том числе оценка по шкале DOC-MRIDS, значительно менее подвержены влиянию артефактов от движения по сравнению с функциональной МРТ, что ещё раз подчёркивает доступность применения этого метода в повседневной практике.

Наше исследование является одним из первых, объединяющих в единую шкалу спектр морфологических признаков повреждения головного мозга у пациентов с ХНС. Полученные данные согласуются с некоторыми предыдущими исследованиями пациентов с ранними посттравматическими повреждениями головного мозга, вызывающими расстройства сознания. Так, было показано, что травматические повреждения мозолистого тела и дорсолатеральных отделов ствола мозга являются предикторами невосстановления, и поражения данной локализации могут привести к неблагоприятному исходу [14]. Среди наших пациентов выраженная атрофия мозолистого тела, дегенерация ствола мозга и таламуса также в большинстве случаев встречалась у пациентов в ВС.

Отдельные домены и общий балл по шкале CRS-R значимо коррелировали как с общим баллом по DOC-MRIDS, так и с изменением отдельных её параметров, что свидетельствует о значимости морфологической целостности включённых в шкалу анатомических структур для оценки сознания [18]. Однако, в то время как, вероятно, отдельные области головного мозга играют способствующую роль в генерации и поддержании сознания, одной только их структурной целостности недостаточно для формирования ясного сознания. Помимо этого, для поддержания сознания необходима сохранность как таламокортикальных связей, так и взаимодействия внутри и между различными сетями мозга [19]. Этим могут объясняться полученные нами наиболее высокие корреляции между отдельными доменами шкалы CRS-R и диффузным изменением белого вещества и очаговым поражением мозолистого тела, которые являются структурной основой внутримозговых связей. Тем не менее автоматический групповой анализ данных о связности головного мозга у пациентов с ХНС, полученных с помощью структурной и функциональной МРТ, значительно затруднён в связи с высокой вариабельностью и выраженностью изменений вещества мозга. Несмотря на достигнутые успехи в изучении ХНС, результаты последних исследований [19–21] раскрывают перспективы углублённого совместного изучения структурных и функциональных особенностей головного мозга пациентов с ХНС и разработку машинных вычислительных методов обработки данных, в том числе с помощью искусственного интеллекта [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный анализ структурных изменений у пациентов с ХНС и попытка их количественной характеристики с помощью МРТ-шкалы DOC-MRIDS помогает установить вероятный клинический вариант ХНС с достаточной специфичностью, чувствительностью и межэкспертной согласованностью и может использоваться в клинической практике как метод, дополняющий результаты структурированного неврологического осмотра.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.Н. Сергеева — обзор публикаций по теме статьи, обработка данных МРТ, анализ полученных результатов, написание текста рукописи; С.Н. Морозова — обзор публикаций по теме статьи, обработка данных МРТ, написание текста рукописи; Д.В. Сергеев — методология, научная консультация, обзор публикаций по теме статьи, рецензирование и редактирование текста рукописи; Е.И. Кремнева — методология, сбор и обработка данных МРТ; А.А. Зимин — статистический анализ данных, подготовка рисунков и таблиц; Л.А. Легостаева, Е.Г. Язева — методология, сбор и обработка клинических данных; Н.А. Супонева, М.В. Кротенкова, М.А. Пирадов — научная консультация, концепция и администрирование проекта, рецензирование рукописи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

The greatest contribution is distributed as follows: A.N. Sergeeva — review of publications on the topic of the article, processing of MRI data, analysis of the obtained results, writing the manuscript text; S.N. Morozova — review of publications on the topic of the article, processing of MRI data, writing the manuscript text; D.V. Sergeev — methodology, scientific advice, review of publications on the topic of the article, reviewing and editing of the manuscript text; E.I. Kremneva — methodology, MRI data collection and processing; A.A. Zimin — statistical analysis of data, preparation of figures and tables; L.A. Legostaeva, E.G. Yazeva — methodology, collection and processing of clinical data; N.A. Suponeva, M.V. Krotenkova, M.A. Piradov — scientific consultation, project conception and administration, manuscript review.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Koch C., Massimini M., Boly M., Tononi G. Neural correlates of consciousness: progress and problems // *Nat Rev Neurosci.* 2016. Vol. 17, N 5. P. 307–321. doi: 10.1038/nrn.2016.22
2. Monti M.M., Laureys S., Owen A.M. The vegetative state // *BMJ.* 2010. Vol. 341. P. 376–385. doi: 10.1136/bmj.c3765
3. Giacino J.T., Ashwal S., Childs N., et al. The minimally conscious state: Definition and diagnostic criteria // *Neurology.* 2002. Vol. 58, N 3. P. 349–353. doi: 10.1212/wnl.58.3.349
4. Белкин А.А., Александрова Е.В., Ахутина Т.В., и др. Хронические нарушения сознания: клинические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов» // *Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова.* 2023. № 3. С. 7–42. doi: 10.21320/1818-474X-2023-3-7-42
5. Giacino J.T. The vegetative and minimally conscious states: Consensus-based criteria for establishing diagnosis and prognosis // *Neurorehabilitation.* 2004. Vol. 19, N 4. P. 293–298. doi: 10.3233/NRE-2004-19405
6. Seel R.T., Sherer M., et al. Assessment scales for disorders of consciousness: evidence-based recommendations for clinical practice and research // *Arch Phys Med Rehabil.* 2010. Vol. 91, N 12. P. 1795–1813. doi: 10.1016/j.apmr.2010.07.218
7. Schnakers C., Vanhaudenhuyse A., Giacino J., et al. Diagnostic accuracy of the vegetative and minimally conscious state: Clinical consensus versus standardized neurobehavioral assessment // *BMC Neurol.* 2009. N 9. P. 35–40. doi: 10.1186/1471-2377-9-35
8. Stender J., Gosseries O., Bruno M., et al. Diagnostic precision of PET imaging and functional MRI in disorders of consciousness: A clinical validation study // *Lancet.* 2014. Vol. 384, N 9942. P. 514–522. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60042-8
9. Monti M., Vanhaudenhuyse A., Coleman M., et al. Willful modulation of brain activity in disorders of consciousness // *N. Engl. J. Med.* 2010. Vol. 362, N 7. P. 579–589. doi: 10.1056/NEJMoa0905370
10. Crone J., Bio B., Vespa P., et al. Restoration of thalamo-cortical connectivity after brain injury: Recovery of consciousness, complex behavior, or passage of time // *J. Neurosci. Res.* 2018. Vol. 96, N 4. P. 671–687. doi: 10.1002/jnr.24115
11. Demertzi A., Antonopoulos G., Heine L., et al. Intrinsic functional connectivity differentiates minimally conscious from unresponsive patients // *Brain.* 2015. Vol. 138, N 9. P. 2619–2631. doi: 10.1093/brain/awv169
12. Lutkenhoff E., Chiang J., Tshibanda L., et al. Thalamic and extrathalamic mechanisms of consciousness after severe brain injury // *Ann. Neurol.* 2015. Vol. 78, N 1. P. 68–76. doi: 10.1002/ana.24423
13. Guldenmund P., Soddu A., Baquero K., et al. Structural brain injury in patients with disorders of consciousness: A voxel-based morphometry study // *Brain Inj.* 2016. Vol. 30, N 3. P. 343–352. doi: 10.3109/02699052.2015.1118765
14. Annen J., Frasso G., Crone J., et al. Regional brain volumetry and brain function in severely brain-injured patients // *Ann. Neurol.* 2018. Vol. 83, N 4. P. 842–853. doi: 10.1002/ana.25214
15. Morozova S.N., Kremneva E.I., Sergeev D.V., et al. Conventional Structural Magnetic Resonance Imaging in Differentiating Chronic Disorders of Consciousness // *Brain Sci.* 2018. Vol. 8, N 8. P. 144–155. doi: 10.3390/brainsci8080144

16. Легостаева Л.А., Мочалова Е.Г., Супонева Н.А., и др. Сложности клинической диагностики хронических нарушений сознания и рекомендации по клинко-инструментальной оценке пациентов после их выхода из комы // *Анестезиология и реаниматология*. 2017. Т. 62, № 6. С. 449–456. EDN: YPLNJJY doi: 10.18821/0201-7563-2017-62-6-449-456
17. Соловьева П.И., Синкин М.В., Талыпов А.Э., и др. Клиническая оценка пациентов с хроническим нарушением сознания врачами разных специальностей // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2022. Т. 16, № 2. С. 44–49. doi: 10.54101/ACEN.2022.2.5
18. Medina J.P., Nigri A., Stanziano M., et al. Resting-State fMRI in Chronic Patients with Disorders of Consciousness: The Role of

- Lower-Order Networks for Clinical Assessment // *Brain Sci.* 2022. Vol. 12, N 3. P. 355–374. doi: 10.3390/brainsci12030355
19. Rohaut B., Doyle K.W., Reynolds A.S., et al. Deep structural brain lesions associated with consciousness impairment early after hemorrhagic stroke // *Sci Rep.* 2019. Vol. 9, N 1. P. 4174. doi: 10.1038/s41598-019-41042-2
20. Alnagger N., Cardone P., Martial C., et al. The current and future contribution of neuroimaging to the understanding of disorders of consciousness // *Presse Med.* 2023. Vol. 52, N 2. P. 104163. doi: 10.1016/j.lpm.2022.104163
21. Бакулин И.С., Кремнева Е.И., Кузнецов А.В., и др. Хронические нарушения сознания / под ред. М.А. Пирадова. Москва : Горячая линия-Телеком, 2020.

REFERENCES

1. Koch C, Massimini M, Boly M, Tononi G. Neural correlates of consciousness: progress and problems. *Nat Rev Neurosci.* 2016;17(5):307–321. doi: 10.1038/nrn.2016.22
2. Monti MM, Laureys S, Owen AM. The vegetative state. *BMJ.* 2010;341:376–385. doi: 10.1136/bmj.c3765
3. Giacino JT, Ashwal S, Childs N, et al. The minimally conscious state: Definition and diagnostic criteria. *Neurology.* 2002;58(3):349–353. doi: 10.1212/wnl.58.3.349
4. Belkin AA, Aleksandrova EV, Akhutina TV, et al. Chronic Disorders of Consciousness: guidelines of the All-Russian public organization “Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists”. *Annals of critical care.* 2023;(3):7–42. doi: 10.21320/1818-474X-2023-3-7-42
5. Giacino JT. The vegetative and minimally conscious states: Consensus-based criteria for establishing diagnosis and prognosis. *Neurorehabilitation.* 2004;19(4):293–298. doi: 10.3233/NRE-2004-19405
6. Seel RT, Sherer M, et al. Assessment scales for disorders of consciousness: evidence-based recommendations for clinical practice and research. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91(12):1795–1813. doi: 10.1016/j.apmr.2010.07.218
7. Schnakers C, Vanhaudenhuyse A, Giacino J, et al. Diagnostic accuracy of the vegetative and minimally conscious state: Clinical consensus versus standardized neurobehavioral assessment. *BMC Neurol.* 2009;(9):35–40. doi: 10.1186/1471-2377-9-35
8. Stender J, Gosseries O, Bruno M, et al. Diagnostic precision of PET imaging and functional MRI in disorders of consciousness: A clinical validation study. *Lancet.* 2014;384(9942):514–522. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60042-8
9. Monti M, Vanhaudenhuyse A, Coleman M, et al. Willful modulation of brain activity in disorders of consciousness. *N. Engl. J. Med.* 2010;362(7):579–589. doi: 10.1056/NEJMoa0905370
10. Crone J, Bio B, Vespa P, et al. Restoration of thalamo-cortical connectivity after brain injury: Recovery of consciousness, complex behavior, or passage of time. *J. Neurosci. Res.* 2018;96(4):671–687. doi: 10.1002/jnr.24115
11. Demertzi A, Antonopoulos G, Heine L, et al. Intrinsic functional connectivity differentiates minimally conscious from unresponsive patients. *Brain.* 2015;138(9):2619–2631. doi: 10.1093/brain/awv169
12. Lutkenhoff E, Chiang J, Tshibanda L, et al. Thalamic and extrathalamic mechanisms of consciousness after severe brain injury. *Ann. Neurol.* 2015;78(1):68–76. doi: 10.1002/ana.24423
13. Guldenmund P, Soddu A, Baquero K, et al. Structural brain injury in patients with disorders of consciousness: A voxel-based morphometry study. *Brain Inj.* 2016;30(3):343–352. doi: 10.3109/02699052.2015.1118765
14. Annen J, Frasso G, Crone J, et al. Regional brain volumetry and brain function in severely brain-injured patients. *Ann. Neurol.* 2018;83(4):842–853. doi: 10.1002/ana.25214
15. Morozova SN, Kremneva EI, Sergeev DV, et al. Conventional Structural Magnetic Resonance Imaging in Differentiating Chronic Disorders of Consciousness. *Brain Sci.* 2018;8(8):144–155. doi: 10.3390/brainsci8080144
16. Legostaeva LA, Mochalova EG, Suponeva NA, et al. Difficulties in evaluation of chronic disorders of consciousness: approaches to clinical assessment and instrumental studies. *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology.* 2017;62(6):449–456. EDN: YPLNJJY doi: 10.18821/0201-7563-2017-62-6-449-456
17. Solovyeva PI, Sinkin MV, Talypov AE, et al. Clinical assessment of patients with chronic disorders of consciousness by different medical specialists. *Annals of Clinical and Experimental Neurology.* 2022;16(2):44–49. doi: 10.54101/ACEN.2022.2.5
18. Medina JP, Nigri A, Stanziano M, et al. Resting-State fMRI in Chronic Patients with Disorders of Consciousness: The Role of Lower-Order Networks for Clinical Assessment. *Brain Sci.* 2022;12(3):355–374. doi: 10.3390/brainsci12030355
19. Rohaut B, Doyle KW, Reynolds AS, et al. Deep structural brain lesions associated with consciousness impairment early after hemorrhagic stroke. *Sci Rep.* 2019;9(1):4174. doi: 10.1038/s41598-019-41042-2
20. Alnagger N, Cardone P, Martial C, et al. The current and future contribution of neuroimaging to the understanding of disorders of consciousness. *Presse Med.* 2023;52(2):104163. doi: 10.1016/j.lpm.2022.104163
21. Bakulin IS, Kremneva EI, Kuznetsov AV, et al. *Chronic disorders of consciousness*. Piradov MA, editor. Moscow: Hot line — Telecom; 2020.

ОБ АВТОРАХ

*** Сергеева Анастасия Николаевна**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, г. Москва, 125637, Волоколамское шоссе, 80;
ORCID: 0000-0002-2481-4565;
eLibrary SPIN: 6761-8250;
e-mail: sergeeva@neurology.ru

Морозова Софья Николаевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-9093-344X;
eLibrary SPIN: 2434-7827;
e-mail: kulikovasn@gmail.com

Сергеев Дмитрий Владимирович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-9130-1292;
eLibrary SPIN: 8282-3920;
e-mail: dmsergeev@yandex.ru

Кремнева Елена Игоревна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-9396-6063;
eLibrary SPIN: 8799-8092;
e-mail: moomin10j@mail.ru

Зимин Алексей Алексеевич;
ORCID: 0000-0002-9226-2870;
eLibrary SPIN: 9525-1805;
e-mail: Leha-zimin@inbox.ru

Легостаева Людмила Александровна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-7778-6687;
eLibrary SPIN: 9183-6248;
e-mail: milalegostaeva@gmail.com

Язева Елизавета Григорьевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-0382-7719;
eLibrary SPIN: 4895-3900;
e-mail: lizaveta.mochalova@gmail.com

Рябинкина Юлия Валерьевна, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0001-8576-9983;
eLibrary SPIN: 5044-2701;
e-mail: ryabinkina11@mail.ru

Кротенкова Марина Викторовна, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0003-3820-4554;
eLibrary SPIN: 9663-8828;
e-mail: krotenkova_mrt@mail.ru

Супонева Наталья Александровна, д-р мед. наук, член-корреспондент РАН, профессор;
ORCID: 0000-0003-3956-6362;
eLibrary SPIN: 3223-6006;
e-mail: nasu2709@mail.ru

Пирадов Михаил Александрович, д-р мед. наук, академик РАН, профессор;
ORCID: 0000-0002-6338-0392;
eLibrary SPIN: 2860-1689;
e-mail: mpi711@gmail.com

AUTHORS' INFO

*** Anastasia N. Sergeeva**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 80 Volokolamskoe highway, 125635, Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-2481-4565;
eLibrary SPIN: 6761-8250;
e-mail: sergeeva@neurology.ru

Sofya N. Morozova, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-9093-344X;
eLibrary SPIN: 2434-7827;
e-mail: kulikovasn@gmail.com

Dmitrii V. Sergeev, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-9130-1292;
eLibrary SPIN: 8282-3920;
e-mail: dmsergeev@yandex.ru

Elena I. Kremneva, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0001-9396-6063;
eLibrary SPIN: 8799-8092;
e-mail: moomin10j@mail.ru

Alexey A. Zimin;
ORCID: 0000-0002-9226-2870;
eLibrary SPIN: 9525-1805;
e-mail: Leha-zimin@inbox.ru

Lyudmila A. Legostaeva, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0001-7778-6687;
eLibrary SPIN: 9183-6248;
e-mail: milalegostaeva@gmail.com

Elizaveta G. Iazeva, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-0382-7719;
eLibrary SPIN: 4895-3900;
e-mail: lizaveta.mochalova@gmail.com

Yulia V. Ryabinkina, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0001-8576-9983;
eLibrary SPIN: 5044-2701;
e-mail: ryabinkina11@mail.ru

Marina V. Krotenkova, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-3820-4554;
eLibrary SPIN: 9663-8828;
e-mail: krotenkova_mrt@mail.ru

Natalya A. Suponeva, MD, Dr. Sci. (Medicine), corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Professor;
ORCID: 0000-0003-3956-6362;
eLibrary SPIN: 3223-6006;
e-mail: nasu2709@mail.ru

Michael A. Piradov, MD, Dr. Sci. (Medicine), academician member of the Russian Academy of Sciences, Professor;
ORCID: 0000-0002-6338-0392;
eLibrary SPIN: 2860-1689;
e-mail: mpi711@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568897>

Телемедицинский мониторинг пациентов с хронической сердечной недостаточностью: проспективное рандомизированное исследование

А.В. Исаева¹, А.Е. Демкина², А.В. Владзимирский², Б.В. Зингерман³,
А.Н. Коробейникова⁴, А.Н. Быков⁵, О.Г. Смоленская¹

¹ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия;

² Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия;

³ ООО «АйПат», Москва, Россия;

⁴ Центр кардиологии и неврологии, Киров, Россия;

⁵ Свердловская областная клиническая больница №1, Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Хроническая сердечная недостаточность — одна из ключевых проблем отечественной системы здравоохранения. Для повышения качества оказания медицинской помощи и снижения частоты госпитализаций и смертности могут использоваться возможности электронного здравоохранения.

Цель — изучить влияние телемедицинского мониторинга на смертность, количество повторных госпитализаций и клинико-функциональный статус пациентов с хронической сердечной недостаточностью.

Материалы и методы. Проспективное, контролируемое, рандомизированное исследование проходило на базе Центральной городской больницы № 20 (г. Екатеринбург) с декабря 2020 года по декабрь 2022 года. Пациенты с подтвержденным диагнозом хронической сердечной недостаточности были рандомизированы методом конвертов на 3 группы: 1-я группа — группа телефонного диспансерного наблюдения ($n=58$), 2-я группа — группа диспансерного наблюдения на российской медицинской платформе Medsenger ($n=52$), 3-я группа — группа стандартного очного наблюдения у кардиолога поликлиники ($n=103$). Всем пациентам проводился осмотр, исследование концентрации NT-proBNP и эхокардиография при включении в исследование и во временных промежутках 3, 6 и 12 месяцев. В референсных точках оценивалось наступление первичной и вторичной конечных точек. Статистическая обработка была выполнена с использованием программ Stata 14 и jamovi.

Результаты. В исследовании приняли участие 213 человек, все 3 группы были сопоставимы между собой по основным демографическим и клиническим характеристикам. Было выявлено преимущество дистанционного (группы 1 и 2) перед очным (группа 3) наблюдением по снижению сердечно-сосудистой смертности через 3 месяца (отношение шансов 2,73, 95% доверительный интервал 1,1–7,39; $p=0,042$) и через 12 месяцев (отношение шансов 2,1, 95% доверительный интервал 1,1–3,7; $p=0,027$), а также показателю комбинированной первичной конечной точки через 12 месяцев (отношение шансов 2,1, 95% доверительный интервал 1,1–5,6; $p=0,015$).

Использование платформы Medsenger обладает преимуществом перед очным наблюдением в развитии событий комбинированной вторичной точки через 3 месяца (отношение шансов 1,39, 95% доверительный интервал 0,19–0,81; $p=0,011$); перед проведением структурированного телефонного опроса медицинской сестрой через 12 месяцев наблюдения по показателю сердечно-сосудистой смертности (отношение шансов 0,177, 95% доверительный интервал 0,06–0,487; $p=0,021$) и по развитию событий комбинированной вторичной конечной точки (отношение шансов 0,427, 95% доверительный интервал 0,189–0,964; $p=0,041$).

При использовании платформы Medsenger фракция выброса левого желудочка выросла с 47% исходно до 55% через 12 месяцев ($p=0,004$). Концентрация NT-proBNP снизилась с 817 пг/мл до 582 пг/мл ($p<0,001$) через 3 месяца, и до 233 пг/мл — через 12 месяцев ($p<0,001$).

Заключение. Разработка протоколов дистанционного наблюдения может стать хорошей альтернативой традиционному очному наблюдению пациентов с хронической сердечной недостаточностью, приводя к улучшению клинических и функциональных показателей здоровья.

Ключевые слова: хроническая сердечная недостаточность; дистанционное диспансерное наблюдение; телемедицинский мониторинг.

Как цитировать:

Исаева А.В., Демкина А.Е., Владзимирский А.В., Зингерман Б.В., Коробейникова А.Н., Быков А.Н., Смоленская О.Г. Телемедицинский мониторинг пациентов с хронической сердечной недостаточностью: проспективное рандомизированное исследование // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 203–218. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568897>

Рукопись получена: 28.08.2023

Рукопись одобрена: 12.12.2023

Опубликована online: 28.06.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568897>

Remote monitoring of patients with chronic heart failure: A prospective randomized study

Anna V. Isaeva¹, Alexandra E. Demkina², Anton V. Vladzimirsky², Boris V. Zingerman³, Anna N. Korobeynikova⁴, Alexandr N. Bykov⁵, Olga G. Smolenskaya¹

¹ Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia;

² Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia;

³ iPat LLC, Moscow, Russia;

⁴ Center of Cardiology and Neurology, Kirov, Russia;

⁵ Sverdlovsk Regional Hospital 1, Ekaterinburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Chronic heart failure is one of the key problems of the Russian domestic healthcare system. E-health can be used to improve medical care quality and reduce the of hospitalizations and mortality.

AIM: To examine the effect of telemedicine monitoring on mortality, frequency of hospitalizations, and clinical and functional states of patients with chronic heart failure.

MATERIALS AND METHODS: A prospective, controlled, randomized study was conducted in the Central City Hospital No. 20 in Ekaterinburg (Russia), covering the period from December 2020 to December 2022. Patients with a confirmed diagnosis of chronic heart failure were randomized using the envelope method into three groups: group 1, a telephone control group ($n=58$); group 2, a remote control group using a Russian medical platform Medsenger ($n=52$); and group 3, the standard control group ($n=103$). All patients were examined, including NT-proBNP measurement and echocardiography on the first day of the study and at 3, 6, and 12 months. The occurrence of primary and secondary outcomes was evaluated at these reference points. Stata14 and jamovi software were used for statistical processing.

RESULTS: The study involved 213 participants, and all three groups were comparable in terms of basic demographic and clinical characteristics. The advantage of remote control (groups 1 and 2) over face-to-face observation in reducing cardiovascular mortality was observed after 3 (odds ratio 2.73, 95% confidence interval 1.1–7.39; $p=0.042$) and 12 (odds ratio 2.1, 95% confidence interval 1.1–3.7; $p=0.027$) months and that in reducing the occurrence of the combined primary endpoint (odds ratio 2.1, 95% confidence interval 1.1–5.6; $p=0.015$) after 12 months. The use of the Medsenger platform also demonstrated an advantage over face-to-face observation in the development of the combined secondary endpoint (odds ratio 1.39, 95% confidence interval 0.19–0.81; $p=0.011$) after 3 months and over telephone control by a nurse after 12 months in reducing cardiovascular mortality (odds ratio 0.177, 95% confidence interval 0.06–0.487; $p=0.021$) and development of the combined secondary endpoint (odds ratio 0.427, 95% confidence interval 0.189–0.964; $p=0.041$). When using the Medsenger platform, the ejection fraction increased from 47% initially to 55% after 12 months ($p=0.004$). The NT-proBNP level decreased from 817 to 582 pg/mL ($p<0.001$) after 3 months and then to 233 pg/mL after 12 months ($p<0.001$).

CONCLUSION: Remote monitoring protocols can be a good alternative to the traditional face-to-face monitoring of patients with chronic heart failure, which may improve clinical and functional health indicators.

Keywords: chronic heart failure; remote control; telemedicine monitoring.

To cite this article:

Isaeva AV, Demkina AE, Vladzimirsky AV, Zingerman BV, Korobeynikova AN, Bykov AN, Smolenskaya OG. Remote monitoring of patients with chronic heart failure: A prospective randomized study. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):203–218. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568897>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568897>

对慢性心力衰竭患者进行远程医疗监控： 一项前瞻性随机研究

Anna V. Isaeva¹, Alexandra E. Demkina², Anton V. Vladzimirskyy², Boris V. Zingerman³,
Anna N. Korobeynikova⁴, Alexandr N. Bykov⁵, Olga G. Smolenskaya¹

¹ Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia;

² Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia;

³ iPat LLC, Moscow, Russia;

⁴ Center of Cardiology and Neurology, Kirov, Russia;

⁵ Sverdlovsk Regional Hospital 1, Ekaterinburg, Russia

摘要

论证。慢性心力衰竭是国家医疗系统的主要问题之一。电子医疗可用于提高医疗质量，降低住院率和死亡率。

目的是研究远程医疗监控对慢性心力衰竭患者的死亡率、再次住院次数以及临床和功能状态的影响。

材料和方法。这项前瞻性、对照、随机研究于 2020 年 12 月至 2022 年 12 月在 Central City Hospital №20 (叶卡捷琳堡) 进行。确诊为慢性心力衰竭的患者通过信封法随机分为三组：第一组——电话防治所随访组 (n=58)，第二组——俄罗斯医疗平台 Medsenger 上的防治所随访组 (n=52)，第三组——综合医院心脏病专家面对面标准随访组 (n=103)。所有患者在加入研究时以及 3、6 和 12 个月时都接受了 NT-proBNP 浓度和超声心动图检查。主要和次要终点的发生情况在参考点进行评估。统计处理使用 Stata 14 和 jamovi 程序进行。

结果。共有 213 人参加了这项研究。就基本人口统计和临床特征而言，所有三组均具有可比性。远程随访 (第 1 组和第 2 组) 比面对面随访 (第 3 组) 更能降低 3 个月和 12 个月的心血管死亡率 (为 3 个月: 机会比率 2.73, 95% 置信区间 1.1-7.39; P=0.042), (为 12 个月: 机会比率 2.1, 95% 置信区间 1.1-3.7; P=0.027)。在 12 个月的综合主要终点也观察到了获益 (机会比率 2.1, 95% 置信区间 1.1-5.6; P=0.015)。

与面对面随访相比, 使用 Medsenger 平台在 3 个月后发现合并次要终点事件方面 (机会比率 1.39, 95% 置信区间 0.19-0.81; P=0.011), 在随访 12 个月时, 由护士进行结构化电话访谈前, 心血管死亡率方面 (机会比率 0.177, 95% 置信区间 0.06-0.487; P=0.021) 和合并次要终点事件的发生率方面 (机会比率 0.427, 95% 置信区间 0.189-0.964; P=0.041) 更具优势。

使用 Medsenger 平台后, 左心室射血分数从基线的 47% 增加到 12 个月后的 55% (P=0.004)。3 个月, NT-proBNP 浓度从 817 pg/ml 降至 582 pg/ml (P<0.001), 12 个月降至 233 pg/ml (P<0.001)。

结论。制定远程监控协议可能是替代传统的面对面随访慢性心衰患者的一个好办法, 从而改善临床和功能性健康结果。

关键词: 慢性心力衰竭; 远程防治所监控; 远程医疗监控。

引用本文:

Isaeva AV, Demkina AE, Vladzimirskyy AV, Zingerman BV, Korobeynikova AN, Bykov AN, Smolenskaya OG. 对慢性心力衰竭患者进行远程医疗监控: 一项前瞻性随机研. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):203-218. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568897>

收到: 28.08.2023

接受: 12.12.2023

发布日期: 28.06.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) — одна из ключевых проблем отечественной системы здравоохранения. Высокий процент летальности и повторных госпитализаций, региональная асимметрия демографических показателей, низкая приверженность пациентов к лечению, кадровый дефицит и иные проблемы амбулаторно-поликлинического звена обуславливают необходимость улучшения менеджмента данной категории больных [1, 2]. Решение перечисленных задач требует комплексного подхода, который может обеспечить внедрение электронного здравоохранения (eHealth) на всех этапах оказания медицинской помощи пациентам с ХСН.

В эпоху современных технологий всё больше задач в здравоохранении решаются с помощью систем, позволяющих автоматизировать большую часть работы медицинского персонала, тем самым повышая уровень доступности и качества медицинской помощи при более низких затратах. Пациенты получают возможность посещать онлайн-школы по своему заболеванию, самостоятельно проводить мониторинг витальных функций, поддерживать связь с лечащим врачом и получать медицинскую помощь дистанционно [3, 4].

Исследования по оценке клинической эффективности телемедицинского мониторинга изучают вопросы влияния технологии на общую и сердечно-сосудистую смертность, количество повторных госпитализаций по поводу декомпенсации ХСН и качество диспансерного наблюдения (ДН) [5]. Сравнение рутинного ДН с наблюдением посредством телефонных контактов или с неинвазивным телемониторингом позволяет получить ценную информацию о преимуществах или недостатках данных методов [6, 7]. Однако имеющиеся на настоящий момент результаты весьма противоречивы. Количество включённых пациентов, дизайн исследования и период наблюдения значительно различаются, из-за чего полученные выводы бывают прямо противоположными. Кроме того, в российской популяции недостаточно исследований с качественным дизайном по влиянию телемедицинского мониторинга при ХСН, что обуславливает актуальность данного исследования.

ЦЕЛЬ

Цель исследования — изучить влияние телемедицинского мониторинга на смертность, количество повторных госпитализаций и клиничко-функциональный статус пациентов с ХСН.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Интервенционное, одноцентровое, проспективное, контролируемое, рандомизированное, выборочное неослепленное исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения в исследование:

- наличие подписанного информированного согласия на ДН в амбулаторном центре ХСН Государственного автономного учреждения здравоохранения Свердловской области «Центральная городская больница № 20 город Екатеринбург»;
- верифицированный диагноз ХСН II–III стадии по Василенко–Стражеско, функциональный класс (ФК) по The New York Heart Association (NYHA) — I–IV.

Критерии невключения:

- возраст младше 18 лет;
- беременность, лактация;
- одышка неясной этиологии;
- отёчный синдром, имеющий некардиальный генез;
- отказ пациента от ДН;
- терминальная стадия ХСН — III стадия по Василенко–Стражеско и IV ФК недостаточности кровообращения по NYHA.

Условия проведения

Набор пациентов проводился на базе амбулаторного центра ХСН Государственного автономного учреждения здравоохранения Свердловской области «Центральная городская больница № 20 город Екатеринбург».

Продолжительность исследования

Набор на участие в исследовании проходил с декабря 2020 года по декабрь 2021 года, после рандомизации период наблюдения составил 12 месяцев.

Внедрению в практику электронной платформы Medsenger (ООО «ТелеПат», Россия) для дистанционного наблюдения за пациентами с ХСН предшествовал период апробации с 01.12.2020 по 14.12.2020. В этот период система была протестирована путём включения 8 пробных пациентов. В тестовом режиме была проанализирована передача параметров жизнедеятельности: артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС) и массы тела. Кроме того, были протестированы остальные элементы системы, включая передачу данных по самочувствию пациентов, а также функции аудиосообщений и видеозвонков. Такая предварительная работа помогла выявить некоторые недочёты платформы в части наблюдения больных с ХСН и разработать более удобный вариант работы в программе для всех участников процесса. По окончании апробационного периода и после внесения основных изменений начался период включения пациентов с ХСН в исследование.

Описание медицинского вмешательства

Установление диагноза ХСН производилось на основании клинических рекомендаций по ХСН Российского кардиологического общества, одобренных Научно-практическим советом Минздрава Российской Федерации 2020 г. Скрининг пациентов с целью верификации диагноза ХСН

включал сбор анамнеза, общий осмотр пациента и оценку ФК ХСН по тесту 6-минутной ходьбы. Всем пациентам выполнялся комплекс стандартного общеклинического лабораторного исследования (общий анализ крови, биохимический анализ крови с исследованием глюкозы плазмы, калия, натрия, креатинина и расчётом скорости клубочковой фильтрации по СКД-EPI) и исследование концентрации NT-proBNP.

В инструментальный комплекс обследования входили:

- регистрация электрокардиограммы в 12 отведениях;
- эхокардиография (ЭхоКГ);
- ультразвуковая доплерография сосудов шеи;
- ультразвуковое исследование органов брюшной полости и плевры (по показаниям);
- рентгенография органов грудной клетки.

После первичного посещения кардиолога и верификации диагноза ХСН пациенты были методом конвертов случайно распределены на три группы наблюдения.

1. Первая группа. Телемедицинское наблюдение в первой группе проводилось посредством структурированного телефонного опроса, выполняемого медицинской сестрой по специально разработанному опроснику (табл. 2). Кратность проведения телефонного мониторинга составляла один или два раза в месяц в зависимости от исходной тяжести состояния больного с ХСН.

2. Вторая группа — наблюдение с помощью программного обеспечения для дистанционного ДН

(телемедицинского мониторинга) Medsenger. Методология телемедицинского мониторинга описана ниже.

3. Третья группа — группа сравнения. Стандартное очное наблюдение у кардиолога поликлиники согласно действующим нормативно-правовым документам ведения пациентов с ХСН.

Дополнительно проводился сравнительный анализ на временном горизонте 3, 6 и 12 месяцев. Основная методология ДН при ХСН в 1-й и 2-й группах — удалённый контроль за клиническим состоянием пациентов (табл. 1).

В 1-й группе телефонный опрос и дистанционное наблюдение с помощью программного обеспечения проводила медицинская сестра по заранее подготовленному алгоритму с определением дальнейшей тактики действий в зависимости от полученных ответов пациента. Срочность оказания медицинской помощи определялась по валидизированным алгоритмам, разработанным в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Минздрава Российской Федерации [8].

Во 2-й группе с целью оценки клинической картины заболевания пациенту ежедневно приходило уведомление о необходимости внесения своих показателей (АД, ЧСС, массы тела) в систему. Рассылка опросников самочувствия и приверженности к принимаемой терапии

Таблица 1. Процедуры визитов исследования

Процедуры визитов	Скрининг и рандомизация (день 0)	Визит 1 (день 90±30)	Визит 2 (день 180±30)	Визит 3 (день 365±30)
Информированное согласие	+	—	—	—
Оценка критериев включения/невключения	+	—	—	—
Оценка критериев исключения	+	+	+	+
Сбор медицинского и фармакотерапевтического анамнеза	+	—	—	—
Сбор демографических и антропометрических данных	+	+	+	+
Физикальное обследование	+	+	+	+
Выдача дневника самоконтроля и контроль его ведения	+	+	+	+
Рекомендации по лечению	+	+	+	+
Лабораторные и инструментальные обследования	+	+	+	+
Заполнение опросника по приверженности к медикаментозной терапии	+	+	+	+
Регистрация конечных точек	—	+	+	+
Оценка удовлетворённости качеством диспансерного наблюдения	—	+	+	+

производилась каждые 3 дня. При этом всем пациентам заблаговременно (на визите по распределению по группам) были даны указания на проведение ежедневного самомониторинга АД, ЧСС и массы тела.

В структуру удалённого мониторинга в 1-й и во 2-й группах были включены большие и малые критерии декомпенсации ХСН (табл. 2), выделенные в такие подгруппы на основании Национальных рекомендаций по диагностике и лечению ХСН.

К большим критериям декомпенсации состояния относятся:

- нарастание одышки, утомляемости;
- ортопноэ;
- пароксизмальная ночная одышка;
- снижение толерантности к физической нагрузке;
- увеличение в объёме лодыжки.

К малым критериям декомпенсации ХСН относятся:

- ночной кашель;
- прибавка в весе более 2 кг за неделю;
- депрессивное расстройство;
- приступы сердцебиения.

Все полученные данные анализировались при помощи автоматической системы обработки. При выходе параметров АД, ЧСС и массы тела или при обнаружении больших/малых критериев декомпенсации состояния программа направляла автоматическое уведомление администратору (медицинской сестре и/или врачу), после чего медицинский работник принимал решение о необходимости проведения очной или телемедицинской консультации с целью изменения тактики наблюдения и лечения. При наличии критериев неотложного состояния принималось решение о вызове бригады скорой медицинской помощи. Согласно имеющемуся алгоритму, ответ на данное уведомление должен был быть дан пациенту в течение 24 часов. В нерабочие, выходные, праздничные дни мониторинг состояния пациента не проводился. При ухудшении состояния пациент был заблаговременно информирован о том, что ему необходимо самостоятельно обратиться за медицинской помощью (кабинет неотложной помощи территориальной поликлиники или вызов бригады скорой помощи). Данный алгоритм реагирования имел место в обеих группах дистанционного ДН (1 и 2).

Таблица 2. Структура мониторинга состояния пациента с хронической сердечной недостаточностью при дистанционном диспансерном наблюдении

Вопрос	Да	Нет
Блок 1 (субъективная оценка состояния пациентом)		
<i>Большие критерии декомпенсации хронической сердечной недостаточности</i>		
Появилась ли одышка при ранее привычной физической нагрузке за последнюю неделю?		
В течение недели были ли жалобы на одышку в положении лёжа? Была ли необходимость во время сна поднять подушку выше и/или положить подушек больше?		
Были ли у Вас приступы ночной одышки в течение последней недели?		
В течение последней недели случалось ли так, что физическая нагрузка давалась тяжелее, чем ранее?		
В течение последней недели появились ли слабость, повышенная утомляемость, необходимость в более продолжительном отдыхе?		
В течение последней недели обратили ли внимание на отёчность голеней, увеличение в объёме лодыжек, появление следов от носков/обуви?		
Увеличилась ли окружность талии за последнюю неделю?		
<i>Малые критерии декомпенсации хронической сердечной недостаточности</i>		
Беспокоил ли Вас ночной кашель в течение последней недели?		
Ваш вес за прошедшую неделю увеличился на 2 кг?		
Ваш вес за прошедшую неделю уменьшился на 1 кг?		
Чувствовали ли Вы себя подавленным или апатичным в течение прошедшей недели?		
Беспокоит ли Вас сердцебиение в течение последней недели?		
Блок 2 (оценка терапии)		
Забывали ли Вы когда-либо принять препараты?		
Относите ли Вы иногда невнимательно к часам приёма лекарств?		
Пропускаете ли Вы приём препаратов, если чувствуете себя хорошо?		
Если Вы чувствуете себя плохо после приёма лекарств, пропускаете ли Вы следующий приём?		

Основной исход исследования

В ходе исследования оценивались первичные и вторичные конечные точки.

Первичные конечные точки:

- смерть от сердечно-сосудистых причин;
- повторная госпитализация в связи с декомпенсацией ХСН;
- количество эпизодов, потребовавших экстренной или неотложной помощи (вызовы скорой помощи или врача отделения неотложной помощи поликлиники) в связи с декомпенсацией ХСН.

Вторичные конечные точки:

- смерть от любых причин, кроме сердечно-сосудистых;
- госпитализация или обращение за неотложной помощью в связи с другими сердечно-сосудистыми причинами (острый коронарный синдром, нарушение мозгового кровообращения, новая коронавирусная инфекция, гипертоническая болезнь и др.);
- ухудшение клинико-лабораторного статуса пациента, оцениваемого по прогрессированию ХСН: на основании оценки функционального класса ХСН, натрийуретического пептида (NT-proBNP) и фракции выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ);

Дополнительные исходы исследования

Дополнительно была проведена оценка влияния типа ДН на клинический статус пациента с ХСН (ФК по NYHA), ФВ ЛЖ и уровня NT-proBNP.

Методы регистрации исходов

Анализ исходов проводился на основании медицинской документации.

Этическая экспертиза

Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом на базе Государственного автономного учреждения здравоохранения Свердловской области «Центральная городская больница № 20 город Екатеринбург»: № 4 от 25.11.2020. От всех участников получено письменное информированное согласие на участие в исследовании.

Статистический анализ

Принципы расчёта размера выборки

Для расчёта размера выборки использован метод К.А. Отдельновой: при уровне значимости 0,05 в исследовании средней точности достаточно 100 участников [9].

Методы статистического анализа данных

В анализ данных были включены все субъекты дистанционного и стандартного (очного) мониторинга. Для дополнительного анализа была сформирована отдельная группа дистанционного наблюдения, объединившая пациентов из 1-й и 2-й групп. Статистическая обработка была выполнена с помощью программы

Stata 14 (StataCorp, США) и jamovi (The jamovi project, Австралия). Абсолютные значения представлены в виде чисел, относительные — в виде долей (%). Тип распределения определялся с помощью критерия Шапиро–Уилка. При нормальном распределении количественные данные представлялись в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$), при распределении, отличном от нормального, — в виде медианы и межквартильного размаха: Me (25; 75).

При сравнении количественных показателей в независимых группах использовались непарный *t*-критерий Стьюдента и однофакторный дисперсионный анализ (при распределении, отличном от нормального, — критерий Манна–Уитни и Вилкоксона). Post hoc анализ проводился с использованием поправки Тьюки. В зависимых группах сравнение количественных признаков при нормальном распределении производилось с помощью парного критерия Стьюдента, при сравнении трёх групп — дисперсионного анализа для повторных измерений. При сравнении качественных показателей использовался критерий хи-квадрат Пирсона. При сравнении порядковых показателей использовалась порядковая регрессия. Уровнем статистической значимости было принято значение $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Всего в исследовании приняли участие 213 человек. Пациенты трёх групп были сопоставимы между собой по основным клинико-демографическим показателям, по значениям АД, стажу (длительности) ХСН, ФВ ЛЖ, расчётной скорости клубочковой фильтрации (рассчитанной с помощью формулы CKD-EPI), уровню гемоглобина и NT-proBNP (табл. 3).

По структуре сопутствующей сердечно-сосудистой и некардиальной патологии сравниваемые группы также не различались (табл. 4).

Основные результаты исследования

При проведении сравнения очной формы ДН за пациентами с ХСН с двумя методиками дистанционного ДН (объединённая группа 1 и 2) через 3 месяца было выявлено преимущество дистанционного наблюдения по снижению сердечно-сосудистой смертности: отношение шансов (ОШ) — 2,73, 95% доверительный интервал (ДИ) — 1,1–7,39, $p=0,042$. По влиянию на показатель комбинированной вторичной конечной точки (смерть от любых причин, госпитализация или обращение за неотложной помощью в связи с другими сердечно-сосудистыми причинами, ухудшение клинико-лабораторного статуса пациента) через 3 месяца преимуществ выявлено не было: ОШ 0,5, ДИ 0,27–0,92; $p=0,03$ (рис. 1).

При сравнении между собой групп 1 и 2 дистанционного ДН по влиянию на конечные точки через 3 месяца

Таблица 3. Клинико-демографическая характеристика сравниваемых групп

Показатель	Группа 1 (n=58)	Группа 2 (n=52)	Группа 3 (n=103)	p
Мужчина	36 (62,1%)	22 (42,3%)	42 (40,1%)	0,143
Женщина	22 (37,9%)	30 (57,7%)	61 (59,8%)	0,265
Возраст, лет	67 (58; 72,8)	69,5 (61,8; 79)	69 (62; 74)	0,159
ИМТ, кг/м ²	32,38±5,92	28,71±5,46	32,09±6,43	0,236
САД, мм рт. ст.	129±22,9	132±16,3	133±17,5	0,305
ДАД, мм рт. ст.	73 (70; 90)	80 (71; 90)	80 (70; 90)	0,206
ЧСС, уд/мин	80,1±12,3	79,1±14,8	79,1±15,0	0,79
Стаж ХСН, лет	2 (1; 5,25)	2 (0,33; 5)	2 (0,23; 5)	0,167
ФВ ЛЖ, %	47 (37,8; 55)	42 (39; 47)	47 (39; 55)	0,285
Глюкоза, ммоль/л	6 (5; 6)	6,5 (6; 7)	5 (5; 7)	0,258
СКФ, мл/(мин×1,73 м ²)	69 (60; 87)	74,5 (54; 89)	65 (55,5; 87,5)	0,942
Гемоглобин, г/л	133 (122; 146)	133 (119; 142)	128 (118; 141)	0,529
NT-proBNP, пг/мл	817 (331; 1480)	617 (262; 2131)	1082 (445; 2124)	0,117

Примечание. ДАД — диастолическое артериальное давление; ИМТ — индекс массы тела; САД — систолическое артериальное давление; СКФ — скорость клубочковой фильтрации; ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка; ЧСС — частота сердечных сокращений. При описании качественных параметров показатели представлены в виде: абсолютное число (доля в %).

Таблица 4. Структура сопутствующей сердечно-сосудистой и некардиальной патологии у пациентов исследованных групп

Показатель	Группа 1 (n=58)	Группа 2 (n=52)	Группа 3 (n=103)	p
Наличие ФП/ТП	32 (55,2%)	29 (55,8%)	62 (60,2%)	0,467
Наличие ГБ	50 (86,2%)	51 (98,1%)	101 (98,1%)	0,067
Наличие ИБС	32 (55,2%)	40 (76,9%)	83 (80,6%)	0,087
Наличие коронарной ревааскуляризации	10 (17,2%)	7 (13,5%)	27 (26,2%)	0,799
Наличие СД	7 (12,1%)	22 (42,3%)	40 (38,8%)	0,301
Наличие ХОБЛ	7 (12,1%)	13 (25,0%)	24 (23,3%)	0,216
Наличие ОНМК/ТИА	5 (8,6%)	8 (15,4%)	11 (10,7%)	0,813

Примечание. ГБ — гипертоническая болезнь; ИБС — ишемическая болезнь сердца; ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения; СД — сахарный диабет 2-го типа; ТИА — транзиторная ишемическая атака; ТП — трепетание предсердий; ФП — фибрилляция предсердий; ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь лёгких.

было показано, что использование платформы Medsenger обладает преимуществом перед очным наблюдением в развитии событий комбинированной вторичной точки: ОШ 0,39, ДИ 0,19–0,81; $p=0,011$.

Через 6 месяцев наблюдения статистически значимых различий между формами дистанционного и очного ДН выявлено не было (рис. 2). Однако в группе очного ДН количество повторных госпитализаций по причине острой декомпенсации ХСН было достоверно больше, чем среди пациентов, использовавших платформу Medsenger: ОШ 0,171, ДИ 0,04–0,83; $p=0,029$.

Через 12 месяцев наблюдения были выявлены преимущества дистанционных методов наблюдения над очным

ДН за больными с ХСН по снижению сердечно-сосудистой смертности (ОШ 2,1, ДИ 1,1–3,7; $p=0,027$) и показателю комбинированной первичной конечной точки (ОШ 2,1, ДИ 1,1–5,6; $p=0,015$) (рис. 3).

При этом внутри методов дистанционного ДН за пациентами с ХСН было выявлено преимущество использования медицинской платформы Medsenger над проведением структурированного телефонного опроса медицинской сестрой через 12 месяцев наблюдения по показателю сердечно-сосудистой смертности (ОШ 0,177, ДИ 0,06–0,487; $p=0,021$) и комбинированной вторичной конечной точке (ОШ 0,427, ДИ 0,189–0,964; $p=0,041$).

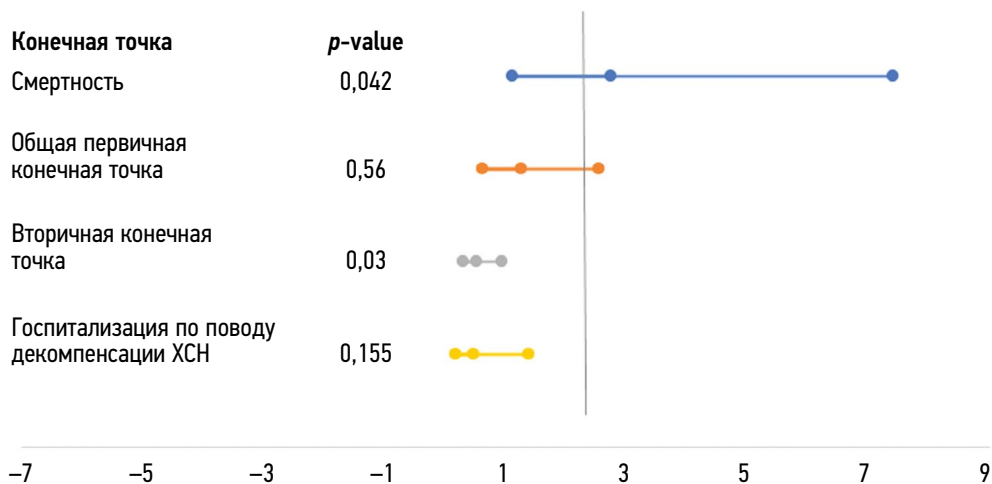


Рис. 1. Влияние типа амбулаторного наблюдения (дистанционное/очное) на конечные точки через 3 месяца. ХСН — хроническая сердечная недостаточность.

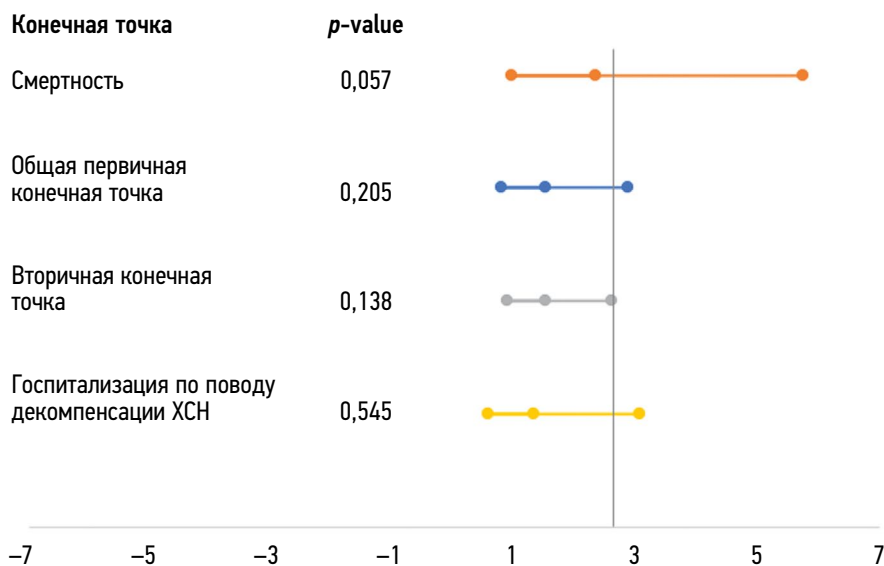


Рис. 2. Влияние типа амбулаторного наблюдения (дистанционное/очное) на конечные точки через 6 месяцев. ХСН — хроническая сердечная недостаточность.

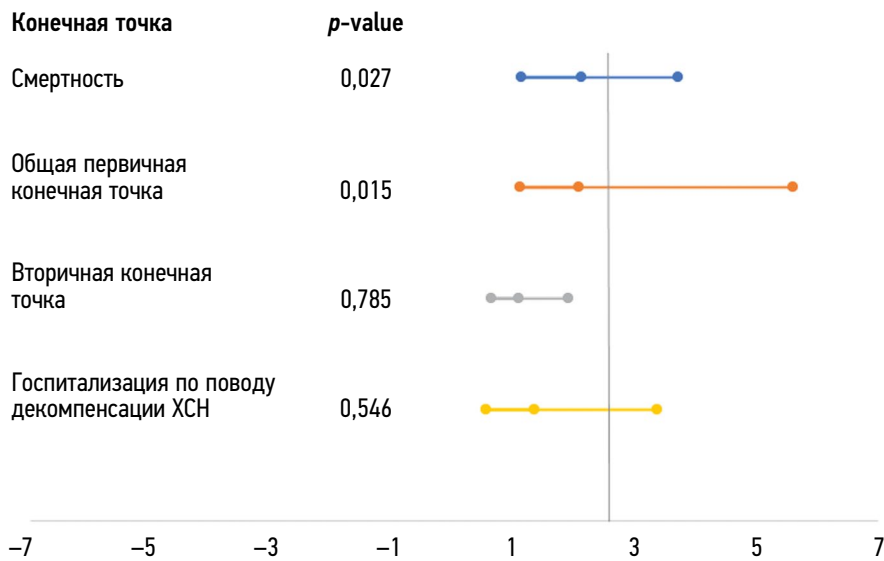


Рис. 3. Влияние типа амбулаторного наблюдения (дистанционное/очное) на конечные точки через 12 месяцев. ХСН — хроническая сердечная недостаточность.

Дополнительные результаты исследования

В группе дистанционного ДН (группы 1 и 2) отмечался статистически значимый прирост ФВ на 6–7%: с 43% (38; 54) на визите рандомизации до 49% (41; 56) на визите спустя 3 месяца ($p < 0,001$) и до 50% на визите спустя 6 месяцев ($p = 0,045$). При этом дальнейшего прироста ФВ (на визитах после 6 и 12 месяцев) в группе дистанционного мониторингирования зафиксировано не было.

В группе очного ДН (группа 3) не было выявлено статистически значимого прироста ФВ. В период с визита рандомизации до повторного обследования через 3 месяца наблюдалось увеличение ФВ на 4%: с 47% (39; 55) до 51% (42; 60), а затем на визите через 6 месяцев было зафиксировано снижение до 48% (38,8; 55,3), $p = 0,475$.

В группе дистанционного наблюдения с использованием платформы Medsenger было зарегистрировано

достоверное повышение ФВ ЛЖ: с 47% (37,8; 55) исходно до 55% (41,3; 60) к концу наблюдения, $p = 0,004$ (рис. 4).

В группе дистанционного ДН (объединённая группа 1 и 2) отмечалось снижение концентрации NT-proBNP как на коротком временном промежутке (через 3 месяца снижение с 717 (296,5; 1805,5) пг/мл до 464,4 (181,5; 861) пг/мл ($p < 0,001$), так и на горизонте всего периода наблюдения: с 717 (296,5; 1805,5) до 294,5 (133,5; 817) ($p < 0,001$). В группе очного наблюдения также была положительная динамика данного маркера, однако только на отрезках 3 и 6 месяцев ($p < 0,001$) (рис. 5).

При изучении влияния разных способов ДН на изменение концентрации NT-proBNP у пациентов исследуемых групп было выявлено, что через 3 и 6 месяцев наибольшее снижение данного показателя было в группе наблюдения с помощью структурированного телефонного опроса

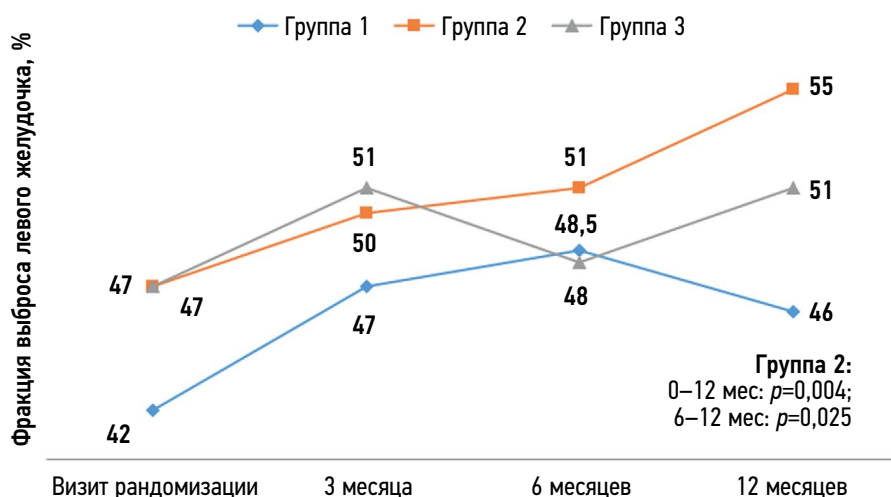


Рис. 4. Динамика изменений фракции выброса левого желудочка у пациентов исследуемых групп. Группа 1 — группа телефонного диспансерного наблюдения ($n = 58$); Группа 2 — группа диспансерного наблюдения на медицинской платформе Medsenger ($n = 52$); Группа 3 — группа стандартного диспансерного наблюдения ($n = 103$).

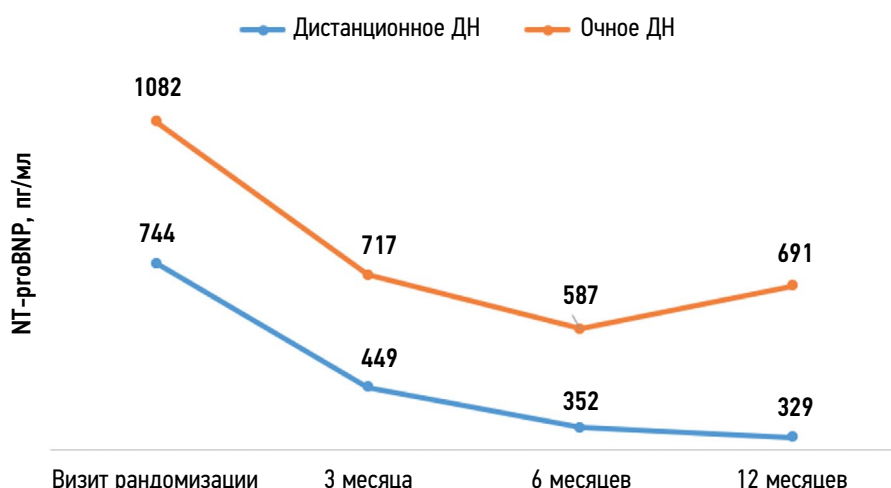


Рис. 5. Динамика изменений концентрации NT-proBNP у пациентов с разными формами диспансерного наблюдения: Дистанционное ДН — объединённая группа дистанционного диспансерного наблюдения (1 и 2, $n = 110$); очное ДН — группа стандартного диспансерного наблюдения ($n = 103$).

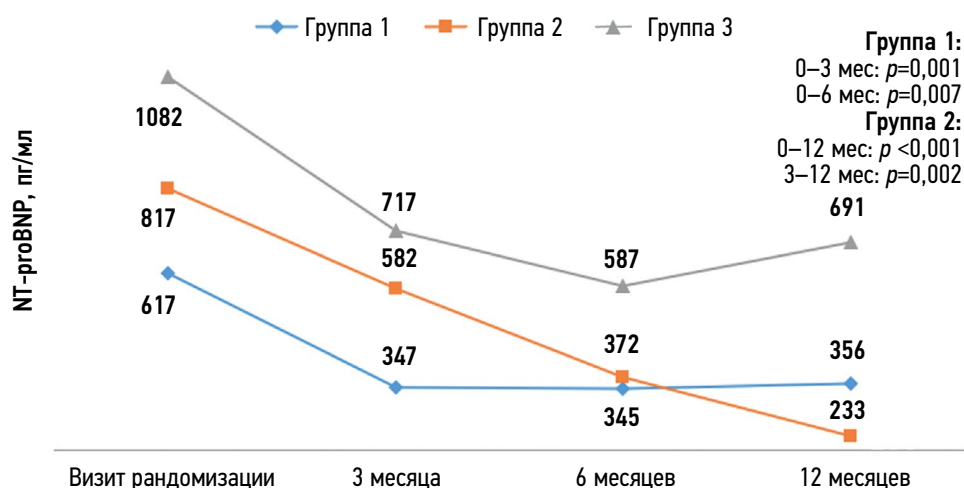


Рис. 6. Динамика изменений концентрации NT-proBNP у пациентов исследуемых групп: Группа 1 — группа телефонного диспансерного наблюдения ($n=58$); Группа 2 — группа диспансерного наблюдения на медицинской платформе Medsenger ($n=52$); Группа 3 — группа стандартного диспансерного наблюдения ($n=103$).

медицинской сестрой: с 617 пг/мл (262; 2131) до 345 пг/мл (321; 923) через 6 месяцев ($p=0,007$). На временном отрезке 12 месяцев разницы зафиксировано не было. Использование медицинской платформы Medsenger показало преимущество на горизонте 3 и 12 месяцев: через 3 месяца концентрация NT-proBNP снизилась с 817 пг/мл (331; 1480) до 582 пг/мл (208; 896) ($p<0,001$), а через год — в 3,5 раза, до 233 пг/мл (128; 638) ($p<0,001$) (рис. 6).

Учёт воздействия ФК на исходы и определение эффективности влияния на него вмешательств представляет технические затруднения в связи с порядковым характером переменной, наличием пропущенных данных (смерть пациентов) и наличием связанных групп (оценка групп проводилась в разные временные промежутки). В связи с этим был выбран способ оценки влияния уровня ФК на исходы в каждой группе наблюдения путём применения порядковой регрессии.

В группе 1 при ДН посредством телефонного опроса значимого влияния ФК на исходы выявлено не было. В группе 2 при ДН с использованием платформы Medsenger было показано, что уровень ФК оказывает значимое влияние через 3 месяца на вторичную конечную точку ($p=0,016$) и частоту госпитализации в связи с декомпенсацией ХСН ($p=0,006$). Аналогичные результаты были получены через 12 месяцев ($p<0,001$), а через 6 месяцев разницы выявлено не было. В группе 3 при стандартном наблюдении было выявлено, что ФК оказывает влияние на первичную конечную точку только через 12 месяцев ($p=0,021$), не оказывая влияния на другие исходы. При сравнении групп дистанционного и очного наблюдения значимых влияний выявлено не было.

Нежелательные явления

Нежелательных явлений исследуемой технологии зарегистрировано не было.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

По результатам исследования выявлено преимущество дистанционного ДН перед рутинным наблюдением пациентов с ХСН по снижению сердечно-сосудистой смертности через 3 и 12 месяцев наблюдения. В группе дистанционного ДН отмечался статистически значимый прирост ФВ ЛЖ на 6% в течение первых 3 месяцев, а также снижение концентрации NT-proBNP во всех референсных точках. Показано, что использование платформы Medsenger обладает преимуществом перед проведением телефонного опроса через 12 месяцев наблюдения по показателю сердечно-сосудистой смертности и комбинированной вторичной конечной точке, а также ассоциировано с повышением ФВ ЛЖ (с 47% исходно до 55% к концу наблюдения) и снижением концентрации NT-proBNP (с 817 пг/мл до 233 пг/мл).

Обсуждение основного результата исследования

К настоящему времени имеется большое количество клинических исследований различных телемедицинских технологий, в том числе телемедицинского мониторинга при хронических неинфекционных заболеваниях [10]. Однако по сей день нет чёткого представления о его клинической эффективности по влиянию на показатели смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и количества повторных госпитализаций, в связи с чем внедрение телемедицинских технологий в рутинную практику при проведении ДН за пациентами с хроническими неинфекционными заболеваниями находится по-прежнему на низком уровне.

В многоцентровом Европейском исследовании iCOR дистанционный контроль состояния здоровья пациентов с ХСН с помощью видеоконференцсвязи и телеметрии

биопараметров сопровождался достоверным снижением частоты эпизодов острой левожелудочковой недостаточности с 56% до 22% и уменьшением стоимости случаев лечения с 8163 € до 4993 € за 6 месяцев [11].

В 2007 году был опубликован, а в 2010 году обновлён первый Кокрейновский обзор, посвящённый анализу эффективности телефонной поддержки и телемониторинга состояния пациентов с ХСН. В последнюю версию обзора вошли 30 рандомизированных клинических исследований, включавших 9806 пациентов. Основным вывод этого метаанализа заключался в том, что пациенты, наблюдаемые с помощью систем телемониторинга, имели более низкую смертность от всех причин (относительный риск — ОР — 0,66, ДИ 0,54–0,81; $p < 0,001$) и меньшую частоту госпитализаций, связанных с сердечной недостаточностью (ОР 0,79, ДИ 0,67–0,94, $p = 0,008$), в то время как телефонная поддержка пациентов влияла только на госпитализации по поводу сердечной недостаточности (ОР 0,77, ДИ 0,68–0,87; $p < 0,0001$) [12].

В ряде исследований дистанционный мониторинг подтвердил свою эффективность в снижении смертности от всех причин, количества госпитализаций по поводу ХСН и смертности среди данной группы пациентов [13, 14]

OSICAT — многоцентровое рандомизированное исследование ($n=937$), которое включало пациентов, переживших декомпенсацию сердечной недостаточности в течение года и менее до включения в исследование. Дистанционный мониторинг ассоциировался с уменьшением относительного риска первой экстренной госпитализации на 21% (ОР 0,79, ДИ 0,62–0,99; $p = 0,044$), а также снижением относительного риска у пациентов с NYHA III или IV классом сердечной недостаточности на 29% (ОР 0,71, 95% ДИ 0,53–0,95; $p = 0,02$), и у социально изолированных пациентов — на 38% (ОР 0,62, ДИ 0,39–0,98; $p = 0,043$) [15].

Публикации нескольких крупных рандомизированных клинических исследований с отрицательными [16–18] и нейтральными результатами [19, 20] в последующие годы привели к росту неуверенности в пользе телефонной поддержки и телемониторинга.

Систематический обзор и метаанализ исследований, включавших пациентов после недавней декомпенсации СН, показал, что ДМ не имеет преимуществ перед обычным наблюдением по показателю госпитализация от всех причин (ОР 0,95, 95% ДИ 0,84–1,08, $p = 0,43$) и ОР смертности от всех причин (0,83, 95% ДИ 0,63–1,09, $p = 0,17$) [21].

Систематический обзор 34 рандомизированных клинических исследований (2000–2021 гг.) показал, что дистанционный мониторинг не даёт значимого влияния на уменьшение количества госпитализаций или снижения смертности. Американские исследования, включавшие пациентов с ХСН и высоким риском повторной госпитализации, показали позитивные тенденции в снижении смертности/количества госпитализаций, однако достоверных различий выявлено не было [22].

Однако данные исследования имели ряд ограничений: набор в исследование пациентов с тяжёлой сердечной недостаточностью с ФВ менее 35%, отличие между группами по приверженности принимаемой терапии, низкая мощность исследований, малая продолжительность наблюдения за пациентами и отсутствие единого регламента проведения телемедицинского мониторинга. Всё это не позволяет в полной мере оценить эффективность методик ДН.

В ходе проведённого нами исследования мы увидели чёткую связь между влиянием типа ДН на первичную конечную точку: дистанционный тип наблюдения приводил к снижению смертности в 2,73 раза, и эти отличия сохранялись на протяжении всего исследования. При сравнении типов дистанционного ДН на коротком временном отрезке различий найдено не было, однако через 12 месяцев наблюдение через платформу Medsenger показало своё преимущество перед структурированной телефонной поддержкой: снижение смертности от сердечно-сосудистой патологии на 17% ($p = 0,029$). На наш взгляд, такие результаты могут быть связаны с возможностью врача корректировать терапию удалённо посредством телемедицинской консультации, что может предотвратить развитие дальнейшей декомпенсации сердечной недостаточности и смерть пациента. Кроме того, повышение уровня самопомощи пациента за счёт дополнительных инструктажей по последовательности действий при ухудшении состояния также помогает предупредить развитие неблагоприятных исходов [23].

Снижение количества смертей и госпитализаций в группе дистанционного мониторинга объясняется улучшением клинико-функционального профиля пациентов. По нашим данным, этот тип наблюдения ассоциирован с увеличением ФВ ЛЖ и снижением уровня NT-proBNP, что говорит о стабилизации течения ХСН и улучшении качества жизни. Пациенты, которые наблюдались удалённо, получали регулярную поддержку со стороны медицинского персонала, что положительным образом сказалось на их приверженности к терапии.

В литературе недостаточно данных о влиянии типа ДН на лабораторные и инструментальные показатели, что, вероятно, связано с большими затратами на данные виды исследований. Одиночные исследования изучают влияния типа ДН на ФК у пациентов с ХСН. В частности, в работе Н.В. Пыриковой и соавт. [25] было показано положительное влияние дистанционного ДН на функциональное состояние пациентов с ХСН: через 6 месяцев количество пациентов с ФК III снизилось в 1,7 раза ($p = 0,03$), а в группе контроля с рутинным типом наблюдения — увеличилось в 1,9 раза ($p = 0,002$). Пациенты с IV ФК в 6,5 раза чаще встречались в группе контроля, чем в группе с применением телемедицинских технологий, что косвенно указывает на эффективность данного типа ДН. В нашем исследовании мы получили преимущество в группе 2: при использовании платформы Medsenger уровень

ФК оказал значимое влияние на вторичную конечную точку и частоту госпитализации в связи с декомпенсацией ХСН через 3 месяца ($p=0,006$), что также может указывать на то, что улучшение клинического статуса пациентов в данной группе позитивным образом сказывается на исходе. В группе стандартного наблюдения ФК влиял на первичную конечную точку лишь через 12 месяцев, а в группе телефонного опроса взаимосвязей выявлено не было.

Таким образом, было показано, что дистанционное ДН положительным образом сказывается на уровне ФВ ЛЖ, концентрации NT-proBNP и ФК. Нормализация данных клинико-функциональных показателей, вероятно, лежит в основе снижения сердечно-сосудистой смертности и частоты развития событий комбинированной вторичной конечной точки, а также объясняет положительные результаты удалённого типа ДН.

Ограничение исследования

Расчёт размера выборки проводился с использованием критерия для исследований средней точности и уровнем значимости 0,05. Для увеличения статистической мощности и репрезентативности результатов при сходном дизайне потребуется большее количество участников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поиск оптимального способа наблюдения за пациентами с ХСН, который бы влиял на исходы и приводил к снижению числа смертей и госпитализаций, — один из важных и сложных вопросов в современном здравоохранении. Разработка протоколов дистанционного наблюдения, по нашим данным, может стать хорошей альтернативой традиционному очному наблюдению. Полученные результаты говорят о преимуществе дистанционного типа наблюдения перед стандартным: через 3 и 12 месяцев наблюдается снижение показателя сердечно-сосудистой смертности (ОШ 2,73, ДИ 1,1–7,39, $p=0,042$ и ОШ 2,1, ДИ 1,1–3,7, $p=0,027$ соответственно).

Улучшая клинические и функциональные показатели пациентов, мы можем влиять не только на исходы, но и на качество жизни пациентов и уровень самопомощи, повышая приверженность терапии и доверие системе здравоохранения, способствуя появлению и развитию в ней IT-технологий. Барьеры в виде недостаточной цифровой грамотности пациентов, неоднозначного отношения к дистанционным методам наблюдения среди врачебного

сообщества, необходимости дополнительного технологического оснащения медицинских учреждений пока сдерживают широкое применение подобных решений. Однако демографические аспекты нашей популяции, рост числа пациентов с ХСН и потребность в качественном персонализированном подходе станут в итоге драйверами роста для всеобщего внедрения методик дистанционного мониторинга.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: А.В. Исаева — концепция исследования, сбор материала, написание статьи; А.Е. Демкина — концепция исследования, написание статьи; А.В. Владзимирский — концепция исследования, редактирование текста; Б.В. Зингерман — научная курация проекта; А.Н. Коробейникова — анализ материала, статистическая обработка, написание статьи; А.Н. Быков, О.Г. Смоленская — анализ материала, редактирование текста.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.V. Isaeva — the concept of the study, data collection, writing the text of the manuscript; A.E. Demkina — the concept of the study, writing the text of the manuscript; A.V. Vladzimirskyy — the concept of the study, manuscript text editing; B.V. Zingerman — scientific project management; A.N. Korobeynikova — data analysis, statistics analysis, writing the text of the manuscript; A.N. Bykov, O.G. Smolenskaya — data analysis, manuscript text editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терещенко С.Н., Галявич А.С., Ускач Т.М., и др. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2020 // Российский кардиологический журнал. 2020. Т. 25, № 11. С. 40–83. EDN: LJGGQV doi: 10.15829/1560-4071-2020-4083

2. Мареев В.Ю., Фомин И.В., Агеев Ф.Т., и др. Клинические рекомендации ОССН-РКО-РНМОТ. Сердечная недостаточность: хроническая (ХСН) и острая декомпенсированная (ОДСН). Диагностика, профилактика,

лечение // Кардиология. 2018. Т. 58, № 6S. С. 8–158. EDN: XUAREL doi: 10.18087/cardio.2475

3. Владзимирский А.В., Морозов С.П., Урванцева И.А., Коваленко Л.В., Воробьев А.С. Применение телемедицинских технологий в кардиологии. Сургут : Сургутский государственный университет, 2019. EDN: IKCWRK

4. Владзимирский А.В., Лебедев Г.С. Телемедицина. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2018. EDN: YMURZR

5. Владзимирский А.В. Телемедицина в кардиологии: возможности и доказательность // Заместитель главного врача. 2016. № 8. С. 80–89. EDN: WFLUGF

6. Veenis J.F., Radhoe S.P., Hooijmans P., Brugts J.J. Remote Monitoring in Chronic Heart Failure Patients: Is Non-Invasive Remote Monitoring the Way to Go? // Sensors (Basel). 2021. Vol. 21, N 3. P. 887. doi: 10.3390/s21030887

7. Inglis S.C., Clark R.A., Dierckx R., Prieto-Merino D., Cleland J.G.F. Structured telephone support or non-invasive telemonitoring for patients with heart failure // Cochrane Database Syst Rev. 2015. N 10. doi: 10.1002/14651858.CD007228.pub3

8. Бойцов С.А., Агеев Ф.Т., Бланкова З.Н., Свирида О.Н., Беграбекова Ю.Л. Методические рекомендации для медицинских сестер кабинета больных с хронической сердечной недостаточностью // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. Т. 20, № 1. С. 283–306. EDN: WNIVZB doi: 10.15829/1728-8800-2021-2754

9. Баврина А.П. Основные понятия статистики // Медицинский альманах. 2020. № 3. С. 101–111. EDN: PUMGMM

10. Арзамасов К.М., Бушуев В.О., Владзимирский А.В., и др. Осмотр кардиологического пациента с применением скринингового ультразвукового исследования сонных артерий: возможности телемедицины // Врач. 2023. Т. 34, № 4. С. 39–45. EDN: LRZKEW doi: 10.29296/25877305-2023-04-08

11. Jiménez-Marrero S., Yun S., Cainzos-Achirica M., et al. Impact of telemedicine on the clinical outcomes and healthcare costs of patients with chronic heart failure and mid-range or preserved ejection fraction managed in a multidisciplinary chronic heart failure programme: A sub-analysis of the iCOR randomized trial // J Telemed Telecare. 2020. Vol. 26, N 1-2. P. 64–72. doi: 10.1177/1357633X18796439

12. Clark R.A., Inglis S.C., McAlister F.A., Cleland J.G.F., Stewart S. Telemonitoring or structured telephone support programmes for patients with chronic heart failure: systematic review and meta-analysis // BMJ. 2007. Vol. 334, N 7600. P. 942. doi: 10.1136/bmj.39156.536968.55

13. Mizukawa M., Moriyama M., Yamamoto H., et al. Nurse-led collaborative management using telemonitoring improves quality of life and prevention of rehospitalization in patients with heart failure // Int Heart J. 2019. Vol. 60, N 6. P. 1293–1302. doi: 10.1536/ihj.19-313

14. Dierckx R., Inglis S.C., Clark R.A., Prieto-Merino D., Cleland J.G.F. Telemedicine in heart failure: new insights from the Cochrane

meta-analyses // Eur J Heart Fail. 2017. Vol. 19, N 3. P. 304–306. doi: 10.1002/ehjhf.759

15. Jiménez-Marrero S., Yun S., Cainzos-Achirica M., et al. Impact of telemedicine on the clinical outcomes and healthcare costs of patients with chronic heart failure and mid-range or preserved ejection fraction managed in a multidisciplinary chronic heart failure programme: A sub-analysis of the iCOR randomized trial // J Telemed Telecare. 2020. Vol. 26, N 1-2. P. 64–72. doi: 10.1177/1357633X18796439

16. Galinier M., Roubille F., Berdague P., et al. OSICAT Investigators. Telemonitoring versus standard care in heart failure: a randomised multicentre trial // Eur J Heart Fail. 2020. Vol. 22, N 6. P. 985–994. doi: 10.1002/ehjhf.1906

17. Lynga P., Persson H., Hägg-Martinell A., et al. Weight monitoring in patients with severe heart failure (WISH). A randomized controlled trial // Eur J Heart Fail. 2012. Vol. 14, N 4. P. 438–444. doi: 10.1093/eurjhf/hfs023

18. Boyne J.J., Vrijhoef H.J., Crijns H.J., et al. Tailored telemonitoring in patients with heart failure: results of a multicentre randomized controlled trial // Eur J Heart Fail. 2012. Vol. 14, N 7. P. 791–801. doi: 10.1093/eurjhf/hfs058

19. Koehler F., Winkler S., Schieber M., et al. Impact of remote telemedical management on mortality and hospitalizations in ambulatory patients with chronic heart failure: the telemedical interventional monitoring in heart failure study // Circulation. 2011. Vol. 123, N 17. P. 1873–1880. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.111.018473

20. Pandor A., Gomersall T., Stevens J.W., et al. Remote monitoring after recent hospital discharge in patients with heart failure: a systematic review and network meta-analysis // Heart. 2013. Vol. 99, N 23. P. 1717–1726. doi: 10.1136/heartjnl-2013-303811

21. Chaudhry S.I., Mattern J.A., Curtis J.P., et al. Telemonitoring in patients with heart failure // N Engl J Med. 2010. Vol. 363, N 24. P. 2301–2309. doi: 10.1056/NEJMoa1010029

22. Umeh C.A., Reddy M., Dubey A., et al. Home telemonitoring in heart failure patients and the effect of study design on outcome: A literature review // J Telemed Telecare. 2021. Vol. 30, N 1. doi: 10.1177/1357633X211037197

23. Drews T.E.I., Laukkanen J., Nieminen T. Non-invasive home telemonitoring in patients with decompensated heart failure: a systematic review and meta-analysis // ESC Heart Fail. 2021. Vol. 8, N 5. P. 3696–3708. doi: 10.1002/ehf2.13475

24. Владзимирский А.В. Систематический обзор применения мессенджеров «WhatsApp» и «Viber» в клинической медицине // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2017. Т. 1, № 3. С. 30–41. EDN: YPTUYR

25. Пырикова Н.В., Мозгунов Н.А., Осипова И.В. Результаты пилотного дистанционного мониторинга пациентов с хронической сердечной недостаточностью // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022. Т. 21, № 6. С. 31–51. EDN: ROTHNY doi: 10.15829/1728-8800-2022-3151

REFERENCES

1. Tereshchenko SN, Galyavich AS, Uskach TM, et al. Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(11):40–83. EDN: LJGGQV doi: 10.15829/1560-4071-2020-4083

2. Mareev VYu, Fomin IV, Ageev FT, et al. Guidelines for Heart failure: chronic (CHF) and acute decompensated (ADHF). Diagnosis,

prevention and treatment. *Kardiologiya*. 2018;58(6S):8–158. EDN: XUAREL doi: 10.18087/cardio.2475

3. Vladzimirskii AV, Morozov SP, Urvantseva IA, Kovalenko LV, Vorob'ev AS. *Application of telemedicine technologies in cardiology*. Surgut: Surgut State University; 2019. (In Russ). EDN: IKCWRK

4. Vladzimirskii AV, Lebedev GS. *Telemedicine*. Moscow: GEOTAR-Media; 2018. (In Russ). EDN: YMURZR
5. Vladzimirskii AV. Telemedicine in cardiology: opportunities and evidence. *Zamestitel' glavnogo vracha*. 2016;(8):80–89. (In Russ). EDN: WFLUGF
6. Veenis JF, Radhoe SP, Hooijmans P, Brugts JJ. Remote Monitoring in Chronic Heart Failure Patients: Is Non-Invasive Remote Monitoring the Way to Go? *Sensors (Basel)*. 2021;21(3):887. doi: 10.3390/s21030887
7. Inglis SC, Clark RA, Dierckx R, Prieto-Merino D, Cleland JGF. Structured telephone support or non-invasive telemonitoring for patients with heart failure. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;(10). doi: 10.1002/14651858.CD007228.pub3
8. Boytsov SA, Ageev FT, Blankova ZN, Svirida ON, Begrambekova YuL. Guidelines for nurses and patients with chronic heart failure. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2021;20(1):283–306. EDN: WNIVZB doi: 10.15829/1728-8800-2021-2754
9. Bavrina AP. Basic concepts of statistics. *Meditsinskii al'manakh*. 2020;(3):101–111. EDN: PUMGMM
10. Arzamasov KM, Bushuev VO, Vladzimirskiy AV, et al. Examination of a cardiac patient, by using carotid artery ultrasound screening: possibilities of telemedicine. *Vrach*. 2023;34(4):39–45. EDN: LRZKEW doi: 10.29296/25877305-2023-04-08
11. Jiménez-Marrero S, Yun S, Cainzos-Achirica M, et al. Impact of telemedicine on the clinical outcomes and healthcare costs of patients with chronic heart failure and mid-range or preserved ejection fraction managed in a multidisciplinary chronic heart failure programme: A sub-analysis of the iCOR randomized trial. *J Telemed Telecare*. 2020;26(1-2):64–72. doi: 10.1177/1357633X18796439
12. Clark RA, Inglis SC, McAlister FA, Cleland JGF, Stewart S. Telemonitoring or structured telephone support programmes for patients with chronic heart failure: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2007;334(7600):942. doi: 10.1136/bmj.39156.536968.55
13. Mizukawa M, Moriyama M, Yamamoto H, et al. Nurse-led collaborative management using telemonitoring improves quality of life and prevention of rehospitalization in patients with heart failure. *Int Heart J*. 2019;60(6):1293–1302. doi: 10.1536/ihj.19-313
14. Dierckx R, Inglis SC, Clark RA, Prieto-Merino D, Cleland JGF. Telemedicine in heart failure: new insights from the Cochrane meta-analyses. *Eur J Heart Fail*. 2017;19(3):304–306. doi: 10.1002/ehf.759
15. Jiménez-Marrero S, Yun S, Cainzos-Achirica M, et al. Impact of telemedicine on the clinical outcomes and healthcare costs of patients with chronic heart failure and mid-range or preserved ejection fraction managed in a multidisciplinary chronic heart failure programme: A sub-analysis of the iCOR randomized trial. *J Telemed Telecare*. 2020;26(1-2):64–72. doi: 10.1177/1357633X18796439
16. Galinier M, Roubille F, Berdague P, et al. OSICAT Investigators. Telemonitoring versus standard care in heart failure: a randomised multicentre trial. *Eur J Heart Fail*. 2020;22(6):985–994. doi: 10.1002/ehf.1906
17. Lynga P, Persson H, Hägg-Martinell A, et al. Weight monitoring in patients with severe heart failure (WISH). A randomized controlled trial. *Eur J Heart Fail*. 2012;14(4):438–444. doi: 10.1093/eurjhf/hfs023
18. Boyne JJ, Vrijhoef HJ, Crijns HJ, et al. Tailored telemonitoring in patients with heart failure: results of a multicentre randomized controlled trial. *Eur J Heart Fail*. 2012;14(7):791–801. doi: 10.1093/eurjhf/hfs058
19. Koehler F, Winkler S, Schieber M, et al. Impact of remote telemedical management on mortality and hospitalizations in ambulatory patients with chronic heart failure: the telemedical interventional monitoring in heart failure study. *Circulation*. 2011;123(17):1873–1880. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.111.018473
20. Pandor A, Gomersall T, Stevens JW, et al. Remote monitoring after recent hospital discharge in patients with heart failure: a systematic review and network meta-analysis. *Heart*. 2013;99(23):1717–1726. doi: 10.1136/heartjnl-2013-303811
21. Chaudhry SI, Mattera JA, Curtis JP, et al. Telemonitoring in patients with heart failure. *N Engl J Med*. 2010;363(24):2301–2309. doi: 10.1056/NEJMoa1010029
22. Umeh CA, Reddy M, Dubey A, et al. Home telemonitoring in heart failure patients and the effect of study design on outcome: A literature review. *J Telemed Telecare*. 2021;30(1). doi: 10.1177/1357633X211037197
23. Drews TEI, Laukkanen J, Nieminen T. Non-invasive home telemonitoring in patients with decompensated heart failure: a systematic review and meta-analysis. *ESC Heart Fail*. 2021;8(5):3696–3708. doi: 10.1002/ehf2.13475
24. Vladzimirskiy AV. Systematic review: the messengers “WhatsApp” and “Viber” in a clinical routine. *Zhurnal telemeditsiny i elektronnoy zdavookhraneniya*. 2017;1(3):30–41 EDN: YPTUYR
25. Pyrikova NV, Mozgunov NA, Osipova IV. Results of pilot remote monitoring of heart failure patients. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2022;21(6):31–51. EDN: ROTHYH doi: 10.15829/1728-8800-2022-3151

ОБ АВТОРАХ

* **Коробейникова Анна Николаевна**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 610008, г. Киров, ул. Советская, 93;
ORCID: 0000-0002-8934-7021;
eLibrary SPIN: 9728-9583;
e-mail: anna_best2004@mail.ru

Исаева Анна Владимировна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-0634-9759;
eLibrary SPIN: 5178-6596;
e-mail: av_isaeva_cgb20@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Anna N. Korobeynikova**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 93 Sovetskaya street, 610008, Kirov, Russia;
ORCID: 0000-0002-8934-7021;
eLibrary SPIN: 9728-9583;
e-mail: anna_best2004@mail.ru

Anna V. Isaeva, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-0634-9759;
eLibrary SPIN: 5178-6596;
e-mail: av_isaeva_cgb20@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Демкина Александра Евгеньевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-8004-9725;
eLibrary SPIN: 4657-5501;
e-mail: ademkina@bk.ru

Владимирский Антон Вячеславович, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-2990-7736;
eLibrary SPIN: 3602-7120;
e-mail: a.vladimirskiy@npcmr.ru

Зингерман Борис Валентинович;
ORCID: 0000-0002-1855-1834;
eLibrary SPIN: 5914-9174;
e-mail: boriszing@gmail.com

Быков Александр Николаевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-0787-7908;
eLibrary SPIN: 6423-7610;
e-mail: sashacor83@yandex.ru

Смоленская Ольга Георгиевна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-0705-6651;
eLibrary SPIN: 5443-9382;
e-mail: osmolenskaya@mail.ru

Alexandra E. Demkina, MD, Cand. Sci (Medicine);
ORCID: 0000-0001-8004-9725;
eLibrary SPIN: 4657-5501;
e-mail: ademkina@bk.ru

Anton V. Vladzimirskyy, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-2990-7736;
eLibrary SPIN: 3602-7120;
e-mail: a.vladzimirskiy@npcmr.ru

Boris V. Zingerman;
ORCID: 0000-0002-1855-1834;
eLibrary SPIN: 5914-9174;
e-mail: boriszing@gmail.com

Alexandr N. Bykov, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-0787-7908;
eLibrary SPIN: 6423-7610;
e-mail: sashacor83@yandex.ru

Olga G. Smolenskaya, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-0705-6651;
eLibrary SPIN: 5443-9382;
e-mail: osmolenskaya@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624754>

Кальциноз митрального клапана как важная находка при сердечно-сосудистой визуализации

Д.А. Филатова, Е.А. Мершина, М.Л. Плотникова, М.В. Лисицкая, В.Е. Сеницын

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Кальциноз митрального клапана — это хронический дегенеративный процесс в фиброзных структурах митрального клапана, на продвинутых стадиях повышающий риск развития эндокардита и нарушений ритма сердца, а также вносящий вклад в структуру сердечно-сосудистой смертности. Этиология кальциноза митрального клапана пока является дискуссионным вопросом, однако вклад атеросклероза в его развитие в настоящее время не вызывает сомнений. Распространённость кальциноза митрального клапана варьирует в разных возрастных группах и в среднем выше у людей с заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

Цель — оценка распространённости кальциноза митрального клапана у пациентов, проходящих компьютерную томографическую ангиографию; выявление взаимосвязи между кальцинозом аортального и митрального клапанов и индексом коронарного кальция, а также признаками ремоделирования.

Материалы и методы. Проведено ретроспективное исследование 336 пациентов, проходивших компьютерную томографическую коронароангиографию с внутривенным контрастированием на базе Медицинского научно-образовательного центра Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в период с 13.11.2020 по 14.05.2022.

Результаты. Исследование показало высокую распространённость кальциноза аортального (16,4%) и митрального (11%) клапанов в популяции людей, проходящих обследование сердечно-сосудистой системы, а также наличие взаимосвязи между кальцинозом клапанов и индексом коронарного кальция.

Заключение. Выявление кальциноза митрального клапана у пациентов при рутинном обследовании играет важную роль для прогнозирования дальнейшего лечения и исхода, поскольку кальциноз клапанов является косвенным показателем риска ишемической болезни сердца. Будучи, как правило, случайной находкой при обследовании, кальциноз клапанов может свидетельствовать о наличии у пациента повышенного сердечно-сосудистого риска и должен быть поводом для дополнительного обследования при клинической необходимости.

Ключевые слова: митральный клапан; кальциноз; компьютерная томография; магнитно-резонансная томография; эхокардиография.

Как цитировать:

Филатова Д.А., Мершина Е.А., Плотникова М.Л., Лисицкая М.В., Сеницын В.Е. Кальциноз митрального клапана как важная находка при сердечно-сосудистой визуализации // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 219–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624754>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624754>

Mitral valve calcinosis as an important finding during heart examination

Daria A. Filatova, Elena A. Merzhina, Maria L. Plotnikova, Mariya V. Lisitskaya, Valentin E. Sinitsyn

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Mitral valve calcinosis is a chronic degenerative process in the fibrous structures of the mitral valve. Advanced stages increase the risk of endocarditis and cardiac rhythm disturbances and contribute to cardiovascular mortality. The cause of mitral valve calcinosis is still controversial; however, the contribution of atherosclerosis to its development is currently undisputed. The prevalence of mitral valve calcinosis varies in different age groups and on average is higher in people with cardiovascular disease.

AIM: To assess the prevalence of mitral valve calcinosis in patients undergoing computed tomography angiography and identify the relationship between aortic and mitral valve calcinosis and coronary calcium index and signs of remodeling.

MATERIALS AND METHODS: A retrospective study of 336 patients who underwent computed tomography coronary angiography with intravenous contrast enhancement at the Lomonosov Moscow State University Clinic between November 13, 2020, and May 14, 2022, was conducted.

RESULTS: The prevalence of aortic (16.4%) and mitral (11%) valve calcinosis was high in people undergoing cardiovascular examination, and a relationship was noted between valve calcinosis and coronary calcium index.

CONCLUSION: The detection of mitral valve calcinosis in patients during routine examination is important in predicting further treatment and outcomes because valve calcinosis is an indirect indicator of coronary heart disease risk. Although valve calcinosis is usually an incidental examination finding, it may indicate a high cardiovascular risk and should prompt further evaluation, if clinically necessary.

Keywords: mitral valve; calcinosis; computed tomography; magnetic resonance imaging; echocardiography.

To cite this article:

Filatova DA, Merzhina EA, Plotnikova ML, Lisitskaya MV, Sinitsyn VE. Mitral valve calcinosis as an important finding during heart examination. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):219–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624754>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624754>

二尖瓣钙化作为心血管成像的一个重要发现

Daria A. Filatova, Elena A. Merzhina, Maria L. Plotnikova, Mariya V. Lisitskaya, Valentin E. Sinitsyn

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

摘要

论证。二尖瓣钙化好机会是二尖瓣纤维结构的一种慢性退行性过程。二尖瓣钙化在晚期会增加心内膜炎和心律失常的风险，并导致心血管死亡。二尖瓣钙化的病因仍存在争议。不过，动脉粥样硬化对二尖瓣钙化的发展所起的作用目前是毋庸置疑的。二尖瓣钙化在不同年龄段的发病率各不相同，平均而言，心血管疾病患者的发病率较高。

目的是评估接受计算机断层扫描血管造影术的患者中二尖瓣钙化的发病率；确定主动脉瓣和二尖瓣钙化与冠状动脉钙化指数和重塑迹象之间的关系。

材料和方法。该回顾性研究实对 2020 年 11 月 13 日至 2022 年 5 月 14 日期间在 Medical Scientific and Educational Center, Lomonosov Moscow State University 接受静脉注射造影剂的计算机断层扫描冠状动脉造影术的 336 名患者进行的。

结果。研究显示了，在接受心血管筛查的人群中，主动脉瓣（16.4%）和二尖瓣（11%）钙化的发病率很高，而且瓣膜钙化与冠状动脉钙化指数之间存在关系。

结论。在常规检查中发现患者的二尖瓣钙化对于预测进一步的治疗和结果非常重要，因为瓣膜钙化是冠心病风险的间接指标。虽然瓣膜钙化通常是检查中的偶然发现，但它可能预示着患者的心血管风险增加，临床上有必要时应考虑对其进行进一步评估。

关键词：二尖瓣；钙化；计算机断层扫描；磁共振成像；超声心动图。

引用本文：

Filatova DA, Merzhina EA, Plotnikova ML, Lisitskaya MV, Sinitsyn VE. 二尖瓣钙化作为心血管成像的一个重要发现. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):219–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624754>

收到: 17.12.2023

接受: 24.01.2024

发布日期: 19.06.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Кальциноз митрального клапана (КМК) представляет собой хронический дегенеративный процесс в фиброзном кольце митрального клапана (МК), проявляющийся отложением кальция, чаще в области его задней створки. В качестве отдельного типа поражения МК также выделяют казеозный кальциноз, при котором происходит биохимическая трансформация кальция с образованием масс творожистой консистенции (что объясняет появление названия «казеозный»). Зачастую КМК (обычный или казеозный) ошибочно принимают за новообразование по результатам визуализирующих методик, и потому грамотное применение различных методик является важным для дифференциальной диагностики.

Общая встречаемость КМК оценивается в 13% [1], однако она может варьировать в зависимости от популяции в диапазоне от 4,6% до 15,8% [2]. При этом в группах пациентов с симптомами сердечно-сосудистых заболеваний КМК встречается в 35% случаев [3], а с продвинутой стадией почечной недостаточности — в 36% случаев [1]. Такой большой вариативности способствует тот факт, что КМК чаще всего не вызывает клинических проявлений, а является случайной находкой при обследовании. В ходе Фрамингемского исследования было выявлено, что КМК практически никогда не регистрируется у людей моложе 40 лет [4]. Этот процесс вносит существенный вклад в структуру сердечно-сосудистой заболеваемости и смертности, а также оказывает влияние на результаты сердечно-сосудистой хирургии. В отличие от ревматического поражения, при кальцинозе функция МК обычно существенно не нарушается; тем не менее тяжёлый КМК может приводить к митральной регургитации.

ЦЕЛЬ

Целью данной работы было выявление частоты встречаемости и характеристик КМК и кальциноза аортального клапана (КАК) у пациентов, проходящих обследование на предмет наличия атеросклероза коронарных артерий путём компьютерной томографической (КТ) коронароангиографии, а также поиск возможной связи между этими процессами и изучение влияния кальциноза на функцию МК и морфологию камер сердца.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено ретроспективное обсервационное одно-центровое сплошное исследование, включавшее пациентов, проходивших КТ-коронароангиографию на базе отделения рентгенодиагностики Медицинского научно-образовательного центра Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Критерии соответствия

Критерии включения: пациенты, направленные на КТ-коронароангиографию с контрастированием с целью исключения атеросклероза коронарных артерий.

Критерии не включения:

- состояние после стентирования, шунтирования коронарных артерий (ввиду невозможности оценить кальциевый индекс);
- состояние после протезирования клапанов сердца;
- наличие врождённых пороков и новообразований сердца;
- наличие в анамнезе тяжёлой аллергической реакции на йод-содержащий контрастный препарат;
- тяжёлое состояние пациента, не позволяющее провести исследование диагностического качества.

Критерии исключения: отказ пациента от участия в исследовании.

Продолжительность исследования

Исследование было проведено в период с 13.11.2020 по 14.05.2022.

Описание медицинского вмешательства

Пациентам проводилась синхронизированная с электрокардиограммой КТ-коронароангиография, включавшая два последовательных сканирования: нативное сканирование для определения суммарного кальциевого индекса Агатстона (СКИ) и сканирование в артериальную фазу введения контрастного препарата (использовался йод-содержащий контрастный препарат в дозе 300 мг йода в мл, 1 мл на кг массы тела). Во всех случаях была использована ретроспективная синхронизация с электрокардиограммой, что дало возможность дополнительно визуализировать камеры сердца в различные фазы сердечного сокращения. При анализе полученных изображений использовалась реконструкция коронарных артерий в режиме MPR.

Основной исход исследования

Выявление КМК и КАК, а также кальцинированных бляшек в стенках коронарных артерий.

Дополнительные исходы исследования

Выявление признаков ремоделирования сердца (дилатация левого предсердия).

Анализ в подгруппах

Пациенты были разделены на подгруппы в зависимости от наличия кальциноза клапанов сердца:

- группа КМК;
- группа КАК;
- группа КМК и КАК;
- группа без кальциноза клапанов.

Таблица 1. Частота встречаемости кальциноза клапанов сердца в группе исследования

	КМК	КАК	КМК, КАК	Без кальциноза
Количество пациентов	37	55	13	251
Средний возраст, лет	66,1±8,9	66,7±7,9	67,0±9,7	60,1±11,6
Мужчины/Женщины	16/21	32/23	5/8	149/102
СКИ, ед.	582,3±875,3	435,3±591,4	314,2±215,2	176,5±402,9

Примечание. КАК — кальциноз аортального клапана; КМК — кальциноз митрального клапана; СКИ — суммарный кальциевый индекс.

Кроме того, пациенты были разделены на подгруппы в зависимости от значения СКИ:

- 0 (нет поражения коронарных артерий);
- 1–10 (минимальное поражение);
- 11–100 (незначительное поражение);
- 101–400 (умеренное поражение);
- выше 400 единиц (тяжёлое поражение).

Этическая экспертиза

Проведение исследования одобрено этическим комитетом Медицинского научно-образовательного центра Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова от 24.09.2020.

Статистический анализ

Статистический анализ проведён на базе Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, США). Для анализа полученных данных использованы критерии Краскела–Уоллиса, Манна–Уитни, хи-квадрат. Уровень значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Участники исследования

В исследовании приняли участие 336 пациентов, среди них 195 мужчин (58%). Средний возраст составил 61,1±11,8 года.

Основные результаты исследования

Частота встречаемости КМК в группе исследования составила 11% (37 пациентов), КАК — 16,4% (55 пациентов); у 3,9% (13 пациентов) встречался кальциноз обоих клапанов. У 7 (2,1%) пациентов был отмечен казеозный КМК.

Подробная информация по группам исследования и выявленной частоте встречаемости кальциноза клапанов показана в табл. 1.

При разделении пациентов на группы в зависимости от наличия кальциноза того или иного клапана оказалось, что различия СКИ между ними статистически значимы (анализ проведён с использованием критерия Краскела–Уоллиса, $p < 0,001$): максимальное значение СКИ было получено в группе пациентов с КМК, минимальное — в группе пациентов без кальциноза.

При анализе произвольных таблиц сопряжённости с использованием критерия хи-квадрат была выявлена положительная корреляция между СКИ и частотой встречаемости КМК и КАК ($p < 0,01$) (рис. 1). Тем не менее в случае КАК достоверность связи оказалась ниже, чем в случае КМК.

Выраженность кальциноза клапанов была оценена посредством подсчёта СКИ и ориентировочного объёма кальция; при сопоставлении СКИ коронарных артерий и выраженности кальциноза клапанов (с использованием

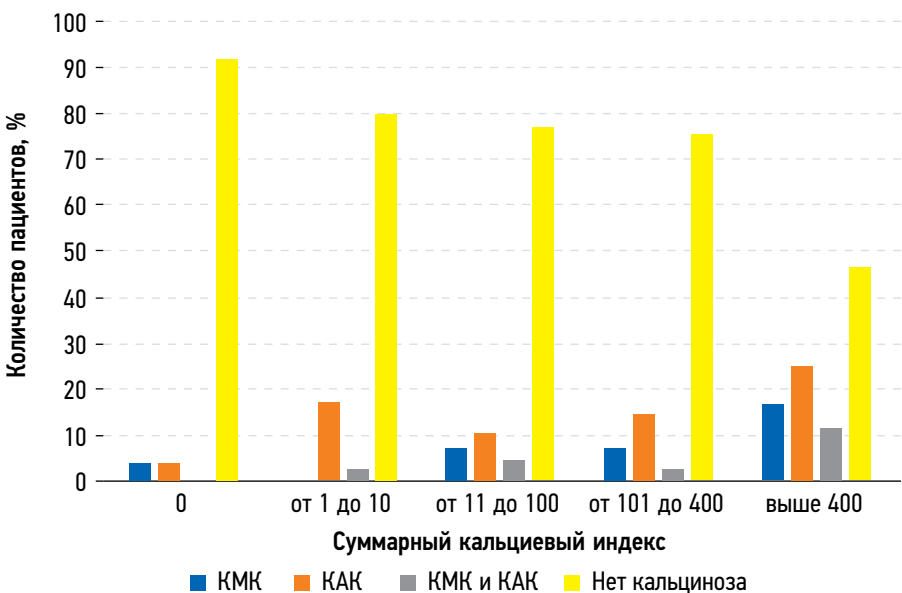


Рис. 1. Количество пациентов с кальцинозом различных клапанов в группах с разным суммарным кальциевым индексом: КМК — кальциноз митрального клапана, КАК — кальциноз аортального клапана.

критерия Манна–Уитни) оказалось, что между этими параметрами не существует значимой взаимосвязи. Эта закономерность соблюдалась как в группе пациентов с КМК, так и в группе с КАК.

Дополнительные результаты исследования

Была исследована возможная ассоциация между увеличением левого предсердия (косвенным фактором наличия митрального порока) и КМК. При анализе с использованием критерия хи-квадрат оказалось, что связь между фактором КМК и исходом в виде увеличения левого предсердия статистически значима ($p=0,002$).

Нежелательные явления

В ходе исследования нежелательных результатов и побочных эффектов от контрастного препарата зарегистрировано не было.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Данные проведённого ретроспективного исследования показали высокую встречаемость КМК и КАК в популяции людей, проходящих обследование сердечно-сосудистой системы методом КТ-коронароангиографии, а также наличие взаимосвязи между кальцинозом клапанов и СКИ; при этом более значимая корреляция отмечалась в случае КМК. Впрочем, выраженность кальциноза оказалась не связана с СКИ коронарных артерий. Кроме того, выявлена взаимосвязь между КМК и дилатацией левого предсердия.

Обсуждение основного результата исследования

Имеются литературные данные о наличии корреляции между КМК, КАК и коронарным атеросклерозом [5]. В свою очередь последний коррелирует с системным атеросклерозом. Полученные в ходе настоящего исследования результаты представляют интерес ввиду того, что КАК оказался не так значимо связан с уровнем СКИ, по сравнению с КМК. Это подчёркивает тот факт, что вероятность кальциноза клапанов сердца определяется не только системным атеросклерозом и его традиционными факторами риска, но и другими условиями. Своевременная диагностика КМК имеет клиническое значение в свете того, что его наличие можно расценивать как предиктор развития атеросклероза и порока МК в будущем.

Патофизиология формирования КМК пока окончательно не выяснена. P.F. Nestico и соавт. описали КМК как хронический дегенеративный ассоциированный с возрастом процесс в волокнистой опорной структуре МК [6]. В первое десятилетие жизни митральное кольцо состоит из параллельных тонких коллагеновых и некоторого количества эластических волокон. С возрастом происходит утолщение и уплотнение коллагеновых волокон, а также

увеличение количества эластических волокон; при этом между коллагеновыми волокнами накапливаются липидные пятна, и в тех же зонах появляются очаги кальцификации. С годами дезориентация коллагеновых волокон усиливается, отложения липидов и кальция увеличиваются в размерах. Известно, что предрасположенными к развитию атеросклероза являются прежде всего области со сниженным напряжением сдвига и повышенной турбулентностью кровотока [7]. Кальцификация и отложение липидов в области митрального кольца являются обычными аутопсийными находками у людей без макроскопической картины КМК [8].

Исследования продемонстрировали значимые сходства между сосудистым атеросклерозом и хроническими дегенеративными изменениями клапанов (митрального и аортального) [9]; триггером для всех этих событий, как правило, является повреждение или дисфункция эндотелия [10]. Более того, в процессе развития кальциноза клапан претерпевает характерные для атеросклероза изменения, в том числе развитие воспаления [11], накопление липидов [12] и активацию матриксных металлопротеиназ [13]. Показано также, что потенциальную роль в развитии кальциноза клапанов может играть ренин-ангиотензин-альдостероновая система [14]. Фокальное накопление кальциевых депозитов и липопротеинов в областях микроповреждений со временем трансформируется в плотные ригидные структуры, формирующие КМК. Кроме того, многочисленные исследования показали существенную корреляцию между выраженностью системного атеросклероза и его факторов риска с КМК [15–17]. Таким образом, ряд исследователей высказывают мнение о том, что КМК и сосудистый атеросклероз являются разными формами одного заболевания.

Тем не менее, важным аспектом понимания патогенеза КМК является то, что, в отличие от классического атеросклероза, который чаще поражает мужчин, КМК чаще встречается у женщин [18], причём именно у них отмечаются более крупные отложения в области митрального кольца. Есть предположение, что формирование внематочных отложений кальция у возрастных женщин связано с тяжёлой потерей костной массы вследствие остеопороза в постменопаузе [19]. Кроме того, показано, что использование бисфосфонатов коррелирует с более низкой распространённостью сердечно-сосудистой кальцификации у женщин в возрасте старше 65 лет [20].

Кроме атеросклероза, нельзя недооценивать роль в развитии КМК состояний, сопровождающихся длительной перегрузкой МК: артериальной гипертензии, аортального стеноза, гипертрофической кардиомиопатии. При этих состояниях пиковое систолическое давление и давление закрытия МК увеличиваются, что приводит к возрастанию нагрузки на митральное кольцо и его дегенерации [21].

Ещё одним важным фактором, предрасполагающим к развитию КМК, является хроническая почечная

недостаточность. Выявлено, что сниженная скорость клубочковой фильтрации, терминальная почечная недостаточность и потребность в гемодиализе коррелируют с частотой встречаемости КМК [22]. Причины данной ассоциации могут быть разными, в их числе большая распространенность факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний и атеросклероза у данной категории пациентов, более тяжёлая коморбидность, а также нарушение кальциево-фосфорного метаболизма [23, 24]. А. Jesri и соавт. продемонстрировали, что почти у 60% пациентов с КМК отмечается снижение скорости клубочковой фильтрации до значений $60 \text{ мл}/(\text{мин} \times 1,73 \text{ м}^2)$ и менее [25]. Интересно, что подобной связи между хронической болезнью почек и КАК найдено не было [26]. К развитию КМК также больше предрасположены люди с некоторыми врождёнными нарушениями, например, с синдромом Марфана, когда возникает системное поражение соединительной ткани и сердечно-сосудистой системы [27].

В ходе Фрамингемского исследования было выявлено, что наличие КМК коррелирует с частотой развития неблагоприятных сердечно-сосудистых событий, а также с сердечно-сосудистой смертностью [28], причём вероятность последних зависит от выраженности КМК [17]. Основной причиной этого является то, что КМК считается одним из маркёров системного атеросклероза и атеросклероза коронарных артерий [29]. Свой вклад в данную взаимосвязь могут вносить также воспалительные, иммунные и метаболические процессы. Показано, что наличие КМК у людей младше 65 лет с болью в грудной клетке — важный независимый предиктор значимого стеноза по крайней мере одной коронарной артерии. У женщин моложе 65 лет отсутствие КМК показано как независимый предиктор отсутствия ишемической болезни сердца [3]. Таким образом, факт выявления КМК у лиц младше 65 лет должен расцениваться клиницистами как значимый маркёр наличия ишемической болезни сердца. Особое значение это имеет у лиц с отсутствием клинической картины данной патологии, чьи факторы риска и образ жизни должны быть скорректированы для уменьшения риска неблагоприятных коронарных событий.

В случае корреляции КМК и инсульта в литературе на сегодняшний день всё не так однозначно. В одних исследованиях (например, J.R. Kizer и соавт. [30]) показано, что такая корреляция есть, в других (C.J. Rodriguez и соавт. [31]) она значительно снижалась после учёта классических факторов риска инсульта. Данные о наличии корреляции между КМК и инсультом можно объяснить тем, что КМК ассоциируется с наличием атеросклеротического поражения коронарных артерий, а также фибрилляцией желудочков [32, 33].

Есть данные о том, что кальциноз может влиять на функцию МК по причине того, что при наличии плотной инфильтрации основания задней створки уменьшается её мобильность. Это в свою очередь увеличивает вероятность элонгации и разрыва хорд, следствием

чего является вторичная митральная регургитация [34]. Что касается эндокардита, то частота его развития при наличии КМК неизвестна. Это редкое, но потенциально летальное состояние проявляется образованием вегетаций на створках МК либо на самом митральном кольце [35].

Ассоциация КМК и нарушений ритма сердца известна давно. Наиболее часто развиваются атриовентрикулярная блокада, блокада ножек пучка Гиса, внутрижелудочковые блокады проведения [36]. В литературе есть данные о том, что в группе пациентов с КМК частота нарушений ритма сердца значительно выше, чем в группе контроля (70% против 34%) [37]. Возможно, это связано с прямым распространением кальцинации на область атриовентрикулярного узла и пучков Гиса. Значимую корреляцию КМК и фибрилляции предсердий связывают также с расширением левого предсердия [38].

С учётом преимущественно бессимптомного течения КМК и его потенциально жизнеугрожающих последствий, важное значение приобретает своевременная диагностика данного состояния. В ряде случаев сложность представляет дифференциальная диагностика КМК с тромбом и новообразованием. Кроме того, часть авторов отмечает, что кальциноз может быть схож по внешнему виду с абсцессом миокарда [39].

Методом первичной диагностики КМК служит эхокардиография (ЭхоКГ): КМК проявляется наличием статичной гиперэхогенной структуры с чёткими краями, обычно в подклапанном пространстве под задней створкой МК. Иногда структура КМК бывает неоднородной, с гипоэхогенными включениями. Кальцинаты крупного размера могут создавать акустическую тень, которая препятствует чёткой визуализации. При наличии типичных характеристик КМК дальнейшее обследование не требуется, однако зачастую чувствительность ЭхоКГ оказывается недостаточной для различения кальция и других плотных структур (например, коллагена). Абсцесс на поздних стадиях своего развития может быть внешне схож с КМК ввиду наличия участков консолидации и кальцификации. Использование магнитно-резонансной томографии (МРТ) и КТ как методов дообследования оправдано в случаях затруднения визуализации при ЭхоКГ, наличия неспецифического повышения уровней маркёров воспаления (что не позволяет исключить абсцесс или новообразование), а также при некоторых других неоднозначных ситуациях.

При МРТ КМК обычно имеет пониженный сигнал на стандартных кино-последовательностях, что порой затрудняет чёткую дифференцировку кальция, прилежащего миокарда и других объёмных образований данной локализации. Сканирование в режиме T2-взвешенных изображений позволяет более чётко дифференцировать КМК от других близлежащих структур; после введения контрастного препарата не выявляется значимая перфузия в раннюю фазу контрастирования, и отсроченное контрастирование — в позднюю фазу (рис. 2, с). Возможно

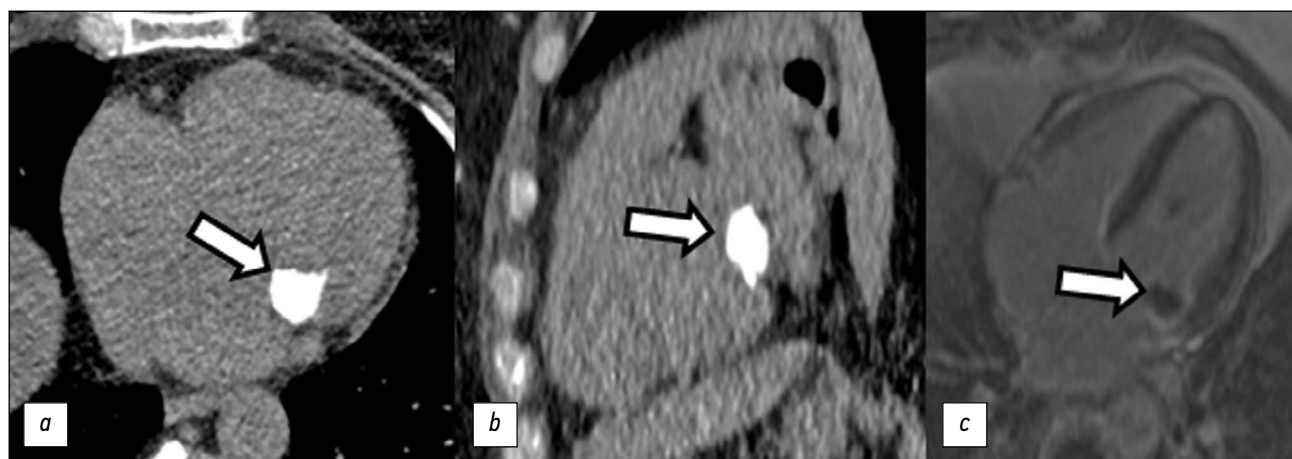


Рис. 2. Пациентка, 65 лет. Кальциноз митрального клапана по данным различных визуализирующих методик: *a, b* — компьютерная томография (аксиальная и сагиттальная проекции, без контрастирования); *c* — магнитно-резонансная томография (четырёхкамерная проекция по длинной оси, режим отсроченного контрастного усиления).

обнаружение тонкого ободка контрастирования по периферии в отсроченную фазу. Отсутствие васкуляризации и некроза в центральной части позволяет отличить КМК от доброкачественного или злокачественного новообразования. В отличие от КМК, центральная часть которого имеет на T1- и T2-взвешенных изображениях гипоинтенсивный сигнал, при миксеме и липоме отмечается гиперинтенсивность, что объясняется наличием муцина или жира в структуре стромы [40]. МР-признаки абсцессов миокарда зависят от стадии, однако чаще всего они представляют собой образования с гиперинтенсивным сигналом в центре и гипоинтенсивным — по периферии. Тем не менее чувствительность и специфичность МРТ не всегда достаточны для однозначной дифференциальной диагностики КМК с тромбом и опухолью; в качестве метода дообследования в этих случаях применяется КТ.

При проведении КТ КМК однозначно выявляется как гиперденсная структура без признаков накопления контрастного препарата с аваскулярным «мягким» центром; иногда по периферии визуализируется фиброзная капсула с неравномерными плотными включениями кальция [41] (см. рис. 2, *a, b*). КТ позволяет определять локализацию КМК, его величину и влияние на функцию клапана. Количественно оценить КМК можно с помощью подсчёта СИ.

Таким образом, для постановки однозначного диагноза в случае КМК рекомендуется использование мультимодального подхода: методом первой линии является ЭхоКГ, в случае получения неоднозначных результатов обследование должно быть дополнено проведением как МРТ, так и КТ. Стоит отметить, что использование различных методов визуализации позволяет не только поставить чёткий диагноз, но и даёт важную информацию о других состояниях пациента (атеросклерозе коронарных артерий, стенозе клапана, снижении сократительной функции желудочков, участках гипо- или дискинеза и др.), что может повлиять на тактику его ведения.

Ограничения исследования

К ограничениям исследования относится анализ исключительно кальцинированных бляшек коронарных артерий, без учёта мягких бляшек. Анализ корреляции степени стенозов коронарных артерий, а также мягких бляшек будет проведён на следующем этапе исследования. Кроме того, среди ограничений следует отметить отсутствие клинических данных, а также данных ЭхоКГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

КМК часто встречается в популяции, обычно в бессимптомной форме. Этиология данного состояния в настоящее время не вполне ясна, однако не вызывает сомнения его ассоциация с системным атеросклерозом. Ввиду наличия ассоциации КМК с атеросклерозом и пороком МК ранняя диагностика этого состояния приобретает важное клиническое значение для профилактики потенциально опасных состояний.

В ходе настоящего исследования была выявлена высокая частота встречаемости кальциноза клапанов в популяции (частота КМК составила 11%, частота КАК — 16,4%, кальциноз обоих клапанов встречался в 3,9% случаев), а также корреляция между кальцинозом клапанов и коронарных артерий, при этом более выраженная взаимосвязь отмечалась в случае МК. Кроме того, была выявлена взаимосвязь между КМК и дилатацией левого предсердия.

Зачастую возникают сложности при проведении дифференциальной диагностики КМК с новообразованиями сердца, тромбозом и некоторыми другими состояниями. Первичным методом диагностики КМК является ЭхоКГ, однако данная патология часто может быть ошибочно принята за новообразование или тромбоз. Именно поэтому при получении недостаточного количества информации рекомендовано проводить дообследование в объёме МРТ и КТ сердца. Рекомендуется комплексный подход

и грамотное наблюдение за пациентами с КМК и сопутствующими состояниями, в том числе кальцинозом других клапанов сердца.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках Государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова (тема 0708 «Применение новых функциональных и перфузионных методик КТ и МРТ для улучшения диагностики»).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: Д.А. Филатова — формирование группы исследования, проведение статистического анализа данных, написание текста статьи; Е.А. Мершина — разработка концепции исследования, редактирование текста статьи; М.Л. Плотникова — редактирование текста статьи; М.В. Лисицкая — разработка концепции

исследования, редактирование текста статьи; В.Е. Синицын — разработка концепции исследования, утверждение окончательного варианта текста.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The work was performed within the framework of the State assignment of Lomonosov Moscow State University (theme 0708 “Application of new functional and perfusion CT and MRI techniques to improve diagnostics”).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

D.A. Filatova — forming the research group, conducting data statistical analysis, writing the text of the article; E.A. Meršina — developing the research concept, editing the text of the article; M.L. Plotnikova — editing the text of the article; M.V. Lisitskaya — development of the research concept, editing the text of the article; V.E. Sinitsyn — development of the research concept, approval of the final version of the text.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maher E.R., Young G., Smyth-Walsh B., Pugh S., Curtis J.R. Aortic and mitral valve calcification in patients with end-stage renal disease // *Lancet*. 1987. Vol. 330, N 8564. P. 875–877. doi: 10.1016/s0140-6736(87)91370-5
2. Fox E., Harkins D., Taylor H., et al. Epidemiology of mitral annular calcification and its predictive value for coronary events in African Americans: the Jackson Cohort of the Atherosclerotic Risk in Communities Study // *Am. Heart J.* 2004. Vol. 148, N 6. P. 979–984. doi: 10.1016/j.ahj.2004.05.048
3. Atar S., Jeon D.S., Luo H., Siegel R.J. Mitral annular calcification: a marker of severe coronary artery disease in patients under 65 years old // *Heart*. 2003. Vol. 89, N 2. P. 161–164. doi: 10.1136/heart.89.2.161
4. Savage D.D., Garrison R.J., Castelli W.P., et al. Prevalence of submitral (anular) calcium and its correlates in a general population-based sample (the Framingham Study) // *Am. J. Cardiol.* 1983. Vol. 51, N 8. P. 1375–1378. doi: 10.1016/0002-9149(83)90315-6
5. Barasch E., Gottdiener J.S., Larsen E.K.M., et al. Clinical significance of calcification of the fibrous skeleton of the heart and atherosclerosis in community dwelling elderly. The Cardiovascular Health Study (CHS) // *Am. Heart J.* 2006. Vol. 151, N 1. P. 39–47. doi: 10.1016/j.ahj.2005.03.052
6. Nestico P.F., Depace N.L., Morganroth J., Kotler M.N., Ross J. Mitral annular calcification: clinical, pathophysiology, and echocardiographic review // *Am. Heart J.* 1984. Vol. 107, N 5 Pt 1. P. 989–996. doi: 10.1016/0002-8703(84)90840-8
7. Stary H.C., Blankenhorn D.H., Chandler A.B., et al. A definition of the intima of human arteries and of its atherosclerosis-prone regions. A report from the Committee on Vascular Lesions of the Council on Arteriosclerosis, American Heart Association // *Arterioscler. Thromb. J. Vasc. Biol.* 1992. Vol. 12, N 1. P. 120–134. doi: 10.1161/01.atv.12.1.120
8. Allison M.A., Cheung P., Criqui M.H., Langer R.D., Wright C.M. Mitral and Aortic Annular Calcification Are Highly Associated With Systemic Calcified Atherosclerosis // *Circulation*. 2006. Vol. 113, N 6. P. 861–866. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.552844
9. Otto C.M., Kuusisto J., Reichenbach D.D., Gown A.M., O'Brien K.D. Characterization of the early lesion of “degenerative” valvular aortic stenosis. Histological and immunohistochemical studies // *Circulation*. 1994. Vol. 90, N 2. P. 844–853. doi: 10.1161/01.cir.90.2.844
10. Mohler E.R. Mechanisms of aortic valve calcification // *Am. J. Cardiol.* 2004. Vol. 94, N 11. P. 1396–1402. doi: 10.1016/j.amjcard.2004.08.013
11. Shahi C.N., Ghaisas N.K., Goggins M., et al. Elevated levels of circulating soluble adhesion molecules in patients with nonrheumatic aortic stenosis // *Am. J. Cardiol.* 1997. Vol. 79, N 7. P. 980–982. doi: 10.1016/s0002-9149(97)00027-1
12. Olsson M., Thyberg J., Nilsson J. Presence of oxidized low density lipoprotein in nonrheumatic stenotic aortic valves // *Arterioscler. Thromb. J. Vasc. Biol.* 1999. Vol. 19, N 5. P. 1218–1222. doi: 10.1161/01.atv.19.5.1218
13. Edep M.E., Shirani J., Wolf P., Brown D.L. Matrix metalloproteinase expression in nonrheumatic aortic stenosis // *Cardiovasc. Pathol.* 2000. Vol. 9, N 5. P. 281–286. doi: 10.1016/s1054-8807(00)00043-0
14. O'Brien K.D., Shavell D.M., Caulfield M.T., et al. Association of Angiotensin-Converting Enzyme With Low-Density Lipoprotein in Aortic Valvular Lesions and in Human Plasma // *Circulation*. 2002. Vol. 106, N 17. P. 2224–2230. doi: 10.1161/01.CIR.0000035655.45453.D2
15. Pohle K., Otte M., Mäffert R., et al. Association of cardiovascular risk factors to aortic valve calcification as quantified by electron

- beam computed tomography // *Mayo Clin. Proc.* 2004. Vol. 79, N 10. P. 1242–1246. doi: 10.4065/79.10.1242
16. Wong N.D., Sciammarella M., Arad Y., et al. Relation of thoracic aortic and aortic valve calcium to coronary artery calcium and risk assessment // *Am. J. Cardiol.* 2003. Vol. 92, N 8. P. 951–955. doi: 10.1016/s0002-9149(03)00976-7
 17. Fox C.S., Vasan R.S., Parise H., et al. Mitral Annular Calcification Predicts Cardiovascular Morbidity and Mortality // *Circulation.* 2003. Vol. 107, N 11. P. 1492–1496. doi: 10.1161/01.CIR.0000058168.26163.BC
 18. Tenenbaum A., Fisman E.Z., Pines A., et al. Gender paradox in cardiac calcium deposits in middle-aged and elderly patients: mitral annular and coronary calcifications interrelationship // *Maturitas.* 2000. Vol. 36, N 1. P. 35–42. doi: 10.1016/s0378-5122(00)00120-1
 19. Sugihara N., Matsuzaki M. The influence of severe bone loss on mitral annular calcification in postmenopausal osteoporosis of elderly Japanese women // *Jpn. Circ. J.* 1993. Vol. 57, N 1. P. 14–26. doi: 10.1253/jcj.57.14
 20. Elmariah S., Delaney J.A.C., O'Brien K.D., et al. Bisphosphonate Use and Prevalence of Valvular and Vascular Calcification in Women MESA (The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis) // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2010. Vol. 56, N 21. P. 1752–1759. doi: 10.1016/j.jacc.2010.05.050
 21. Elmariah S., Delaney J.A.C., Bluemke D.A., et al. Associations of LV hypertrophy with prevalent and incident valve calcification: Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis // *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2012. Vol. 5, N 8. P. 781–788. doi: 10.1016/j.jcmg.2011.12.025
 22. Adler Y., Koren A., Fink N., et al. Association between mitral annulus calcification and carotid atherosclerotic disease // *Stroke.* 1998. Vol. 29, N 9. P. 1833–1837. doi: 10.1161/01.str.29.9.1833
 23. Umana E., Ahmed W., Alpert M.A. Valvular and perivalvular abnormalities in end-stage renal disease // *Am. J. Med. Sci.* 2003. Vol. 325, N 4. P. 237–242. doi: 10.1097/00000441-200304000-00010
 24. Alfrey A.C. The role of abnormal phosphorus metabolism in the progression of chronic kidney disease and metastatic calcification // *Kidney Int. Suppl.* 2004. N 90. P. S13–S17. doi: 10.1111/j.1523-1755.2004.09003.x
 25. Jesri A., Braitman L.E., Pressman G.S. Severe mitral annular calcification predicts chronic kidney disease // *Int. J. Cardiol.* 2008. Vol. 128, N 2. P. 193–196. doi: 10.1016/j.ijcard.2007.05.015
 26. Ribeiro S., Ramos A., Brandão A., et al. Cardiac valve calcification in haemodialysis patients: role of calcium-phosphate metabolism // *Nephrol. Dial. Transplant.* 1998. Vol. 13, N 8. P. 2037–2040. doi: 10.1093/ndt/13.8.2037
 27. Correia J., Rodrigues D., da Silva A.M., Sá e Melo A., Providência L.A. Massive calcification of the mitral valve annulus in an adolescent with Marfan syndrome. A case report // *Rev. Port. Cardiol.* 2006. Vol. 25, N 10. P. 921–926.
 28. Völzke H., Haring R., Lörcher R., et al. Heart valve sclerosis predicts all-cause and cardiovascular mortality // *Atherosclerosis.* 2010. Vol. 209, N 2. P. 606–610. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2009.10.030
 29. Tenenbaum A., Shemesh J., Fisman E.Z., Motro M. Advanced mitral annular calcification is associated with severe coronary calcification on fast dual spiral computed tomography // *Invest. Radiol.* 2000. Vol. 35, N 3. P. 193–198. doi: 10.1097/00004424-200003000-00006
 30. Kizer J.R., Wiebers D.O., Whisnant J.P., et al. Mitral annular calcification, aortic valve sclerosis, and incident stroke in adults free of clinical cardiovascular disease: the Strong Heart Study // *Stroke.* 2005. Vol. 36, N 12. P. 2533–2537. doi: 10.1161/01.STR.0000190005.09442.ad
 31. Rodriguez C.J., Bartz T.M., Longstreth W.T., et al. Association of annular calcification and aortic valve sclerosis with brain findings on magnetic resonance imaging in community dwelling older adults: the cardiovascular health study // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2011. Vol. 57, N 21. P. 2172–2180. doi: 10.1016/j.jacc.2011.01.034
 32. O'Neal W.T., Efirid J.T., Nazarian S., et al. Mitral annular calcification and incident atrial fibrillation in the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis // *EP Europace.* 2015. Vol. 17, N 3. P. 358–363. doi: 10.1093/europace/euu265
 33. Willens H.J., Ferreira A.C., Gallagher A.J., Morytko J.A. Mobile components associated with rapidly developing mitral annulus calcification in patients with chronic renal failure: review of mobile elements associated with mitral annulus calcification // *Echocardiogr.* 2003. Vol. 20, N 4. P. 363–367. doi: 10.1046/j.1540-8175.2003.03042.x
 34. Movahed M.R., Saito Y., Ahmadi-Kashani M., Ebrahimi R. Mitral Annulus Calcification is associated with valvular and cardiac structural abnormalities // *Cardiovasc. Ultrasound.* 2007. Vol. 5, N 1. P. 14. doi: 10.1186/1476-7120-5-14
 35. Vistarini N., d'Alessandro C., Aubert S., et al. Surgery for infective endocarditis on mitral annulus calcification // *J. Heart Valve Dis.* 2007. Vol. 16, N 6. P. 611–616.
 36. Fulkerson P.K., Beaver B.M., Auseon J.C., Graber H.L. Calcification of the mitral annulus: Etiology, clinical associations, complications and therapy // *Am. J. Med.* 1979. Vol. 66, N 6. P. 967–977. doi: 10.1016/0002-9343(79)90452-2
 37. Takamoto T., Popp R.L. Conduction disturbances related to the site and severity of mitral annular calcification: A 2-dimensional echocardiographic and electrocardiographs correlative study // *Am. J. Cardiol.* 1983. Vol. 51, N 10. P. 1644–1649. doi: 10.1016/0002-9149(83)90202-3
 38. Pekdemir H., Cansel M., Yağmur J., et al. Assessment of atrial conduction time by tissue Doppler echocardiography and P-wave dispersion in patients with mitral annulus calcification // *J. Electrocardiol.* 2010. Vol. 43, N 4. P. 339–343. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2010.02.013
 39. Sveric K.M., Platzek I., Golgor E., et al. Purposeful use of multimodality imaging in the diagnosis of caseous mitral annular calcification: a case series report // *BMC Med. Imaging.* 2022. Vol. 22. P. 7. doi: 10.1186/s12880-021-00725-x
 40. Tyebally S., Chen D., Bhattacharyya S., et al. Cardiac Tumors: JACC CardioOncology State-of-the-Art Review // *JACC CardioOncology.* 2020. Vol. 2, N 2. P. 293–311. doi: 10.1016/j.jacc.2020.05.009
 41. Mayr A., Müller S., Feuchtnner G. The Spectrum of Caseous Mitral Annulus Calcifications // *JACC Case Rep.* 2020. Vol. 3, N 1. P. 104–108. doi: 10.1016/j.jaccas.2020.09.039

REFERENCES

1. Maher ER, Young G, Smyth-Walsh B, Pugh S, Curtis JR. Aortic and mitral valve calcification in patients with end-stage renal disease. *Lancet*. 1987;330(8564):875–877. doi: 10.1016/s0140-6736(87)91370-5
2. Fox E, Harkins D, Taylor H, et al. Epidemiology of mitral annular calcification and its predictive value for coronary events in African Americans: the Jackson Cohort of the Atherosclerotic Risk in Communities Study. *Am. Heart J.* 2004;148(6):979–984. doi: 10.1016/j.ahj.2004.05.048
3. Atar S, Jeon DS, Luo H, Siegel RJ. Mitral annular calcification: a marker of severe coronary artery disease in patients under 65 years old. *Heart*. 2003;89(2):161–164. doi: 10.1136/heart.89.2.161
4. Savage DD, Garrison RJ, Castelli WP, et al. Prevalence of submitral (anular) calcium and its correlates in a general population-based sample (the Framingham Study). *Am. J. Cardiol.* 1983;51(8):1375–1378. doi: 10.1016/0002-9149(83)90315-6
5. Barasch E, Gottdiener JS, Larsen EKM, et al. Clinical significance of calcification of the fibrous skeleton of the heart and atherosclerosis in community dwelling elderly. The Cardiovascular Health Study (CHS). *Am. Heart J.* 2006;151(1):39–47. doi: 10.1016/j.ahj.2005.03.052
6. Nestico PF, Depace NL, Morganroth J, Kotler MN, Ross J. Mitral annular calcification: clinical, pathophysiology, and echocardiographic review. *Am. Heart J.* 1984;107(5 Pt 1):989–996. doi: 10.1016/0002-8703(84)90840-8
7. Stary HC, Blankenhorn DH, Chandler AB, et al. A definition of the intima of human arteries and of its atherosclerosis-prone regions. A report from the Committee on Vascular Lesions of the Council on Arteriosclerosis, American Heart Association. *Arterioscler. Thromb. J. Vasc. Biol.* 1992;12(1):120–134. doi: 10.1161/01.atv.12.1.120
8. Allison MA, Cheung P, Criqui MH, Langer RD, Wright CM. Mitral and Aortic Annular Calcification Are Highly Associated With Systemic Calcified Atherosclerosis. *Circulation*. 2006;113(6):861–866. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.552844
9. Otto CM, Kuusisto J, Reichenbach DD, Gown AM, O'Brien KD. Characterization of the early lesion of "degenerative" valvular aortic stenosis. Histological and immunohistochemical studies. *Circulation*. 1994;90(2):844–853. doi: 10.1161/01.cir.90.2.844
10. Mohler ER. Mechanisms of aortic valve calcification. *Am. J. Cardiol.* 2004;94(11):1396–1402. doi: 10.1016/j.amjcard.2004.08.013
11. Shahi CN, Ghaisas NK, Goggins M, et al. Elevated levels of circulating soluble adhesion molecules in patients with nonrheumatic aortic stenosis. *Am. J. Cardiol.* 1997;79(7):980–982. doi: 10.1016/s0002-9149(97)00027-1
12. Olsson M, Thyberg J, Nilsson J. Presence of oxidized low density lipoprotein in nonrheumatic stenotic aortic valves. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 1999;19(5):1218–1222. doi: 10.1161/01.atv.19.5.1218
13. Edep ME, Shirani J, Wolf P, Brown DL. Matrix metalloproteinase expression in nonrheumatic aortic stenosis. *Cardiovasc. Pathol.* 2000;9(5):281–286. doi: 10.1016/s1054-8807(00)00043-0
14. O'Brien KD, Shavelle DM, Caulfield MT, et al. Association of Angiotensin-Converting Enzyme With Low-Density Lipoprotein in Aortic Valvular Lesions and in Human Plasma. *Circulation*. 2002;106(17):2224–2230. doi: 10.1161/01.CIR.0000035655.45453.D2
15. Pohle K, Otte M, Mäffert R, et al. Association of cardiovascular risk factors to aortic valve calcification as quantified by electron beam computed tomography. *Mayo Clin. Proc.* 2004;79(10):1242–1246. doi: 10.4065/79.10.1242
16. Wong ND, Sciammarella M, Arad Y, et al. Relation of thoracic aortic and aortic valve calcium to coronary artery calcium and risk assessment. *Am. J. Cardiol.* 2003;92(8):951–955. doi: 10.1016/s0002-9149(03)00976-7
17. Fox CS, Vasan RS, Parise H, et al. Mitral Annular Calcification Predicts Cardiovascular Morbidity and Mortality. *Circulation*. 2003;107(11):1492–1496. doi: 10.1161/01.CIR.0000058168.26163.BC
18. Tenenbaum A, Fisman EZ, Pines A, et al. Gender paradox in cardiac calcium deposits in middle-aged and elderly patients: mitral annular and coronary calcifications interrelationship. *Maturitas*. 2000;36(1):35–42. doi: 10.1016/s0378-5122(00)00120-1
19. Sugihara N, Matsuzaki M. The influence of severe bone loss on mitral annular calcification in postmenopausal osteoporosis of elderly Japanese women. *Jpn. Circ. J.* 1993;57(1):14–26. doi: 10.1253/jcj.57.14
20. Elmariah S, Delaney JAC, O'Brien KD, et al. Bisphosphonate Use and Prevalence of Valvular and Vascular Calcification in Women MESA (The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). *J. Am. Coll. Cardiol.* 2010;56(21):1752–1759. doi: 10.1016/j.jacc.2010.05.050
21. Elmariah S, Delaney JAC, Bluemke DA, et al. Associations of LV hypertrophy with prevalent and incident valve calcification: Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2012;5(8):781–788. doi: 10.1016/j.jcmg.2011.12.025
22. Adler Y, Koren A, Fink N, et al. Association between mitral annulus calcification and carotid atherosclerotic disease. *Stroke*. 1998;29(9):1833–1837. doi: 10.1161/01.str.29.9.1833
23. Umana E, Ahmed W, Alpert MA. Valvular and perivalvular abnormalities in end-stage renal disease. *Am. J. Med. Sci.* 2003;325(4):237–242. doi: 10.1097/00000441-200304000-00010
24. Alfrey AC. The role of abnormal phosphorus metabolism in the progression of chronic kidney disease and metastatic calcification. *Kidney Int. Suppl.* 2004;(90):S13–S17. doi: 10.1111/j.1523-1755.2004.09003.x
25. Jesri A, Braitman LE, Pressman GS. Severe mitral annular calcification predicts chronic kidney disease. *Int. J. Cardiol.* 2008;128(2):193–196. doi: 10.1016/j.ijcard.2007.05.015
26. Ribeiro S, Ramos A, Brandão A, et al. Cardiac valve calcification in haemodialysis patients: role of calcium-phosphate metabolism. *Nephrol. Dial. Transplant.* 1998;13(8):2037–2040. doi: 10.1093/ndt/13.8.2037
27. Correia J, Rodrigues D, da Silva AM, Sá e Melo A, Providência LA. Massive calcification of the mitral valve annulus in an adolescent with Marfan syndrome. A case report. *Rev. Port. Cardiol.* 2006;25(10):921–926.
28. Völzke H, Haring R, Lörbe R, et al. Heart valve sclerosis predicts all-cause and cardiovascular mortality. *Atherosclerosis*. 2010;209(2):606–610. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2009.10.030
29. Tenenbaum A, Shemesh J, Fisman EZ, Motro M. Advanced mitral annular calcification is associated with severe coronary calcification on fast dual spiral computed tomography. *Invest. Radiol.* 2000;35(3):193–198. doi: 10.1097/00004424-200003000-00006
30. Kizer JR, Wiebers DO, Whisnant JP, et al. Mitral annular calcification, aortic valve sclerosis, and incident stroke in adults free of clinical cardiovascular disease: the Strong Heart Study. *Stroke*. 2005;36(12):2533–2537. doi: 10.1161/01.STR.0000190005.09442.ad
31. Rodriguez CJ, Bartz TM, Longstreth WT, et al. Association of annular calcification and aortic valve sclerosis with brain findings on

magnetic resonance imaging in community dwelling older adults: the cardiovascular health study. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2011;57(21):2172–2180. doi: 10.1016/j.jacc.2011.01.034

32. O'Neal WT, Eford JT, Nazarian S, et al. Mitral annular calcification and incident atrial fibrillation in the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *EP Europace.* 2015;17(3):358–363. doi: 10.1093/europace/euu265

33. Willens HJ, Ferreira AC, Gallagher AJ, Morytko JA. Mobile components associated with rapidly developing mitral annulus calcification in patients with chronic renal failure: review of mobile elements associated with mitral annulus calcification. *Echocardiogr.* 2003;20(4):363–367. doi: 10.1046/j.1540-8175.2003.03042.x

34. Movahed MR, Saito Y, Ahmadi-Kashani M, Ebrahimi R. Mitral Annulus Calcification is associated with valvular and cardiac structural abnormalities. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2007;5(1):14. doi: 10.1186/1476-7120-5-14

35. Vistarini N, d'Alessandro C, Aubert S, et al. Surgery for infective endocarditis on mitral annulus calcification. *J. Heart Valve Dis.* 2007;16(6):611–616.

36. Fulkerson PK, Beaver BM, Auseon JC, Graber HL. Calcification of the mitral annulus: Etiology, clinical associations,

complications and therapy. *Am. J. Med.* 1979;66(6):967–977. doi: 10.1016/0002-9343(79)90452-2

37. Takamoto T, Popp RL. Conduction disturbances related to the site and severity of mitral annular calcification: A 2-dimensional echocardiographic and electrocardiographs correlative study. *Am. J. Cardiol.* 1983;51(10):1644–1649. doi: 10.1016/0002-9149(83)90202-3

38. Pekdemir H, Cansel M, Yağmur J, et al. Assessment of atrial conduction time by tissue Doppler echocardiography and P-wave dispersion in patients with mitral annulus calcification. *J. Electrocardiol.* 2010;43(4):339–343. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2010.02.013

39. Sveric KM, Platzek I, Golgor E, et al. Purposeful use of multimodality imaging in the diagnosis of caseous mitral annular calcification: a case series report. *BMC Med. Imaging.* 2022;22:7. doi: 10.1186/s12880-021-00725-x

40. Tyebally S, Chen D, Bhattacharyya S, et al. Cardiac Tumors: JACC CardioOncology State-of-the-Art Review. *JACC CardioOncology.* 2020;2(2):293–311. doi: 10.1016/j.jacc.2020.05.009

41. Mayr A, Müller S, Feuchtnner G. The Spectrum of Caseous Mitral Annulus Calcifications. *JACC Case Rep.* 2020;3(1):104–108. doi: 10.1016/j.jaccas.2020.09.039

ОБ АВТОРАХ

* Филатова Дарья Андреевна;

адрес: Россия, 119991, г. Москва, Ломоносовский пр-т, д. 27, корп. 10;

ORCID: 0000-0002-0894-1994;

eLibrary SPIN: 2665-5973;

e-mail: dariafilatova.msu@mail.ru

Мершина Елена Александровна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-1266-4926;

eLibrary SPIN: 6897-9641;

e-mail: elena_mershina@mail.ru

Плотникова Мария Леонидовна;

ORCID: 0000-0001-7533-9867;

eLibrary SPIN: 1857-0770;

e-mail: maria_plotnikova@inbox.ru

Лисицкая Мария Валерьевна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-8402-7643;

eLibrary SPIN: 2301-8480;

e-mail: lissenok@inbox.ru

Синицын Валентин Евгеньевич, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-5649-2193;

eLibrary SPIN: 8449-6590;

e-mail: vsini@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Daria A. Filatova, MD;

address: 27/10 Lomonosovsky av, 119991,

Moscow, Russia;

ORCID: 0000-0002-0894-1994;

eLibrary SPIN: 2665-5973;

e-mail: dariafilatova.msu@mail.ru

Elena A. Mershina, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-1266-4926;

eLibrary SPIN: 6897-9641;

e-mail: elena_mershina@mail.ru

Maria L. Plotnikova, MD;

ORCID: 0000-0001-7533-9867;

eLibrary SPIN: 1857-0770;

e-mail: maria_plotnikova@inbox.ru

Mariya V. Lisitskaya, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-8402-7643;

eLibrary SPIN: 2301-8480;

e-mail: lissenok@inbox.ru

Valentin E. Sinitsyn, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-5649-2193;

eLibrary SPIN: 8449-6590;

e-mail: vsini@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624586>

Роль телерадиологии в интерпретации изображений, полученных при проведении ультразвукового исследования в условиях неотложной медицинской помощи

A. Kalyanpur¹, N. Mathur²¹ Teleradiology Solutions, Бангалор, Индия;² Image Core Lab, Бангалор, Индия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Телерадиология — важный инструмент в условиях неотложной медицинской помощи, особенно при интерпретации изображений, полученных в ходе проведения ультразвуковых исследований. В чрезвычайных ситуациях, когда время имеет решающее значение, своевременная диагностика и лечение могут стать решающим фактором в спасении жизни пациентов. Телерадиология — инновационная альтернатива, позволяющая расширить кадровый состав и устранить нехватку радиологов, работающих в отделениях неотложной помощи в штатном режиме или в сверхурочное время.

Цель — оценить эффективность и влияние телерадиологии на интерпретацию изображений, полученных в ходе проведения ультразвуковых исследований, в условиях неотложной медицинской помощи.

Материалы и методы. Проведено ретроспективное исследование, в котором приняли участие 33 616 пациентов из 86 больниц США, обратившихся за медицинской помощью в период с января по декабрь 2022 года. Сертифицированные специалисты Американского радиологического общества — официального провайдера телерадиологических услуг со штаб-квартирой в Бангалоре (Индия) — выполнили радиологическую оценку 37 253 изображений, полученных при проведении ультразвукового исследования в условиях неотложной медицинской помощи.

Результаты. Предложенная модель телемедицинской помощи обеспечила своевременную и качественную интерпретацию 37 253 снимков ультразвукового исследования пациентов со средним временем выполнения 35,71 мин (95% доверительный интервал 35,50–35,91).

Заключение. Данное исследование демонстрирует, что структурированная программа дистанционного ультразвукового исследования с установленными протоколами получения изображений, их передачи и последующей коммуникации между участниками процесса позволяет оперативно обмениваться данными в условиях неотложной медицинской помощи.

Ключевые слова: телерадиология; неотложная медицинская помощь; ультразвуковое исследование; время получения результатов; здравоохранение.

Как цитировать:

Kalyanpur A., Mathur N. Роль телерадиологии в интерпретации изображений, полученных при проведении ультразвукового исследования в условиях неотложной медицинской помощи // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 231–242. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624586>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624586>

Role of teleradiology in the interpretation of ultrasound images acquired in the emergency setting

Arjun Kalyanpur¹, Neetika Mathur²

¹ Teleradiology Solutions, Bangalore, India;

² Image Core Lab, Bangalore, India

ABSTRACT

BACKGROUND: Teleradiology has become an important tool in emergency medicine, particularly in the interpretation of emergency ultrasonography. In emergency situations, where time is essential, rapid diagnosis and treatment can mean the difference between life and death. Teleradiology is an innovative alternative to augment the staffing and fill the gaps of onsite radiology personnel in emergency departments or during off-hours.

AIM: To assess the effectiveness/impact of teleradiology in emergency ultrasound interpretation.

MATERIALS AND METHODS: A retrospective study was performed in a cohort of 33,616 patients from 86 hospitals across the USA between January and December 2022. The study involved radiological interpretations of 37,253 ultrasound images acquired in the emergency setting by American Board Certified Radiologists empaneled by a teleradiology service provider, headquartered in Bangalore, India.

RESULTS: The proposed telehealth model provided timely and quality reporting of 37,253 scans of patients with a mean turnaround time of 35.71 min (95% confidence interval 35.50–35.91).

CONCLUSION: This study demonstrates that a structured teleultrasonography program with defined protocols for image capture, transmission, and clinical communication can allow for successful immediate reporting of ultrasound data in the emergency care setting.

Keywords: teleradiology; emergency; ultrasound; turnaround time; healthcare.

To cite this article:

Kalyanpur A, Mathur N. Role of teleradiology in the interpretation of ultrasound images acquired in the emergency setting. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):231–242. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624586>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624586>

远程放射学在急诊超声图像解读中的作用

Arjun Kalyanpur¹, Neetika Mathur²

¹ Teleradiology Solutions, Bangalore, India;

² Image Core Lab, Bangalore, India

摘要

论证。远程放射学是急诊医疗环境中的一项重要工具，尤其是在解读超声波图像时。在时间紧迫的紧急情况下，及时诊断和治疗是挽救病人生命的关键因素。远程放射学是一种创新的替代方法，可以扩大人员编制，解决急诊科放射科医生正常工作或加班不足的问题。

目的是评估远程放射学对急症护理环境中超声波图像解读的效果和影响。

材料和方法。这项回顾性研究涉及 2022 年 1 月至 12 月期间在美国 86 家医院就诊的 33 616 名患者。美国放射学会（总部位于印度班加罗尔的远程放射学服务官方提供商）的认证专家对急诊超声检查中获得的 37 253 张图像进行了放射学评估。

结果。拟议的远程医疗护理模式为 37 253 名患者提供了及时、高质量的超声图像解读，平均周转时间为 35.71 分钟（95% 置信区间为 35.50–35.91）。

结论。这项研究表明，结构化远程超声计划具有既定的图像采集、传输和参与者之间后续沟通的协议，能够在急症护理环境中实现快速的数据共享。

关键词：远程放射学；紧急医疗护理；超声检查；得出结果的时间；卫生保健。

引用本文：

Kalyanpur A, Mathur N. 远程放射学在急诊超声图像解读中的作用. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):231–242. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624586>

收到: 15.12.2023

接受: 24.01.2024

发布日期: 17.07.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Телерадиология представляет собой способ воплощения инновационных идей в здравоохранении и эффективного оказания медицинской помощи, а также является примером успешного развития телемедицины [1]. Эта быстро развивающаяся область включает передачу радиологических изображений из одного места в другое для последующей интерпретации радиологом [2]. Телерадиология — незаменимый инструмент в условиях неотложной медицинской помощи, который значительно улучшает оказание медицинских услуг пациентам. Оперативная интерпретация и предоставление телерадиологом результатов рентгенологических исследований при оценке специфических неотложных состояний являются важной частью диагностической парадигмы экстренных медицинских служб [3].

В последние годы число пациентов в отделениях неотложной помощи (ОНП) неуклонно растёт, что связано с ростом населения, и увеличилось ещё больше во время пандемии COVID-19¹. Кроме того, ОНП могут быть переполнены во время стихийных бедствий, таких как землетрясения, цунами, циклоны и наводнения в городских застройках [4]. По данным Национального исследования уровня медицинской помощи, предоставляемой в амбулаторных учреждениях за 2020 год, общее число обращений в ОНП в больницах США составило 131,3 млн [5], что вызывает беспокойство. По данным главного аналитического центра государственной политики правительства Индии NITI Aayog 2021 года, 16% всех пациентов, обращающихся в медицинские учреждения, составляют пациенты с неотложными состояниями и травмами. В год на их долю приходится 19–36% госпитализаций в районных больницах [4]. Кроме того, в отчёте о неотложной медицинской помощи и помощи при травмах в медицинских центрах вторичного и третичного уровня в Индии, опубликованном кафедрой неотложной медицины Всеиндийского института медицинских наук в Дели (AIIMS), говорится, что количество койко-мест в ОНП составляет всего 3–5% общего числа койко-мест в стране². При ежегодном росте числа пациентов, обращающихся в ОНП, почти половина всех отделений работают на пределе своих возможностей или превышают их. Эта тенденция вызывает серьёзную обеспокоенность и требует решения [6]. Кроме того, существует проблема нехватки врачей, в частности радиологов. Так, на 1,2 миллиарда человек

населения страны приходится около 22 000 радиологов, что приводит к значительному перекусу в соотношении 1:100 000 [7]. Учитывая тяжесть травм, инсультов и других критических заболеваний у пациентов, поступающих в ОНП, задержки в диагностике и лечении могут привести к серьёзным последствиям. Таким образом, своевременная и точная интерпретация снимков пациентов имеет решающее значение. Однако количество штатных радиологов в ОНП, прошедших специальную подготовку, ограничено, особенно в нерабочее время или в праздники. Задача состоит в том, чтобы работать над эффективностью и качеством предоставляемых медицинских услуг, несмотря на растущую нагрузку и нехватку медицинского персонала³. В таких условиях телерадиология является очевидной альтернативой для расширения кадрового состава, помощи и устранения нехватки штатного радиологического персонала, а также удовлетворения растущего спроса на диагностическую визуализацию при травмах и острых заболеваниях в условиях неотложной медицинской помощи [6].

Экстренное ультразвуковое исследование (УЗИ) — это метод диагностической визуализации, использующий высокочастотные звуковые волны для создания изображений внутренних органов и структур [8]. Это быстрый и неинвазивный метод оценки различных клинических состояний, включая травмы, абдоминальную и тазовую боль, аппендицит, холецистит, острую дисфункцию почек, абсцесс, осложнения беременности, осложнения при трансплантации органов [9].

Допплерография — это технология визуализации в режиме реального времени, которая играет ключевую роль в неотложной радиологии для быстрой оценки состояния сосудов и кровотока. Она позволяет выявить потенциально фатальные состояния, такие как тромбоз глубоких вен, закупорка артерий и недостаточная перфузия органов. Диагностика повреждений сосудов при травмах способствует своевременному проведению хирургического вмешательства [10].

Основным преимуществом телерадиологии при экстренном УЗИ является обеспечение не только своевременной диагностики и лечения, но и адекватного круглосуточного обслуживания и помощи специалистов, включая штатных технических специалистов и врачей ультразвуковой диагностики. Телерадиология в случаях экстренного УЗИ также может способствовать сокращению расходов для больниц и пациентов [11]. Так, в ряде

¹ Kalyanpur A. Emergency radiology: Why the need for another subspecialty? 30.05.2023. India : The Times of India [Internet]. Bennett, Coleman & Co. c2024. Режим доступа: <https://timesofindia.indiatimes.com/blogs/voices/emergency-radiology-why-the-need-for-another-subspecialty/>

² Only 3-5 pc of total hospital beds available for emergency care: Report. 10.12.2021. India : The Times of India [Internet]. Bennett, Coleman & Co. c2024. Режим доступа: <https://timesofindia.indiatimes.com/india/only-3-5-pc-of-total-hospital-beds-available-for-emergency-care-report/articleshow/88212746.cms>

³ Teleradiology may diminish the use of ultrasound and reduce radiologists' skill in its use says French expert. 31.10.2017. European Society of Radiology blog [Internet]. Режим доступа: <https://blog.mysr.org/teleradiology-may-diminish-the-use-of-ultrasound-and-reduce-radiologists-skill-in-its-use-says-french-expert/>

исследований были зафиксированы преимущества телерадиологии для пациентов [1, 12–14]. В данном исследовании была поставлена задача оценить преимущества телерадиологии при интерпретации изображений УЗИ в экстренных ситуациях.

Появление технологий цифровой визуализации, систем архивирования и передачи изображений (PACS), радиологических информационных систем (RIS), высокоскоростного интернет-соединения и искусственного интеллекта ещё больше повысило ценность телерадиологии в предоставлении своевременных радиологических услуг в экстренных ситуациях, даже в отдалённых и малообслуживаемых районах [12, 15, 16]. Более того, строгие соглашения об уровне обслуживания между больницей и телерадиологической службой гарантируют максимально короткое время получения результатов (turnaround time, TAT), что выгодно как для пациента, так и для врача неотложной помощи. Таким образом, благодаря телерадиологии повысился стандарт обслуживания пациентов в условиях неотложной медицинской помощи [1, 17].

ЦЕЛЬ

Оценка роли телерадиологии при проведении УЗИ у группы пациентов в условиях неотложной медицинской помощи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено ретроспективное наблюдательное многоцентровое выборочное неконтролируемое исследование.

В ретроспективное исследование было включено 33 616 пациентов из 86 больниц США, обращавшихся за медицинской помощью в период с января по декабрь 2022 года. Исследование включало радиологическую оценку изображений УЗИ, выполненных в условиях неотложной медицинской помощи сертифицированными специалистами Американского радиологического общества, являющегося официальным провайдером телерадиологических услуг со штаб-квартирой в Бангалоре (Индия). Статические изображения стандарта DICOM и серии изображений УЗИ пациентов загружались на платформу RADspa (Telerad Tech, Индия), облачную систему RIS/PACS, через высокоскоростное интернет-соединение. Вместе с изображениями специалисты также передавали свои наблюдения в виде рабочего листа, который, как правило, представлял собой аннотированные графические данные с измерениями и комментариями к снимкам в свободной форме. Изображения УЗИ (статические снимки или серии снимков) и рабочие листы просматривались радиологами, затем заключения врачей передавались обратно в больницы через ту же рабочую платформу (либо, в критических случаях, — в устной форме, в телефонном режиме). Вместе с передаваемыми снимками в систему RIS могли

загружаться также дополнительные данные (предыдущие снимки пациентов и медицинские заключения, записи из истории болезни пациентов), чтобы врач мог составить полную картину заболевания.

Мы также проанализировали распределение исследований в зависимости от проводимых процедур, выполненных в условиях неотложной медицинской помощи. Рассчитывалось среднее время TAT с момента получения DICOM-изображений экстренных УЗИ в виде рабочего списка до момента загрузки врачебных заключений на платформу RADspa или устного сообщения направляющему врачу.

Критерии соответствия

В исследование были включены пациенты, поступившие в приёмные отделения больниц и прошедшие УЗИ.

Продолжительность исследования

В исследование было включено 33 616 пациентов из 86 больниц США, обращавшихся за медицинской помощью в период с января по декабрь 2022 года.

Этическая экспертиза

Данное ретроспективное исследование было одобрено Институциональным наблюдательным советом (Бангалор, Индия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выборка исследования (участники/респонденты)

Всего было проанализировано 37 253 снимка УЗИ 33 616 пациентов из 86 больниц США.

Основные результаты

Больницы были разделены по категориям в зависимости от количества койко-мест и числа полученных снимков (табл. 1).

Среди всех исследуемых больниц 28 учреждений имели штатных специалистов для проведения УЗИ, из них в 4 больницах в выходные дни работали специалисты по вызову. Кроме того, в 51 больнице работали только специалисты по вызову, в одной больнице УЗИ проводили ординаторы-рентгенологи. В 6 больницах УЗИ не проводилось после 11 ч вечера.

В телерадиологической практике специалисты общаются и передают телерадиологам краткие описания случаев тремя способами:

- 1) создают рабочие листы с данными наблюдений за пациентами и загружают их на платформу RADspa в формате pdf или jpeg;
- 2) конвертируют снимки в файлы формата DICOM;
- 3) вносят свои комментарии или заметки непосредственно в текстовое поле на платформе RADspa.

Таблица 1. Распределение больниц по количеству койко-мест и изображений, полученных в ходе ультразвуковых исследований

Число койко-мест	Количество больниц	Количество случаев
Больницы малой мощности (менее 100 койко-мест)	22	1621
Больницы средней мощности (100–499 койко-мест)	54	29 692
Больницы большой мощности (более 500 койко-мест)	7	981
Диагностические медицинские центры	3	4959
Всего	86	37 253

В данном исследовании из 37 253 сканов УЗИ специалисты прокомментировали 27 138 случаев (72,84%), для остальных прилагались рабочие листы.

Демографические данные, такие как пол и возраст пациентов, также были загружены на облачный сервер. Из 33 616 пациентов в нашем исследовании 70,56% составляли женщины, 29,44% — мужчины. Средний возраст пациентов составил 40,95 года (95% доверительный интервал 40,73–41,17). Максимальное количество пациентов пришлось на группу в возрасте 21–40 лет (рис. 1).

Для помощи в постановке диагноза и принятии решения о лечении проводилось УЗИ различных частей тела (табл. 2):

- УЗИ нижних и верхних конечностей составило 26,28% ($n=9792$) всех проведённых исследований;
- УЗИ брюшной полости — 18,62% ($n=6937$);
- гинекологическое УЗИ — 17,41% ($n=6488$);
- УЗИ органов малого таза — 15,62% ($n=5820$).

Из 33 616 пациентов компьютерная томография была выполнена 9496 пациентам.

Телерадиологические услуги предоставлялись пациентам в различных клинических ситуациях. Жалобы пациентов в письменной форме были распределены

по категориям на основании имеющихся симптомов, при этом применялся системный подход (рис. 2). Большинство симптомов были классифицированы как репродуктивные (35%), желудочно-кишечные (31%), сердечно-сосудистые (9%) и опорно-двигательные (6%). Другие категории, представленные на рис. 2, составляют меньшую часть симптомов, наблюдавшихся в общей когорте исследования.

Кроме того, на облачный сервер для интерпретации телерадиологами загружались серии снимков 4025 пациентов. Из этих снимков 1731 (43%), 1048 (26,03%) и 655 (16,27%) были выполнены по вопросам, связанным с репродуктивной, желудочно-кишечной и сердечно-сосудистой системами соответственно (рис. 3).

В данном исследовании 1262 пациентам была проведена доплерография, из них 569 пациентам с клинической картиной боли в мошонке или яичках, отёком, перекрутом и водянкой яичек была проведена доплерография сосудов мошонки. Кроме того, 497 пациентам с кистами, подозрением на перекрут яичника, тазовыми болями, спазмами, вагинальными кровотечениями во время беременности, постменопаузальными кровотечениями и болями в нижней части живота была проведена доплерография органов малого таза.

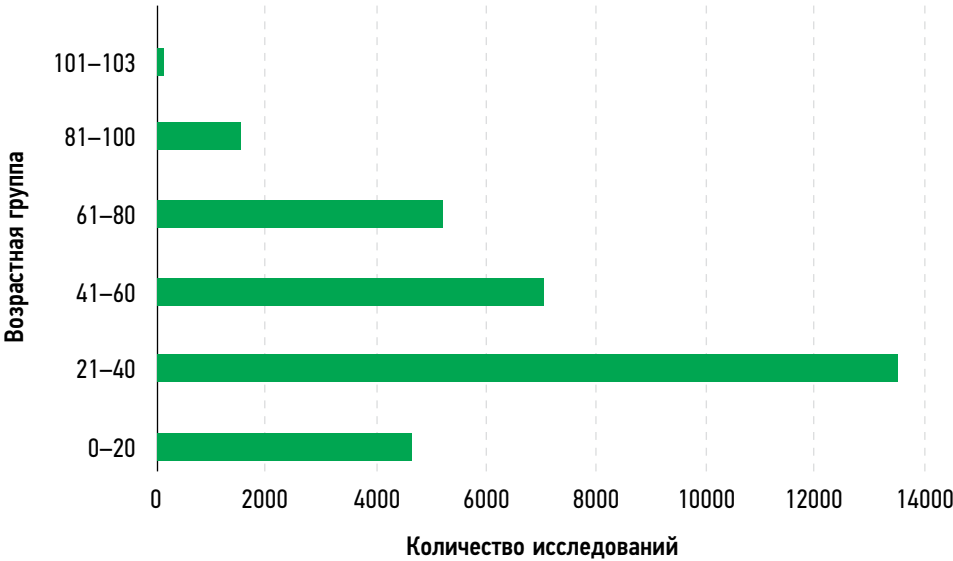


Рис. 1. Распределение пациентов по возрастным группам.

Таблица 2. Распределение исследований в зависимости от проведённых процедур

Процедуры	Количество случаев
Допплерография вен (нижние/верхние конечности)	9792
УЗИ органов брюшной полости	6937
Гинекологическое исследование биофизического профиля	6488
УЗИ органов малого таза (небеременные женщины)/трансвагинальное/эндовагинальное УЗИ	5820
УЗИ желчного пузыря/правого верхнего квадранта/аппендикса/печени/правого нижнего квадранта	3965
Допплерография мошонки/тестикул/простаты	1977
УЗИ почек	1393
УЗИ молочных желёз	184
Допплерография сонных артерий	152
УЗИ сосудов шеи	115
УЗИ мягких тканей	79
УЗИ кишечника	69
Дуплексное сканирование сонных артерий	60
УЗИ паховой области	35
УЗИ органов грудной клетки	29
УЗИ мочевого пузыря	24
Экстракраниальное сканирование	19
Эндо ректальное УЗИ внутренних свищей	18
УЗИ сосудов головы	18
УЗИ щитовидной железы	18
Сканирование почечных трансплантатов	12
Другие процедуры	49

Примечание. УЗИ — ультразвуковое исследование.

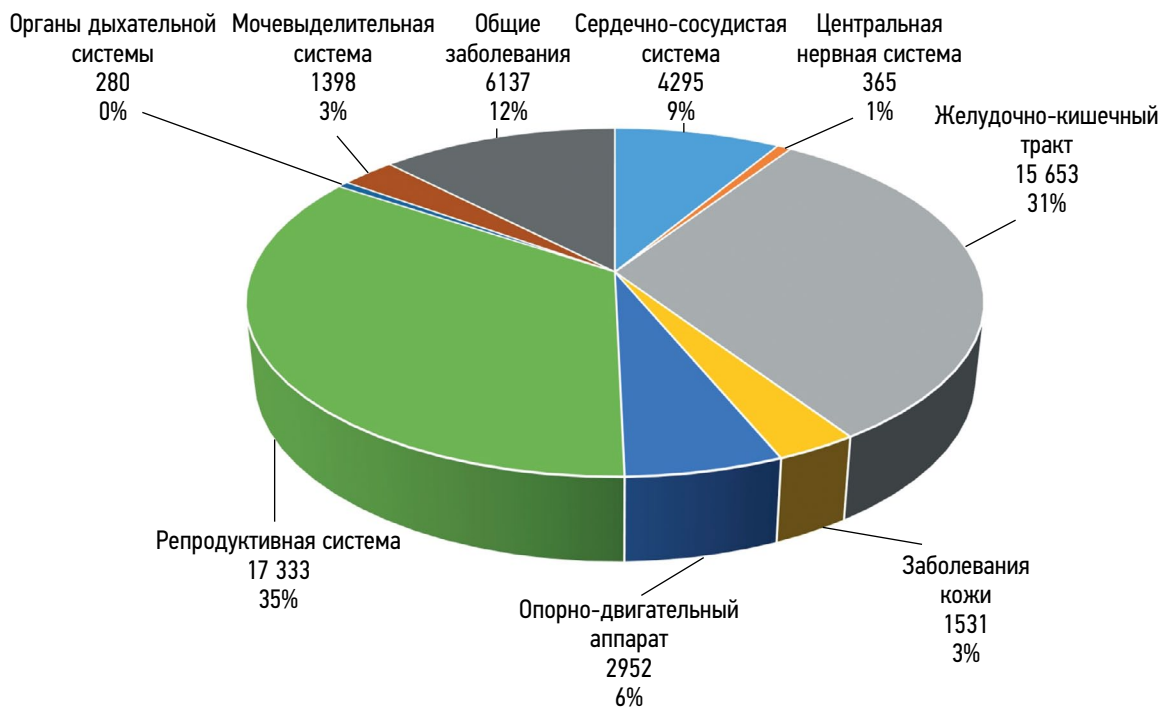


Рис. 2. Распределение случаев в зависимости от клинической картины и симптомов заболевания с использованием системного подхода.

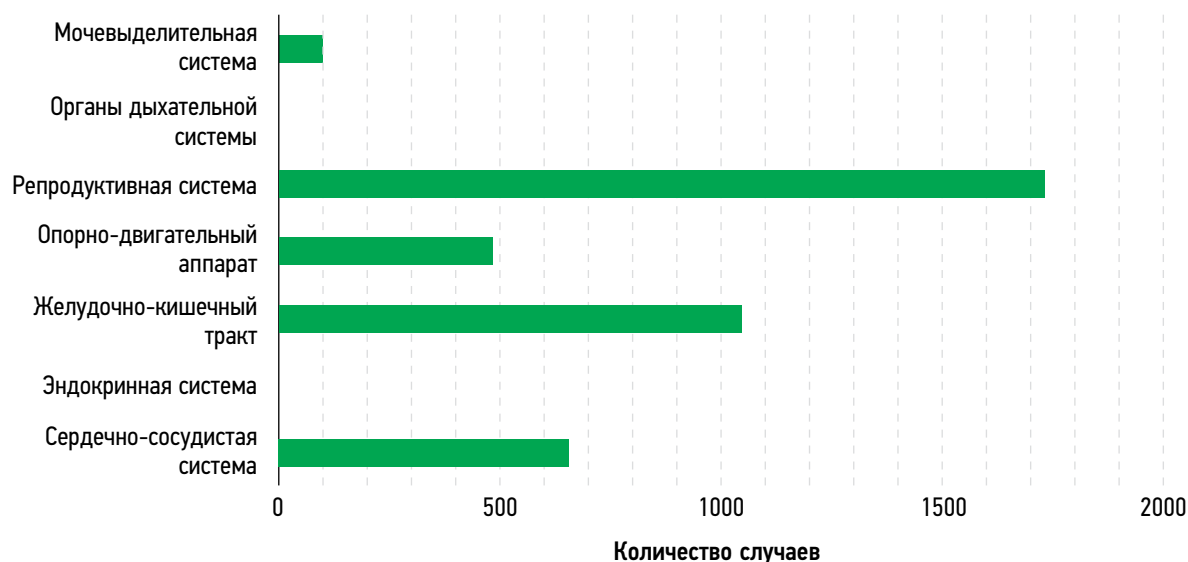


Рис. 3. Распределение случаев с сериями снимков при использовании системного подхода.

Допплерография сонных артерий была проведена 152 пациентам с онемением, головокружением, невнятной речью, обмороками, инфарктом миокарда, транзиторным ишемическим инсультом и стенозом сонных артерий. Допплерографию сосудов печени выполнили 28 пациентам с патологией желчного пузыря, печени или селезенки, печёночной энцефалопатией, печёночной недостаточностью, циррозом, тромбозом печёночных вен и трансплантацией печени. Допплерография сосудов почек была проведена 16 пациентам с почечной недостаточностью (рис. 4).

Среднее время ТАТ для всех экстренных УЗИ составило 35,71 мин (95% доверительный интервал 35,50–35,91).

Дополнительные результаты

Все снимки УЗИ прошли экспертную оценку в рамках программы обеспечения качества для улучшения диагностической точности и клинической эффективности. Из 37 253 снимков в 99,9% случаев отмечалась высокая точность и согласованность интерпретации, в 39 случаях (0,1%) были выявлены расхождения. В 24 случаях из 39 расхождения были клинически незначимыми, в 15 — клинически значимыми.

ОБСУЖДЕНИЕ

Неотложная медицинская помощь — это экстренное вмешательство, необходимое для предотвращения

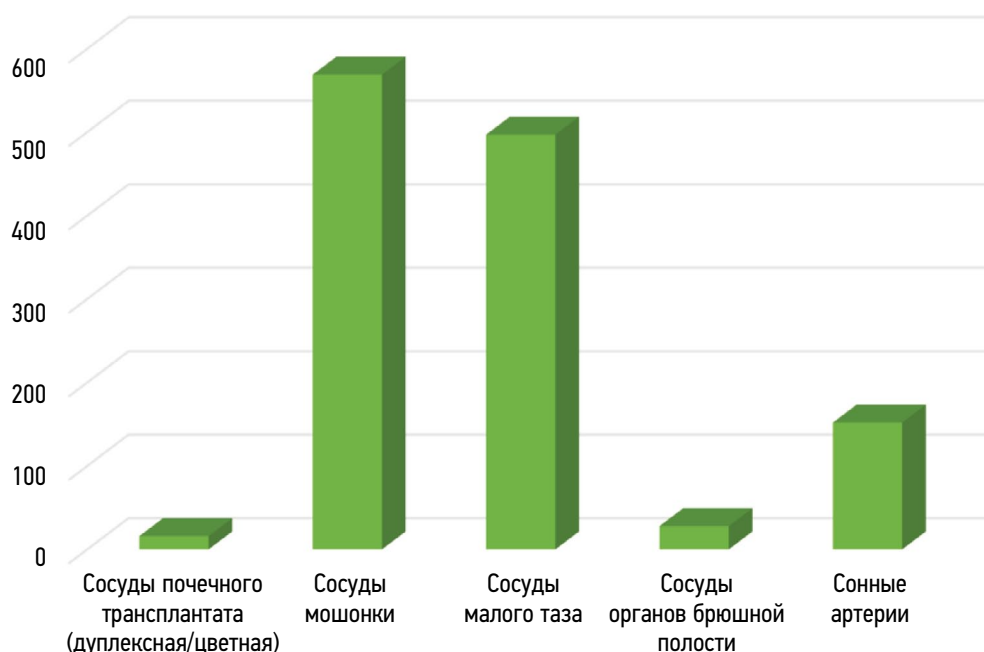


Рис. 4. Распределение случаев проведения доплерографии.

смерти и инвалидности пациента. Любые задержки в оказании помощи, даже в течение нескольких часов, могут ухудшить прогноз или снизить эффективность вмешательства [18]. Развитие неотложной радиологии как отдельной радиологической специальности подразумевает, что для быстрой и точной диагностики критических заболеваний или травм необходим уникальный набор специальных знаний и навыков [12].

Телерадиология — это инновационное направление в медицине, которое позволяет быстро интерпретировать изображения и точно диагностировать состояние пациентов с критическими травмами или заболеваниями, требующими немедленной реанимации, интенсивной терапии или срочного хирургического вмешательства, что позволяет врачам неотложной помощи принимать обоснованные решения по уходу за пациентами и тактике лечения. Кроме того, предлагаемая модель неотложной телерадиологии предполагает круглосуточное предоставление медицинских услуг, что может стать передовым фактором в здравоохранении. Так, снимки экстренного УЗИ, выполненного ночью в США, могут получить оценку сертифицированных радиологов из Индии и передаться обратно в этот же день. В настоящее время обучение по специализации «неотложная радиология» или специальные штатные должности в области неотложной радиологии отсутствуют. Несколько организаций — а именно Общество неотложной радиологии, Европейское общество радиологов и рентгенологов, Американское радиологическое общество, Общество неотложной медицины Индии и Индийское общество травматологии и неотложной помощи — были созданы для обмена передовым опытом в этой области и обеспечения интеграции клинической помощи и диагностической визуализации [19].

Наше ретроспективное исследование включает оценку и интерпретацию снимков экстренного УЗИ, поступивших из 86 больниц США. Согласно данным Ежегодного обзора медицинских услуг, оказываемых в больничных учреждениях, во всех больницах США насчитывается в общем 919 649 штатных койко-мест [20]. В зависимости от числа койко-мест больницы подразделяются на учреждения малой мощности (менее 100 койко-мест), средней мощности (100–499 койко-мест) и большой мощности (более 500 койко-мест). В нашем исследовании больницы были разделены на категории в зависимости от числа койко-мест и количества полученных снимков (см. табл. 1). Большинство изображений (79,7%) было передано 54 больницами средней мощности, 13% — тремя медицинскими диагностическими центрами. Наше исследование свидетельствует о том, что дистанционное УЗИ может быть полезным в больницах любого масштаба.

Дистанционное УЗИ могут эффективно практиковать как штатные технические специалисты, так и специалисты по вызову. Из 86 больниц США только в 28 учреждениях

работают штатные специалисты. В этом случае коммуникация между врачами осуществляется более оперативно и эффективно, по сравнению с больницами, в которых работают только специалисты по вызову.

Из всех изображений УЗИ 17 333 снимка (35%) были получены от пациентов с заболеваниями репродуктивной системы, 15 653 (31%) — желудочно-кишечного тракта/желчевыводящих путей, 4295 (9%) — сердечно-сосудистой системы и 2952 (6%) — опорно-двигательного аппарата. Все пациенты требовали немедленной медицинской помощи. Другие более мелкие категории включали 1531 снимок УЗИ, связанного с заболеваниями кожи, 1398 — с проблемами мочевыделительной системы, 365 — с неврологическими проблемами и 280 — с заболеваниями дыхательных путей (см. рис. 2). Таким образом, телерадиология в сфере УЗИ охватывает все системы органов и клинические проявления заболеваний, что позволяет удовлетворять неотложные клинические потребности.

Среднее время TAT — это промежуток времени от момента получения DICOM-изображений экстренного УЗИ в виде рабочего списка до момента загрузки врачебных заключений на платформу RADspa или устного информирования направляющего врача/отправки результатов в больницы. Среднее время TAT по всем экстренным УЗИ составило 35,71 мин (95% доверительный интервал 35,50–35,91). I. Szabo и соавт. опубликовали данные о среднем времени TAT для УЗИ в ОНП штатными рентгенологами, которое составило 58,27 мин. В настоящем исследовании среднее время TAT с использованием возможностей телерадиологии является вполне обоснованным и удовлетворительным по сравнению со средним временем выполнения УЗИ штатными радиологами, о котором сообщалось в других опубликованных исследованиях. Это свидетельствует об эффективности использования телерадиологии при обслуживании пациентов в условиях неотложной медицинской помощи [21].

Кроме того, данное исследование демонстрирует, что статических изображений в стандартных проекциях, сопровождаемых рабочими листами врача, в большинстве случаев достаточно для интерпретации снимков УЗИ. В сложных случаях для получения дополнительной информации рекомендуется использовать дополнительные последовательности.

Что касается передачи результатов, то в критических случаях, требующих немедленного медицинского вмешательства, направляющие врачи контактировали либо по телефону непосредственно с радиологом, либо через сотрудников колл-центра (поставщика телерадиологических услуг) [22]. В нашем исследовании для связи с больницами было сделано в общей сложности 752 звонка. Из них 49 звонков были совершены непосредственно между радиологом и направляющим врачом, 70 звонков были сделаны вспомогательным персоналом для передачи положительных результатов

и 47 звонков — для передачи отрицательных результатов. Кроме того, 619 звонков были сделаны для передачи важных результатов в устной форме ассистентам врачей в больницах, где уже впоследствии предпринимались дальнейшие действия.

Экспертная оценка играет незаменимую роль в программе контроля качества при интерпретации результатов исследования в диагностической радиологии. Программа контроля качества — наиболее распространённый метод оценки точности диагностики и клинических показателей. В нашем исследовании при экспертной оценке была отмечена очень высокая точность интерпретации (99,9%). Только в 39 случаях (0,1%) были выявлены несоответствия. В 24 случаях из 39 были выявлены клинически незначимые расхождения, в 15 — клинически значимые. В исследовании Lueg и др. (2013) в 85,9% случаев имела место высокая согласованность интерпретаций. Среди расхождений, отмеченных в ходе экспертного анализа, отмечались:

- недооценка или переоценка специалистами результатов исследования;
- ошибочные аргументы;
- неспособность провести соответствующую дифференциальную диагностику;
- опечатки;
- отсутствие консультации перед проведением визуализационного исследования;
- неспособность предложить дополнительные методы визуализации или последующее наблюдение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Телерадиология стала важным инструментом в неотложной медицине, где время играет решающую роль, а оперативная диагностика и лечение могут стать решающим фактором в спасении жизни пациентов. Во многих ОНП нет врача-радиолога, который мог бы интерпретировать изображения УЗИ, что может приводить к задержкам в постановке диагноза в дальнейшем ведении пациентов. В таких условиях развёртывание телерадиологических служб могло бы изменить ситуацию в лучшую сторону. Быстрая и точная диагностика может способствовать более оперативному и безопасному лечению пациентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kalyanpur A. The role of teleradiology in emergency radiology provision // *Radiol Manage*. 2014. Vol. 36, N 3. P. 46–49.
2. Burute N., Jankharia B. Teleradiology: The Indian perspective // *Indian Journal of Radiology and Imaging*. 2009. Vol. 19, N 1. P. 16–18. doi: 10.4103/0971-3026.45337
3. Michalke J.A. An overview of emergency ultrasound in the United States // *World J Emerg Med*. 2012. Vol. 3, N 2. P. 85–90. doi: 10.5847/wjem.j.issn.1920-8642.2012.02.001

Данное исследование демонстрирует, что структурированная программа дистанционного УЗИ с установленными протоколами получения изображений, их передачи и последующей коммуникации между участниками процесса позволяет оперативно обмениваться данными УЗИ в условиях неотложной медицинской помощи. Результаты предложенной модели телемедицинских услуг послужат платформой для построения аналогичной модели дистанционного УЗИ в развивающихся странах.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: A. Kalyanpur — концепция и проведение исследования, написание обзорной части и редактирование рукописи, научное руководство; N. Mathur — проведение исследования, написание первичного варианта рукописи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

A. Kalyanpur — conceptualization, formal analysis and investigation, writing and editing, supervision; N. Mathur — formal analysis and investigation, writing, original draft preparation.

4. Misra A., Yadav D.C., Kole T. Emergency care in India beyond 75 years of independence — problems and solutions // *J Glob Health*. 2023. Vol. 13. P. 03015. doi: 10.7189/jogh.13.03015

5. National Hospital Ambulatory Medical Care Survey: 2020 Emergency Department Summary Tables [Internet]. US : National Center for Health Statistics. Доступ по ссылке: https://www.cdc.gov/nchs/data/nhamcs/web_tables/2020-nhamcs-ed-web-tables-508.pdf

6. Perotte R., Lewin G.O., Tambe U., et al. Improving Emergency Department Flow: Reducing Turnaround Time for Emergent CT Scans // *AMIA Annu Symp Proc.* 2018. Vol. 2018. P. 897–906.
7. Agrawal A., Khandelwal N. Nucleating emergency radiology specialization in India // *Emerg Radiol.* 2016. Vol. 23, N 2. P. 101–103. doi: 10.1007/s10140-016-1381-6
8. Abdolrazaghnejad A., Banaie M., Safdari M. Ultrasonography in Emergency Department; a Diagnostic Tool for Better Examination and Decision-Making // *Adv J Emerg Med.* 2018. Vol. 2, N 1. P. e7. doi: 10.22114/AJEM.v0i0.40
9. Nicola R., Dogra V. Ultrasound: the triage tool in the emergency department: using ultrasound first // *Br J Radiol.* 2016. Vol. 89, N 1061. P. 20150790. doi: 10.1259/bjr.20150790
10. Islam S.N., Deka N., Hussain Z. Role of Doppler Ultrasound in Assessing the Severity of Peripheral Arterial Diseases of the Lower Limb // *J Med Ultrasound.* 2021. Vol. 29, N 4. P. 277–280. doi: 10.4103/JMU.JMU_137_20
11. Kalyanpur A., Meka S., Joshi K., Somashekaran Nair H.T., Mathur N. Teleradiology in Tripura: Effectiveness of a Telehealth Model for the Rural Health Sector // *International Journal of Health Technology and Innovation.* 2022. Vol. 1. P. 7–12. doi: 10.60142/ijhti.v1i02.36
12. Agrawal A. Emergency Teleradiology-Past, Present, and, Is There a Future? // *Front Radiol.* 2022. Vol. 2. P. 866643. doi: 10.3389/fradi.2022.866643
13. Kalyanpur A., Weinberg J., Neklesa V., et al. Emergency radiology coverage: technical and clinical feasibility of an international teleradiology model // *Emerg Radiol.* 2003. Vol. 10, N 3. P. 115–118. doi: 10.1007/s10140-003-0284-5
14. Agrawal A., Agrawal A., Pandit M., Kalyanpur A. Systematic survey of discrepancy rates in an international teleradiology service // *Emerg Radiol.* 2011. Vol. 18, N 1. P. 23–29. doi: 10.1007/s10140-010-0899-2
15. Chandramohan A., Krothapalli V., Augustin A., et al. Teleradiology and technology innovations in radiology: status in India and its role in increasing access to primary health care // *The Lancet Regional Health — Southeast Asia.* 2023. Vol. 23. doi: 10.1016/j.lansea.2023.100195
16. Thrall J.H. Teleradiology Part I. History and Clinical Applications // *Radiology.* 2007. Vol. 243, N 3. P. 613–617. doi: 10.1148/radiol.2433070350
17. Duarte M.L., Dos Santos L.R., Iared W., Peccin M.S. Telementored ultrasonography: a narrative review // *Sao Paulo Med J.* 2022. Vol. 140, N 2. P. 310–319. doi: 10.1590/1516-3180.2020.0607.R2.15092021
18. Bergquist H.B., Burkholder T.W., Muhammad Ali O.A., Omer Y., Wallis L.A. Considerations for service delivery for emergency care in low resource settings // *African Journal of Emergency Medicine.* 2020. Vol. 10. P. S7–S11. doi: 10.1016/j.afjem.2020.07.002
19. Agrawal A., Khandelwal N. Nucleating emergency radiology specialization in India // *Emerg Radiol.* 2016. Vol. 23, N 2. P. 101–103. doi: 10.1007/s10140-016-1381-6
20. Fast Facts on U.S. Hospitals [Internet]. US : American Hospital Association. c2024. Доступ по ссылке: <https://www.aha.org/statistics/fast-facts-us-hospitals>
21. Szabo I., Zag L., Takács I., et al. Quantile regression and an application: performance improvement of an emergency department in Eastern Europe // *Hungarian Statistical Review.* 2020. Vol. 3, N 1. P. 60–76. doi: 10.35618/hsr2020.01.en060
22. Honig S.E., Honig E.L., Babiarz L.B., et al. Critical findings: timing of notification in neuroradiology // *AJNR Am J Neuroradiol.* 2014. Vol. 35, N 8. P. 1485–1492. doi: 10.3174/ajnr.A3918

REFERENCES

1. Kalyanpur A. The role of teleradiology in emergency radiology provision. *Radiol Manage.* 2014;36(3):46–49.
2. Burute N, Jankharia B. Teleradiology: The Indian perspective. *Indian Journal of Radiology and Imaging.* 2009;19(1):16–18. doi: 10.4103/0971-3026.45337
3. Michalke JA. An overview of emergency ultrasound in the United States. *World J Emerg Med.* 2012;3(2):85–90. doi: 10.5847/wjem.j.issn.1920-8642.2012.02.001
4. Misra A, Yadav DC, Kole T. Emergency care in India beyond 75 years of independence — problems and solutions. *J Glob Health.* 2023;13:03015. doi: 10.7189/jogh.13.03015
5. National Hospital Ambulatory Medical Care Survey: 2020 Emergency Department Summary Tables [Internet]. US: National Center for Health Statistics. Available from: https://www.cdc.gov/nchs/data/nhamcs/web_tables/2020-nhamcs-ed-web-tables-508.pdf
6. Perotte R, Lewin GO, Tambe U, et al. Improving Emergency Department Flow: Reducing Turnaround Time for Emergent CT Scans. *AMIA Annu Symp Proc.* 2018;2018:897–906.
7. Agrawal A, Khandelwal N. Nucleating emergency radiology specialization in India. *Emerg Radiol.* 2016;23(2):101–103. doi: 10.1007/s10140-016-1381-6
8. Abdolrazaghnejad A, Banaie M, Safdari M. Ultrasonography in Emergency Department; a Diagnostic Tool for Better Examination and Decision-Making. *Adv J Emerg Med.* 2018;2(1):e7. doi: 10.22114/AJEM.v0i0.40
9. Nicola R, Dogra V. Ultrasound: the triage tool in the emergency department: using ultrasound first. *Br J Radiol.* 2016;89(1061):20150790. doi: 10.1259/bjr.20150790
10. Islam SN, Deka N, Hussain Z. Role of Doppler Ultrasound in Assessing the Severity of Peripheral Arterial Diseases of the Lower Limb. *J Med Ultrasound.* 2021;29(4):277–280. doi: 10.4103/JMU.JMU_137_20
11. Kalyanpur A, Meka S, Joshi K, Somashekaran Nair HT, Mathur N. Teleradiology in Tripura: Effectiveness of a Telehealth Model for the Rural Health Sector. *International Journal of Health Technology and Innovation.* 2022;1:7–12. doi: 10.60142/ijhti.v1i02.36
12. Agrawal A. Emergency Teleradiology-Past, Present, and, Is There a Future? *Front Radiol.* 2022;2:866643. doi: 10.3389/fradi.2022.866643
13. Kalyanpur A, Weinberg J, Neklesa V, et al. Emergency radiology coverage: technical and clinical feasibility of an international teleradiology model. *Emerg Radiol.* 2003;10(3):115–118. doi: 10.1007/s10140-003-0284-5
14. Agrawal A, Agrawal A, Pandit M, Kalyanpur A. Systematic survey of discrepancy rates in an international teleradiology service. *Emerg Radiol.* 2011;18(1):23–29. doi: 10.1007/s10140-010-0899-2
15. Chandramohan A, Krothapalli V, Augustin A, et al. Teleradiology and technology innovations in radiology: status

in India and its role in increasing access to primary health care. *The Lancet Regional Health — Southeast Asia*. 2023;23. doi: 10.1016/j.lansea.2023.100195

16. Thrall JH. Teleradiology Part I. History and Clinical Applications. *Radiology*. 2007;243(3):613–617. doi: 10.1148/radiol.2433070350

17. Duarte ML, Dos Santos LR, Iared W, Peccin MS. Telementored ultrasonography: a narrative review. *Sao Paulo Med J*. 2022;140(2):310–319. doi: 10.1590/1516-3180.2020.0607.R2.15092021

18. Bergquist HB, Burkholder TW, Muhammad Ali OA, Omer Y, Wallis LA. Considerations for service delivery for emergency care in low resource settings. *African Journal of Emergency Medicine*. 2020;10:S7–S11. doi: 10.1016/j.afjem.2020.07.002

19. Agrawal A, Khandelwal N. Nucleating emergency radiology specialization in India. *Emerg Radiol*. 2016;23(2):101–103. doi: 10.1007/s10140-016-1381-6

20. Fast Facts on U.S. Hospitals [Internet]. US: American Hospital Association. c2024. Available from: <https://www.aha.org/statistics/fast-facts-us-hospitals>

21. Szabo I, Zag L, Takács I, et al. Quantile regression and an application: performance improvement of an emergency department in Eastern Europe. *Hungarian Statistical Review*. 2020;3(1):60–76. doi: 10.35618/hsr2020.01.en060

22. Honig SE, Honig EL, Babiarz LB, et al. Critical findings: timing of notification in neuroradiology. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014;35(8):1485–1492. doi: 10.3174/ajnr.A3918

ОБ АВТОРАХ

* **Neetika Mathur**, PhD;

address: Plot No. 7G, Opposite Graphite India, Whitefield, Bengaluru, Karnataka 560048, India;

ORCID: 0009-0002-8884-2060;

e-mail: neetika.mathur@imagecorelab.com

Arjun Kalyanpur, MD;

ORCID: 0000-0003-2761-7273;

e-mail: arjun.kalyanpur@telradsol.com

AUTHORS' INFO

* **Neetika Mathur**, PhD;

address: Plot No. 7G, Opposite Graphite India, Whitefield, Bengaluru, Karnataka 560048, India;

ORCID: 0009-0002-8884-2060;

e-mail: neetika.mathur@imagecorelab.com

Arjun Kalyanpur, MD;

ORCID: 0000-0003-2761-7273;

e-mail: arjun.kalyanpur@telradsol.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD630093>

Новая интеллектуальная система для автоматической диагностики сколиоза по фронтальным рентгенограммам позвоночника: точность, преимущества и ограничения

Д.Х.И. Кассаб¹, И.Г. Камышанская¹, С.В. Трухан²¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;² Esper LLC, Тверь, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Сколиоз — одна из самых распространённых деформаций позвоночника, которую обычно диагностируют с помощью фронтальных спондилограмм по методу Кобба. Автоматические методы измерения, основанные на искусственном интеллекте, компенсируют многие недостатки стандартных методов и могут значительно сэкономить время врача-рентгенолога.

Цель — проанализировать точность, преимущества и недостатки новой программы искусственного интеллекта при автоматическом определении степени сколиоза и измерении угла Кобба на фронтальных рентгенограммах.

Материалы и методы. Всего исследовано 114 рентгенограмм на предмет соответствия измерений угла Кобба, выполняемых автоматически программой искусственного интеллекта и рентгенологом с использованием метода Бленда-Альмана в программе Microsoft Excel. Кроме того, были проведены клинические испытания точности системы с использованием ограниченных данных (120 рентгенограмм). Точность системы в определении степени выраженности сколиоза оценивали по показателям чувствительности, специфичности, точности и площади под ROC-кривой.

Результаты. Больше согласованности в измерениях угла Кобба, вычисляемых программой искусственного интеллекта и рентгенологом, найдено в группах сколиоза I и II степени. Только в 2,8% случаев наблюдалась клинически значимая разница в измерении углов Кобба (вариабельность $>5^\circ$). Показатели диагностической точности, полученные в ходе ограниченного клинического исследования в городской Мариинской больнице (Санкт-Петербург), также подтвердили надёжность системы: чувствительность составила 0,97, специфичность — 0,88, точность (общая валидность) — 0,93, а площадь под ROC-кривой — 0,93.

Заключение. В целом, программа искусственного интеллекта может автоматически точно определять степень выраженности сколиоза, а также измерять углы искривления позвоночника на фронтальных спондилограммах.

Ключевые слова: сколиоз; искусственный интеллект; позвоночник.

Как цитировать:

Кассаб Д.Х.И., Камышанская И.Г., Трухан С.В. Новая интеллектуальная система для автоматической диагностики сколиоза по фронтальным рентгенограммам позвоночника: точность, преимущества и ограничения // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, №2. С. 243–254. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD630093>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD630093>

A new artificial intelligence program for the automatic evaluation of scoliosis on frontal spinal radiographs: Accuracy, advantages and limitations

Dima Kh.I. Kassab¹, Irina G. Kamyshanskaya¹, Stanislau V. Trukhan²

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

² Esper LLC, Tver, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Scoliosis is one of the most common spinal deformations that are usually diagnosed on frontal radiographs using Cobb's method. Automatic measurement methods based on artificial intelligence can overcome many drawbacks of the usual method and can significantly save radiologist's time.

AIM: To analyze the accuracy, advantages, and disadvantages of a newly developed artificial intelligence program for the automatic diagnosis of scoliosis and measurement of Cobb's angle on frontal radiographs.

MATERIALS AND METHODS: In total, 114 digital radiographs were used to test the agreement of Cobb's angle measurements between the new automatic method and the radiologist using the Bland–Altman method on Microsoft Excel. A limited clinical accuracy test was also conducted using 120 radiographs. The accuracy of the system in defining the scoliosis grade was evaluated by sensitivity, specificity, accuracy, and area under the receiver operating characteristic curve.

RESULTS: The agreement of Cobb's angle measurement between the system and the radiologist's calculation was found mostly in grade 1 and 2 scoliosis. Only 2.8% of the results showed a clinically significant angle variability of $>5^\circ$. The diagnostic accuracy metrics of the limited clinical trial in City Mariinsky Hospital (Saint Petersburg, Russia) also proved the reliability of the system, with a sensitivity of 0.97, specificity of 0.88, accuracy (general validity) of 0.93, and area under the receiver operating characteristic curve of 0.93.

CONCLUSION: Overall, the artificial intelligence program can automatically and accurately define the scoliosis grade and measure the angles of spinal curvatures on frontal radiographs.

Keywords: scoliosis; artificial intelligence; spine.

To cite this article:

Kassab DKhI, Kamyshanskaya IG, Trukhan SV. A new artificial intelligence program for the automatic evaluation of scoliosis on frontal spinal radiographs: Accuracy, advantages and limitations. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):243–254. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD630093>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD630093>

用脊柱正面 X 光片自动诊断脊柱侧弯的新型智能系统：准确度、优势和局限性

Dima Kh.I. Kassab¹, Irina G. Kamyshanskaya¹, Stanislau V. Trukhan²¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;² Esper LLC, Tver, Russia

摘要

论证。脊柱侧弯是最常见的脊柱畸形之一，通常使用 Cobb 方法正面 X 光片进行诊断。基于人工智能的自动测量方法弥补了标准方法的许多不足，可以大大节省放射科医生的时间。

目的是分析一种新的人工智能程序在通过自动测量正面 X 光片上的 Cobb 角来评估脊柱侧弯程度方面的准确度和优缺点。

材料和方法。共检查了 114 张 X 光片，以确定人工智能软件自动测量的 Cobb 角与放射科医生使用 Microsoft Excel 中的 Bland-Altman 方法测量的 Cobb 角是否一致。此外，还使用有限的临床数据（120 张 X 光片）进行了临床准确度测试。通过灵敏度、特异性、准确度和 ROC 曲线下面积评估了该系统在确定脊柱侧弯严重程度方面的准确度。

结果。I 度和 II 度脊柱侧弯组中，人工智能程序和放射科医生计算出的 Cobb 角测量值更加一致。只有 2.8% 的病例在 Cobb 角测量值上存在显著的临床差异（差异大于 5°）。在 Mariinsky City Hospital（圣彼得堡）进行的有限临床试验中获得的诊断准确度值也证实了该系统的可靠性：灵敏度为 0.97，特异性为 0.88，准确度（总体有效性）为 0.93，ROC 曲线下的面积为 0.93。

结论。一般来说，人工智能程序可以自动准确地确定脊柱侧弯的严重程度，并利用正面 X 光片测量脊柱弯曲的角度。

关键词：脊柱侧弯；人工智能；脊柱。

引用本文：

Kassab DKhI, Kamyshanskaya IG, Trukhan SV. 用脊柱正面 X 光片自动诊断脊柱侧弯的新型智能系统：准确度、优势和局限性. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):243–254. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD630093>

收到：11.04.2024

接受：15.05.2024

发布日期：19.07.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Сколиоз — одна из наиболее распространённых деформаций позвоночника среди всех возрастных групп. Сколиоз представляет собой боковое искривление позвоночника в корональной плоскости с углом $\geq 10^\circ$ и торсией (скручиванием) тел позвонков и их задних элементов. Сколиоз в основном диагностируется на основании фронтальных рентгенограмм. Метод Кобба считается золотым стандартом в оценке угла сколиотической деформации позвоночника [1–8]. В последние годы многие исследователи активно изучают возможности использования искусственного интеллекта (ИИ) для оценки сколиоза с помощью различных методов визуализации, которые позволили бы получать более объективные результаты и снизить вариабельность измерений по методу Кобба у разных исследователей [9–14].

Мы разработали новую программу, основанную на машинном обучении. На первом этапе разработки системы произведено обучение искусственной нейронной сети таким образом, чтобы автоматически идентифицировать тела позвонков. Для этого из базы данных (XrScl) [15] были отобраны 1000 снимков позвоночника. Выполнена разметка каждого рентгеновского изображения, где тела позвонков определились с использованием четырёх опорных точек, и все тела грудных и поясничных позвонков на каждом снимке были пронумерованы. После обучения нейросеть могла самостоятельно определять тела позвонков и их номера. На втором этапе автоматически измерялся угол Кобба и определялась степень сколиоза. Автоматическое измерение угла Кобба может осуществляться при помощи трёх методов:

- 1) классический метод Кобба, при котором угол сколиоза измеряется между верхней и нижней границами тела верхнего и нижнего конечного позвонка соответственно;
- 2) метод, используемый в практике рентгенологов (в частности, в городской Мариинской больнице) при котором угол сколиоза определяется между максимально наклонёнными гранями замыкательных пластинок тел верхнего и нижнего конечного позвонка;
- 3) метод средних линий, при котором угол сколиоза определяется между максимально наклонёнными средними линиями тел позвонков, проведёнными через среднюю часть тела конечных позвонков.

При измерении углов Кобба и определении степени сколиоза мы проверили точность новой автоматической системы.

ЦЕЛЬ

Проанализировать точность, преимущества и недостатки новой программы ИИ при автоматическом определении степени сколиоза и измерении угла Кобба на фронтальных спондилограммах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено наблюдательное ретроспективное одно-центровое выборочное неконтролируемое исследование.

Описание исследования и статистический анализ

Для оценки надёжности новой программы ИИ в измерении углов Кобба из базы данных XrScl (тестовый набор 1) [15] было отобрано 114 цифровых рентгенограмм позвоночника и рентгенограмм органов грудной клетки (ОГК). Эта база данных включает в себя более 2500 снимков. Таким образом, мы могли использовать различные наборы данных для обучения и проверки системы. Согласованность углов Кобба, измеряемых программой и рентгенологом, проверяли с использованием метода Бленда–Альтмана в программе Microsoft Excel. Рассчитывали среднюю разность между двумя методами («систематическое расхождение») и 95% доверительные интервалы (2 стандартных отклонения, SD). Сравнивались только те углы, которые были измерены с помощью обеих методик (рентгенолог и ИИ).

Для проверки возможности внедрения новой программы в медицинскую практику были проведены предварительные клинико-технические испытания в Санкт-Петербургском государственном бюджетном учреждении здравоохранения «Городская Мариинская больница». Для исследования было отобрано 120 рентгенограмм из архива Мариинской больницы и Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации им. Г.А. Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации (тестовый набор 2). Надёжность системы в определении степени сколиоза проверяли путём расчёта площади под ROC-кривой и таких параметров, как чувствительность, специфичность и точность. Эти параметры рассчитывали по следующим формулам (где TP, TN, FP и FN означают истинно положительный, истинно отрицательный, ложноположительный и ложноотрицательный результаты соответственно):

- чувствительность — $\frac{TP}{TP + FN}$;

- специфичность — $\frac{TN}{TN + FP}$;

- точность — $\frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$.

Рентгенограммы в наборах данных 1 и 2 оценивались двумя рентгенологами, один из которых имел опыт работы более 25 лет, а другой — более 9 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Участники (субъекты) исследования

В тестовом наборе 1 рентгенограммы были распределены по четырём группам выраженности сколиоза (в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации № 565¹) следующим образом:

- I степень — 5–10°, 16%;
- II степень — 11–25°, 15%;
- III степень — 26–50°, 16%;
- IV степень — >50°, 16%.

К этой классификации была добавлена группа «норма» (0 степень; <5°, 37%). Кроме того, проанализировано и сопоставлено 179 углов (5,1–91,3°), найденных как врачом, так и системой ИИ.

Для предварительных клинико-технических испытаний системы тестовый набор 2 разделили на одинаковые по количеству снимков группы — нормальные и патологические (со сколиозом) — по 60 рентгенограмм

в каждой. Рентгенограммы со сколиозом распределили в зависимости от степени сколиоза (I–IV), по 15 снимков на каждую степень.

Основные результаты исследования

Согласованность измерений угла Кобба между ИИ и рентгенологом наблюдалась в основном при сколиозе I и II степени. При этом средняя разница в измерении составляла 0,10 и 0,46, а SD — 1,29 и 1,73 соответственно. Углы, измеренные двумя методиками, различались на <4,5° в 95% случаев при всех степенях сколиоза, за исключением группы со сколиозом III степени, где 95% доверительные интервалы составляли от –6,60° до 7,85°. Наибольшее SD (3,69°) также было выявлено в этой группе. Результаты статистического анализа данных для каждой степени сколиоза представлены на рис. 1 и рис. 2 (графики Бленда–Альтмана), а также в табл. 1. Только 2,8% результатов были клинически неудовлетворительными (вариабельность >5°).

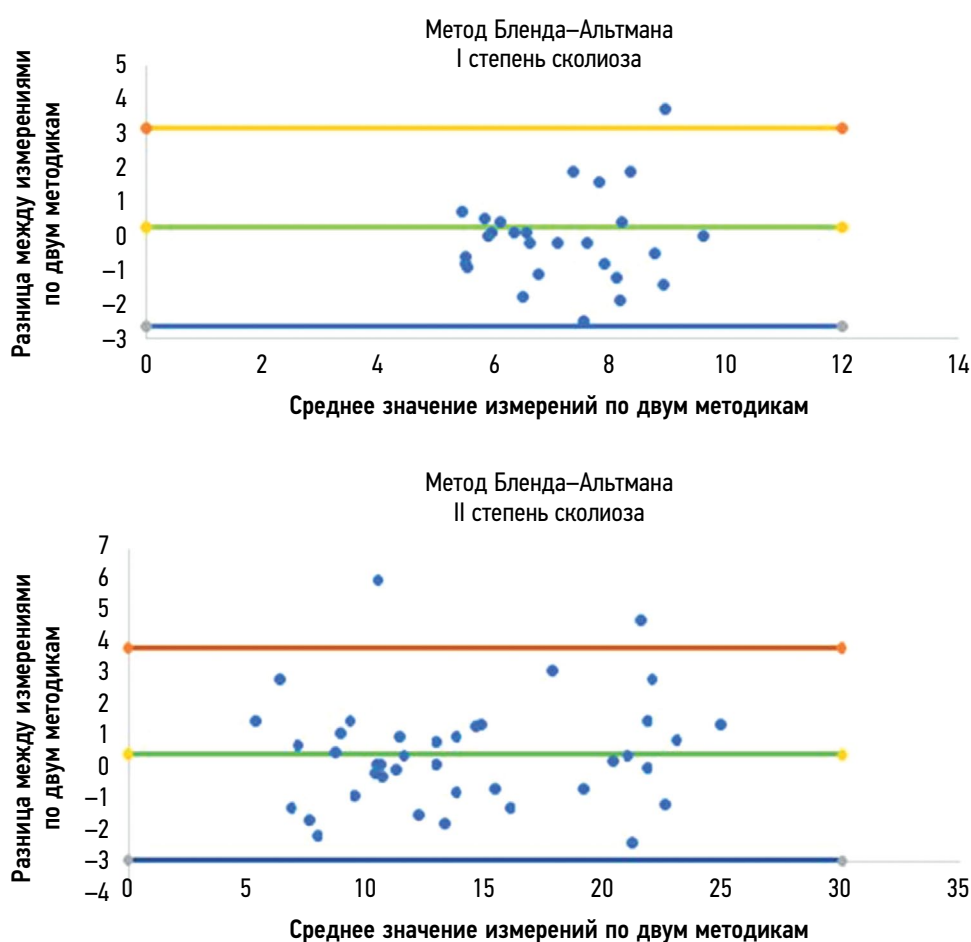


Рис. 1. Результаты измерений по методу Бленда–Альтмана. Согласованность измерений угла Кобба по двум методикам на рентгенограммах со сколиозом I и II степени.

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 04.07.2013 г. № 565. «Об утверждении Положения о военно-врачебной экспертизе». Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/87900/>

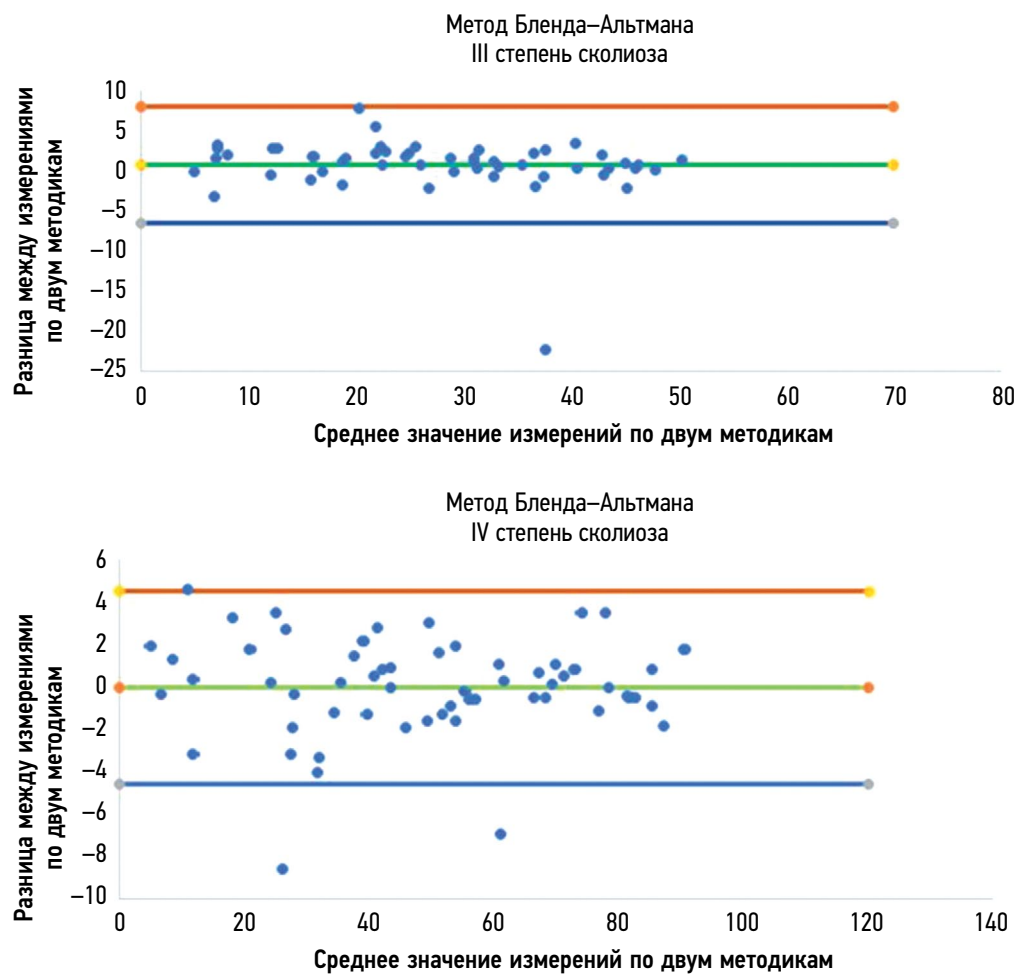


Рис. 2. Результаты измерений по методу Бленда–Альтмана. Согласованность измерений угла Кобба по двум методикам на рентгенограммах со сколиозом III и IV степени.

Таблица 1. Статистические параметры для оценки согласованности двух методик измерения угла Кобба при различных степенях сколиоза

Параметр	I степень	II степень	III степень	IV степень
Средняя разность	–0,10	0,46	0,62	0,00
Стандартное отклонение	1,29	1,73	3,69	2,32
Верхний предел доверительного интервала	2,43	3,84	7,85	4,56
Нижний предел доверительного интервала	–2,63	–2,93	–6,60	–4,55

Показатели диагностической точности предварительных клинично-технических испытаний в Мариинской городской больнице (тестовый набор 2) также подтвердили надёжность системы в определении степени сколиоза:

- чувствительность составила 0,97;
- специфичность — 0,88;
- точность (общая валидность) — 0,93;
- площадь под ROC-кривой — 0,93 (рис. 3).

Среднее время анализа каждого снимка программой ИИ составило 5 с. Полученные результаты подтверждают эффективность системы в определении степени сколиоза.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Основная часть исследования была проведена в больнице, где лиц призывного возраста проверяли на наличие сколиоза в рамках многочисленных обследований для прохождения медицинской комиссии по призыву на воинскую службу. Таким образом, рентгенограммы в тестовых наборах 1 и 2 были разделены на группы согласно постановлению Правительства Российской Федерации № 565¹. Согласно этой классификации, любые небольшие искривления позвоночника менее 10° считаются сколиозом I степени.

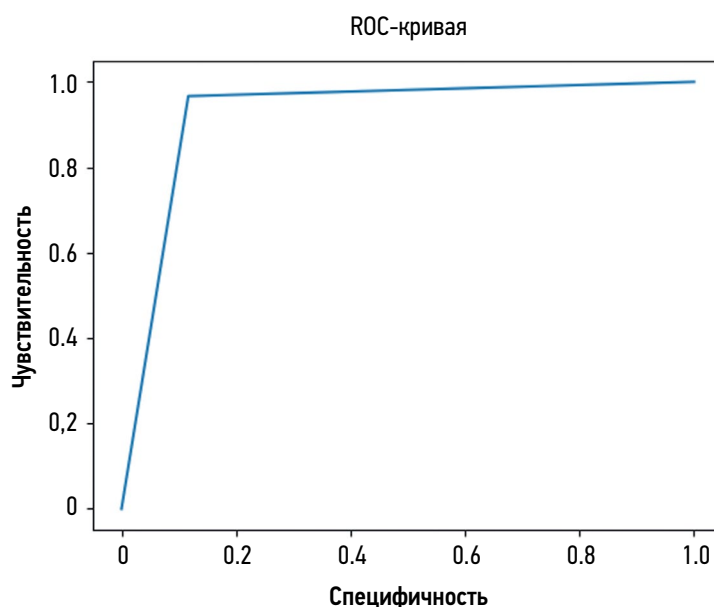


Рис. 3. Подтверждение на ROC-кривой точности новой программы искусственного интеллекта в определении степени сколиоза.

Новая система автоматической оценки степени сколиоза по цифровым спондилограммам (программа ИИ) может помочь рентгенологам в быстром и точном определении степени сколиоза и в измерении угла Кобба, особенно при массовом скрининге сколиоза и в случае большой нагрузки в медицинских учреждениях. В таких ситуациях рентгенологи могут использовать новую программу ИИ как объективный инструмент с более высокой точностью диагностики сколиоза, поскольку

при использовании врачами одного и того же инструмента можно избежать вариабельности результатов. Кроме того, программа позволяет значительно сэкономить время врача-рентгенолога, необходимое для анализа рентгенограмм. К тому же результаты измерения углов Кобба, вычисленные программой ИИ, были удовлетворительными. В большинстве случаев не было значительных расхождений в измерениях угла Кобба. Пример работы ИИ показан на рис. 4.

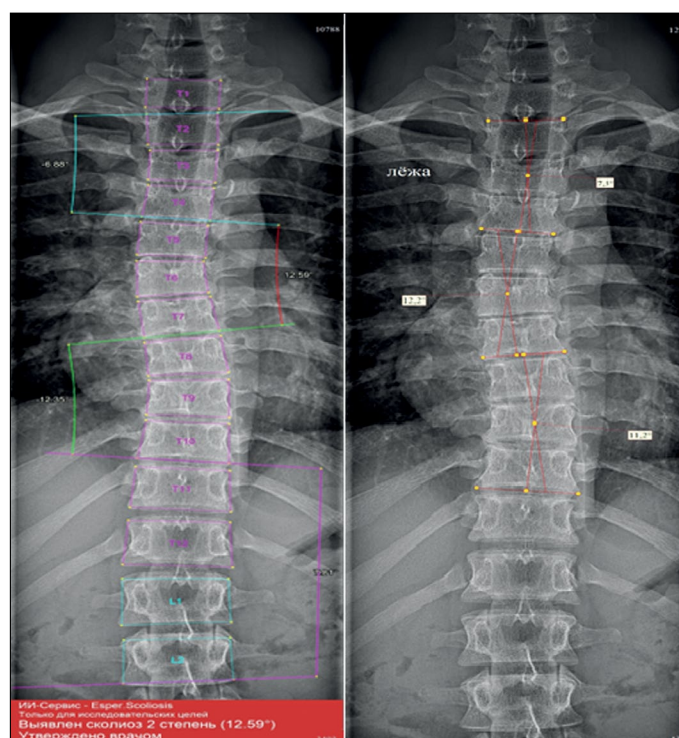


Рис. 4. Рентгеновский снимок со сколиозом II степени. Анализ снимка выполнен программой искусственного интеллекта (слева) и рентгенологом (справа). Рентгенолог не измерял груднопоясничную кривую, так как нижний конечный позвонок не виден на снимке.

Обсуждение основных результатов исследования

Предлагаемая программа ИИ даёт возможность измерять углы Кобба тремя различными методами. Все они могут быть полезны врачу-рентгенологу, особенно в тех случаях, когда не используется стандартный метод измерения (как, например, в Мариинской городской больнице при обследовании на сколиоз). Определение замыкательной пластинки наиболее наклонённого позвонка занимает много времени и может привести к несогласованности полученных результатов. Именно поэтому возможность объективного и автоматического определения верхнего и нижнего конечного позвонка дуги сколиоза, которые между собой образуют наибольший угол искривления, была бы полезна в практике рентгенолога.

Кроме того, программа ИИ позволяет врачу-рентгенологу изменять разметку позвонков, которую она сделала автоматически. Это очень важно, поскольку любые ошибки в разметке могут привести к неверному

конечному результату. Дальнейший анализ результатов показал, что неточная разметка тел позвонков и их границ приводила к менее точным результатам измерения угла Кобба и определения степени сколиоза. В основном такие ошибки наблюдались при оценке сколиоза на некачественных снимках и на рентгенограммах ОГК. Границы позвонков среднегрудного отдела на снимках обычно не видны на фоне органов средостения. Многие нормальные снимки ОГК (0 степень, определяемая рентгенологом) были распознаны программой как сколиоз I степени по причине обнаружения кривой с ложноположительными результатами (проксимальная или среднегрудная кривая) (рис. 5). Ещё одна распространённая ошибка также наблюдалась при разметке границ тела позвонка L V (рис. 6). Прилегающие костные структуры (соседние крестцовые и подвздошные кости) затрудняют определение границ тела L V, в особенности его нижней замыкательной пластинки.

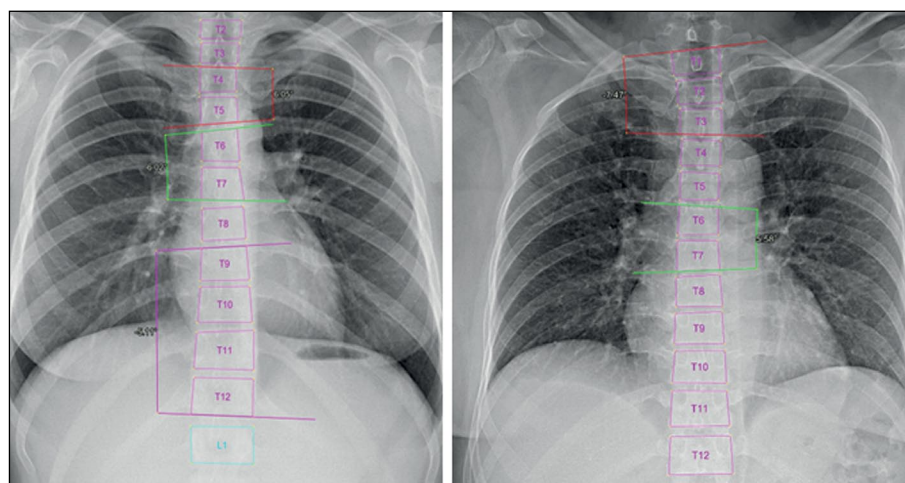


Рис. 5. Ошибки в разметке позвонков на рентгенограммах с степенью 0 (норма). На снимках органов грудной клетки нечёткая визуализация границ позвонков может привести к ложным результатам измерений.

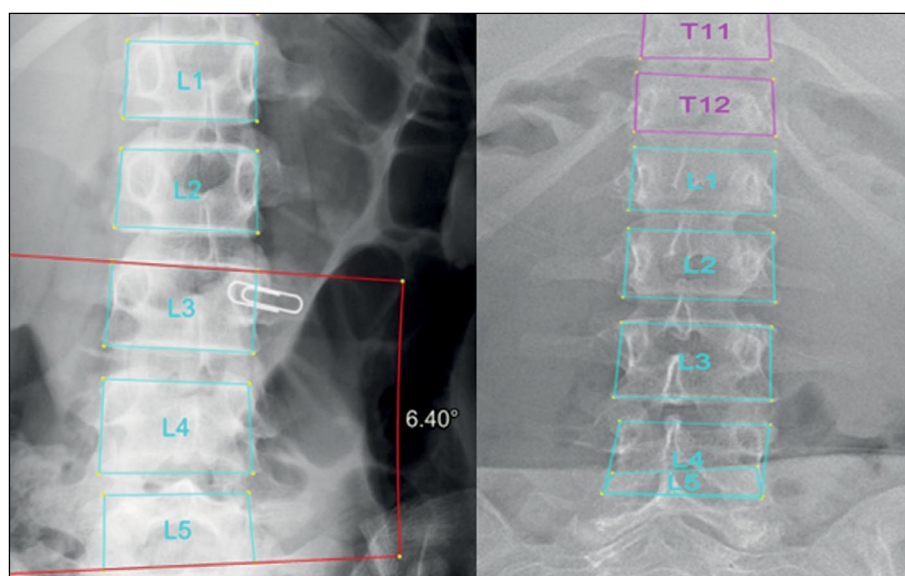


Рис. 6. Ошибки в разметке позвонков на рентгенограммах с оценкой 0 (норма). Ошибки в определении тела позвонка L V могут привести к ложноположительным результатам (слева).

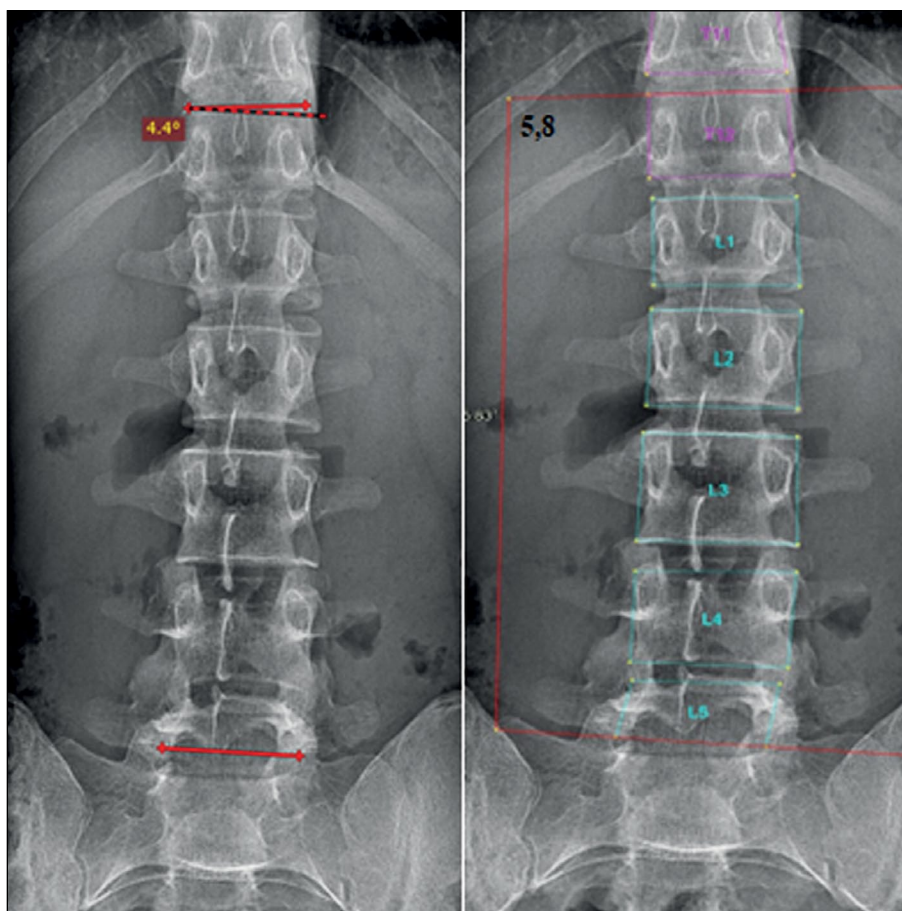


Рис. 7. Ошибки программы при оценке снимков со сколиозом 0 степени. Углы Кобба, измеренные рентгенологом (слева) и программой искусственного интеллекта (справа). Вариабельность измерений незначительна ($1,4^\circ$), однако врач определяет 0 степень сколиоза, а искусственный интеллект — I степень.

Что касается ошибок при оценке снимков со сколиозом группы «норма», большинство измерений, выполненных программой ИИ, превышали угол 5° , но были очень близки к нему. Однако такая минимальная вариабельность измерений между программой ИИ и рентгенологом приводила к изменению оценки сколиоза — с 0 на I степень (рис. 7). Большинство таких углов (70%) находилось в диапазоне $5\text{--}6^\circ$, как показано на круговой диаграмме (рис. 8).

В большинстве случаев программа точно оценивала рентгенограммы со сколиозом (III и IV степени), хотя иногда отмечались ошибки в определении и нумерации позвонков или ошибки в измерении угла Кобба. Сколиоз IV степени характеризуется максимальной ротацией позвонков, смещением ножки дуги позвонков за среднюю линию и деформацией тела позвонка. При этом обычная форма позвонка изменяется, а границы его тела становятся менее чёткими (рис. 9).

В некоторых случаях на точность программы в диагностике сколиоза III или IV степени не влияла значительная вариабельность измерений угла Кобба между программой и рентгенологом. Как правило, такие ошибки встречались при оценке вторичного искривления позвоночника (рис. 10).

Ещё одним ограничением является то, что предложенная программа ИИ может быть использована только для оценки фронтальных рентгенограмм. Эта программа не позволяет определять искривления позвоночника на боковых рентгенограммах и при других исследованиях, таких как компьютерная томография.

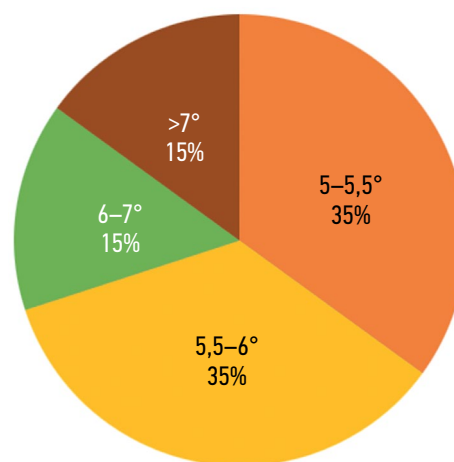


Рис. 8. Распределение углов Кобба, измеренных искусственным интеллектом на нормальных рентгеновских снимках (в группе рентгенограмм без сколиоза).

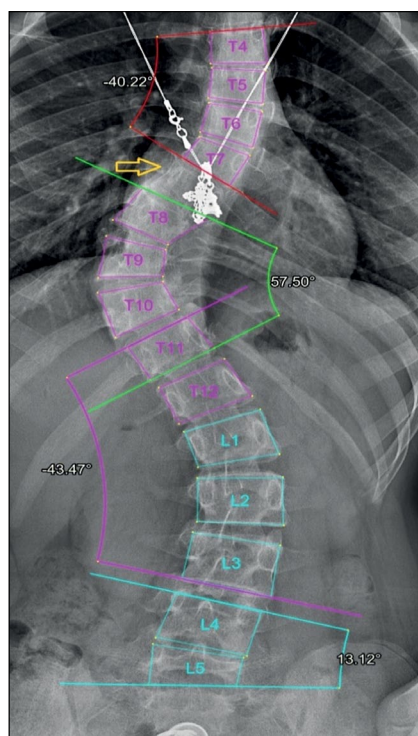


Рис. 9. Особенности разметки позвонков на рентгенограммах при сколиозе III и IV степени. Ошибки в определении и нумерации позвонков, обусловленные их нетипичной формой (жёлтая стрелка).

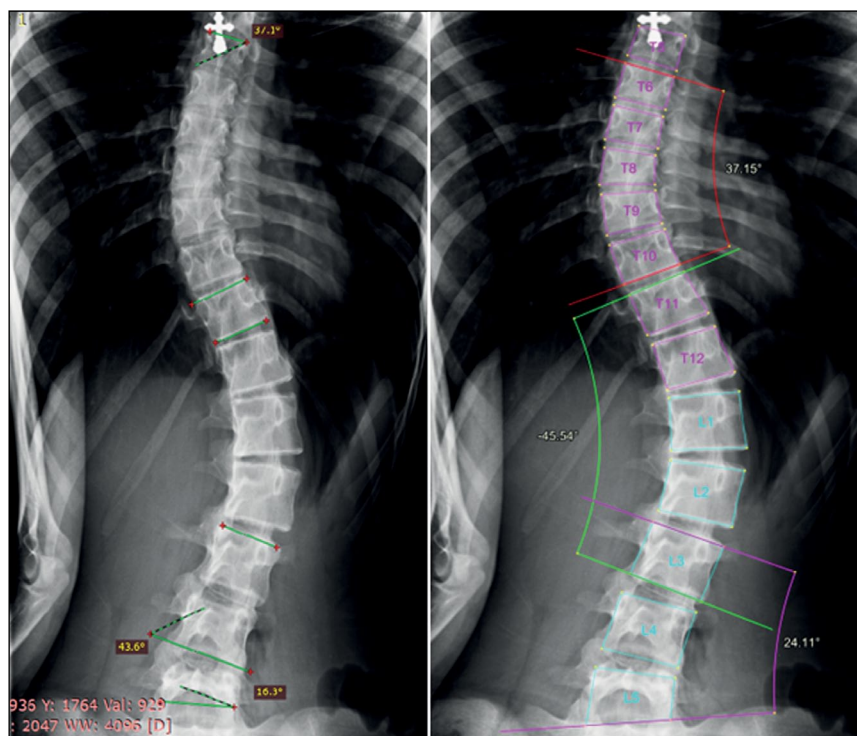


Рис. 10. Сколиоз III степени, диагностированный рентгенологом (слева) и искусственным интеллектом (справа). Значительная вариабельность при измерении поясничного изгиба (7,8°) не повлияла на общую оценку сколиоза.

Большинство вышеупомянутых ошибок могут быть устранены рентгенологами непосредственно при работе с программой, поскольку она предоставляет возможность изменять разметку позвонков для получения более точных результатов. Даже если рентгенолог будет вносить изменения в автоматическую разметку позвонков, выполняемую программой, он будет затрачивать гораздо меньше времени, необходимого для получения результатов, чем при обычном измерении сколиоза методом Кобба. Кроме того, мы считаем, что в будущем разметка позвонков может быть более точной при условии предоставления системе программе ИИ гораздо большего количества данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматическая система (программа ИИ) может служить надёжным объективным инструментом для определения степени сколиоза и измерения углов Кобба на фронтальных рентгенограммах позвоночника, значительно экономя время врача-рентгенолога. Основными факторами, которые могут повлиять на результаты работы программы, являются качество рентгенограмм и точность разметки позвонков. Эти факторы могут быть учтены на практике при использовании программы ИИ, так как рентгенолог может корректировать разметку позвонков и получать более точные результаты.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: Д.Х.И. Кассаб — обзор литературы, сбор и анализ литературных данных, написание текста и редактирование статьи, статистический анализ; И.Г. Камышанская — постановка цели и задач исследования, сбор и анализ материала исследования, организация взаимодействий между соавторами статьи, написание текста, редактирование статьи; С.В. Трухан — создание программ, концепция исследований, статистический анализ данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. D.Kh.I. Kassab — literature review, collection and analysis of literary

sources, writing the text and editing the article, statistical analysis; I.G. Kamyshanskaya — research concepts, data collection, analysis and review of the results, organizing communications between co-authors, writing the text, editing the article; S.V. Trukhan — program creation, research concepts and statistical analysis.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Negrini S., Donzelli S., Aulisa A.G., et al. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth // *Scoliosis*. 2018. Vol. 3, N 13. doi: 10.1186/s13013-017-0145-8
2. Бирченко Н.С. Об асимметрии нагружения правой и левой ноги у детей, больных сколиозом // *Фундаментальные исследования*. 2005. № 4. С. 9–12. EDN: IUMILP
3. Ортопедия. Клинические рекомендации / под ред. С.П. Миронова. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2018.
4. Котельников Г.П., Ларцев Ю.В., Рыжов П.В. Травматология и ортопедия. Издание 2-е, переработанное. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021.
5. Lenke C.L. Revised glossary of terms [Internet]. Milwaukee, WI : Scoliosis Research Society; c2023 [дата обращения: 05.06.2023]. Доступ по ссылке: <https://www.srs.org/professionals/online-education-and-resources/glossary/revised-glossary-of-terms>
6. O'Brien M.F., Kuklo T.R., Blanke K.M., et al. Radiographic Measurement Manual. Spinal Deformity Study Group. Miami, Florida : Medtronic Sofamor Danek USA, 2008.
7. Malfair D., Flemming A.K., Dvorak M.F., et al. Radiographic evaluation of scoliosis: review // *American journal of roentgenology*. 2010. Vol. 194, N 3. P. 8–22. doi: 10.2214/AJR.07.7145
8. Imhof H., Halpern B., Herneth A.M., et al. Direct diagnosis in radiology. Spinal imaging. 2nd ed. Thieme, 2021.
9. Kaul V., Enslin S., Gross S.A. History of artificial intelligence in medicine // *Gastrointest Endosc*. 2020. Vol. 92, N 4. P. 807–812. doi: 10.1016/j.gie.2020.06.040

10. Падалко М.А., Орлов С.В., Наумов А.М., Назариков С.И., Лушников А.А. Автоматическая система определения углов сколиотической деформации позвоночника человека // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: физико-математические и технические науки*. 2019. № 3. С. 55–68. EDN: WMP1XX
11. Леин Г.А., Нечаева Н.С., Мамедова Г.М. Автоматизация анализа рентгенограмм позвоночника для объективизации оценки степени тяжести сколиотической деформации при идиопатическом сколиозе (предварительное сообщение) // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2020. Т. 8, № 3. С. 317–326. EDN: SJOTEB doi: 10.17816/PTORS34150
12. Khanal B., Dahal L., Adhikari P., et al. Automatic Cobb angle detection using vertebra detector and vertebra corners regression. Cai Y, Wang L, Audette M, et al. Computational methods and clinical applications for spine imaging. Lecture Notes in Computer Science. Switzerland : Springer Nature, 2020. P. 81–87.
13. Horng M., Kuok S., Fu M., et al. Cobb angle measurement of spine from X-Ray images using convolutional neural network // *Computational and mathematical methods in medicine*. 2019. Vol. 2019. doi: 10.1155/2019/6357171
14. Pan Y., Chen Q., Chen T., et al. Evaluation of a computer-aided method for measuring the Cobb angle on chest X-rays // *Eur Spine journal*. 2019. Vol. 28, N 12. P. 3035–3043. doi: 10.1007/s00586-019-06115-w
15. Патент РФ на регистрацию базы данных № 2022620577/17.03.2022. Кассаба Д.Х.И., Камышанская И.Г., Черемисин В.М., Черемисин А.А. База данных рентгенограмм позвоночника со сколиозом различных степеней (XrScI).

REFERENCES

1. Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, et al. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis*. 2018;3(13). doi: 10.1186/s13013-017-0145-8
2. Birchenko NS. On the asymmetry of right and left leg loading in children with scoliosis. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2005;(4):9–12. (In Russ). EDN: IUMILP
3. Mironov SP, editor. *Orthopedics. Clinical Guidelines*. Moscow: GEOTAR-Media; 2018. (In Russ).
4. Kotelnikov GP, Lartsev YuV, Ryzhov PV. *Traumatology and Orthopedics. 2nd edition, revised*. Moscow: GEOTAR-Media; 2021. (In Russ).
5. Lenke CL. Revised glossary of terms [Internet]. Milwaukee, WI: Scoliosis Research Society; c2023 [cited 2023 Jun 05]. Available from: <https://www.srs.org/professionals/online-education-and-resources/glossary/revised-glossary-of-terms>
6. O'Brien MF, Kuklo TR, Blanke KM, et al. *Radiographic Measurement Manual. Spinal Deformity Study Group*. Miami, Florida: Medtronic Sofamor Danek USA; 2008.

7. Malfair D, Flemming AK, Dvorak MF, et al. Radiographic evaluation of scoliosis: review. *American journal of roentgenology*. 2010;194(3):8–22. doi: 10.2214/AJR.07.7145
8. Imhof H, Halpern B, Herneth AM, et al. *Direct diagnosis in radiology. Spinal imaging. 2nd ed*. Thieme; 2021.
9. Kaul V, Enslin S, Gross SA. History of artificial intelligence in medicine. *Gastrointest Endosc*. 2020;92(4):807–812. doi: 10.1016/j.gie.2020.06.040
10. Padalko MA, Orlov SV, Naumov AM, Nazarikov SI, Lushnikov AA. Automatic system for determining the angles of scoliotic deformity of the human spine. *Vestnik IKBFU. Physics, mathematics, and technology*. 2019;(3):55–68. EDN: WMP1XX
11. Lein GA, Nechaeva NS, Mammadova GM, Smirnov AA, Statsenko MM. Automation analysis X-ray of the spine to objectify the assessment of the severity of scoliotic deformity in idiopathic scoliosis: a preliminary report. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2020;8(3):317–326. EDN: SJOTEB doi: 10.17816/PTORS34150

12. Khanal B, Dahal L, Adhikari P, et al. Automatic Cobb angle detection using vertebra detector and vertebra corners regression. Cai Y, Wang L, Audette M, et al. *Computational methods and clinical applications for spine imaging. Lecture Notes in Computer Science*. Switzerland: Springer Nature, 2020. P:81–87.

13. Horng M, Kuok S, Fu M, et al. Cobb angle measurement of spine from X-Ray images using convolutional neural network. *Computational and mathematical methods in medicine*. 2019;2019. doi: 10.1155/2019/6357171

14. Pan Y, Chen Q, Chen T, et al. Evaluation of a computer-aided method for measuring the Cobb angle on chest X-rays. *Eur Spine journal*. 2019;28(12):3035–3043. doi: 10.1007/s00586-019-06115-w

15. Patent RUS database registration № 2022620577/ 17.03.2022. Kassab DKhl, Kamyshanskaya IG, Cheremisin VM, Cheremisin AA. *A database of spinal radiographs with different degrees of scoliosis (XrSci)*. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

*** Кассаб Дима Халед Ибрагим;**

адрес: Россия, Ленинградская область, 188514, пос. Ропша, ул. Ясная, д. 1;
ORCID: 0000-0001-5085-6614;
eLibrary SPIN: 4907-7850;
e-mail: DimaKK87@gmail.com

Камышанская Ирина Григорьевна, д-р. мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0002-8351-9216;
eLibrary SPIN: 2422-5191;
e-mail: irinaka@mail.ru

Трухан Станислав Вячеславович;

ORCID: 0000-0003-0688-0988;
e-mail: stas.truhan@gmail.com

AUTHORS' INFO

*** Dima Kh. I. Kassab, MD;**

address: 1 Yasnaya Str., Ropsha, Leningrad Region, 188514, Russia;
ORCID: 0000-0001-5085-6614;
eLibrary SPIN: 4907-7850;
e-mail: DimaKK87@gmail.com

Irina G. Kamyshanskaya, MD, Dr. Sci. (Medicine), Assistant Professor;

ORCID: 0000-0002-8351-9216;
eLibrary SPIN: 2422-5191;
e-mail: irinaka@mail.ru

Stanislau V. Trukhan;

ORCID: 0000-0003-0688-0988;
e-mail: stas.truhan@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623240>

Приоритетные параметры радиомического анализа для компьютерной томографии при злокачественных новообразованиях головы и шеи: систематический обзор

Ю.А. Васильев, О.Г. Нанова, И.А. Блохин, Р.В. Решетников,
А.В. Владзимирский, О.В. Омелянская

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Радиомика — новейшее и многообещающее направление современной лучевой диагностики. Число исследований злокачественных новообразований головы и шеи с помощью этого метода увеличивается с каждым годом. Мы провели систематический обзор новейших публикаций (2021–2023) по злокачественным новообразованиям головы и шеи, выполненным на основе компьютерной томографии.

Цель — систематизация данных по используемым параметрам радиомического анализа при раке головы и шеи, выявленным по данным компьютерной томографии.

Материалы и методы. Поиск статей осуществлялся в базе PubMed. Произведены извлечение базовых характеристик отобранных статей и оценка их качества по RQS 2.0 и модифицированному опроснику QUADAS-CAD. Оценили уровень воспроизводимости радиомических параметров, отобранных для прогностических моделей, в разных исследованиях. Для обзора отобрано 11 статей. В большинстве случаев отмечался высокий риск систематической ошибки, связанный с несбалансированностью выборки по демографическим параметрам и уровню патологий.

Результаты. При оценке качества радиомики диапазон баллов для исследованных статей изменяется от 19,44% до 50,00% максимально возможной суммы. Основные проблемы, влекущие за собой снижение качества исследований, обусловлены отсутствием внешней валидации результатов (73% проанализированных статей), а также недоступностью или непрозрачностью исследовательских данных (82%). Воспроизводимость радиомических параметров между исследованиями низкая из-за большого разнообразия используемых методик получения и постобработки изображений, а также извлечения и статистической обработки радиомических параметров.

Заключение. Обсуждается необходимость выделения базового блока устойчивых радиомических параметров для внедрения метода в клиническую практику, что возможно сделать только при стандартизации методов радиомики и создания открытой базы радиомических данных.

Ключевые слова: радиомика; злокачественные образования головы и шеи; радиомические параметры.

Как цитировать:

Васильев Ю.А., Нанова О.Г., Блохин И.А., Решетников Р.В., Владзимирский А.В., Омелянская О.В. Приоритетные параметры радиомического анализа для компьютерной томографии при злокачественных новообразованиях головы и шеи: систематический обзор // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 255–268. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623240>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623240>

Priority radiomic parameters for computed tomography of head and neck malignancies: A systematic review

Yuriy A. Vasilev, Olga G. Nanova, Ivan A. Blokhin, Roman V. Reshetnikov, Anton V. Vladzmyrskyy, Olga V. Omelyanskaya

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Radiomics is the newest and most promising direction in modern radiographic diagnostics. The number of head and neck cancer studies employing radiomics is increasing annually. A systematic review of recent publications (2021–2023) on computed tomography (CT) of head and neck malignancies was performed.

AIM: To present systematized data on parameters for radiomic analysis for head and neck malignancies identified by CT data.

MATERIALS AND METHODS: The literature search was carried out in PubMed. The basic characteristics of the selected articles were extracted, and their quality was assessed using RQS 2.0 and the modified QUADAS-CAD questionnaire. The reproducibility level of radiomic parameters selected for predictive models in different studies was assessed. Eleven articles were selected for the review. In most cases, a high risk of systematic error associated with data imbalance in terms of demographic parameters and level of pathologies was noted.

RESULTS: The range of RQS 2.0 scores for the included articles varied from 19.44% to 50.00% of the maximum possible score. The decreasing research quality was mainly caused by the lack of external result validation (73% of the analyzed articles) and data accessibility and transparency (82%). Inter-study reproducibility of radiomic parameters was low owing to the wide variety of techniques used for image acquisition, image post-processing, extraction, and statistical processing of radiomic parameters.

CONCLUSION: A set of stable radiomic parameters must be successfully introduced into clinical practice. The standardization of radiomics method and creation of an open radiomics database are necessary for this purpose.

Keywords: radiomics; head and neck cancer; radiomic parameters.

To cite this article:

Vasilev YuA, Nanova OG, Blokhin IA, Reshetnikov RV, Vladzmyrskyy AV, Omelyanskaya OV. Priority radiomic parameters for computed tomography of head and neck malignancies: A systematic review. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):255–268. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623240>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623240>

头颈部恶性肿瘤计算机断层扫描的优先放射组学分析 参数：系统综述

Yuriy A. Vasilev, Olga G. Nanova, Ivan A. Blokhin, Roman V. Reshetnikov,
Anton V. Vladzemyrskyy, Olga V. Omelyanskaya

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

摘要

论证。放射组学是现代放射治疗诊断中最新、最有前途的领域。使用这种方法对头颈部恶性肿瘤进行检查的数量每年都在增加。我们对基于计算机断层扫描的头颈部恶性肿瘤最新出版物（2021–2023 年）进行了系统综述。

目的是系统整理通过计算机断层扫描检测到的头颈部癌症的放射组学分析参数数据。

材料和方法。这些文章在 PubMed 数据库中进行了检索。我们提取了所选文章的基线特征，并使用 RQS 2.0 和修改后的 QUADAS-CAD 问卷对其质量进行了评估。我们评估了不同研究中预后模型所选放射组学参数的可重复性水平。我们选择了 11 篇文章进行审查。在大多数情况下，由于人口统计参数和病理学水平的取样不平衡，系统误差的风险很高。

结果。在评估放射组学的质量时，所分析文章的得分范围从最高可能得分的 19.44% 到 50.00% 不等。导致研究质量下降的主要问题是研究结果缺乏外部验证（占所分析文章的 73%），以及研究数据无法获取或缺乏透明度（占 82%）。由于所使用的图像采集和后处理技术种类繁多，以及对放射组学参数的提取和统计处理，不同研究之间放射组学参数的可重复性很低。

结论。讨论将该方法引入临床实践的基本稳定放射组学参数分配的必要性，这只有在放射组学方法标准化和建立开放的放射组学数据库的情况下才能实现。

关键词：放射组学；头颈部恶性肿瘤；放射组学参数。

引用本文：

Vasilev YuA, Nanova OG, Blokhin IA, Reshetnikov RV, Vladzemyrskyy AV, Omelyanskaya OV. 头颈部恶性肿瘤计算机断层扫描的优先放射组学分析参数：系统综述. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):255–268. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623240>

收到: 13.11.2023

接受: 04.12.2023

发布日期: 29.01.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Радиомика — новейшее направление современной медицины. Основная задача метода — повышение качества диагностики на основе параметров медицинских изображений, невидимых человеческому глазу: радиомических признаков [1]. Радиомический анализ в лучевой диагностике стремительно развивается [2]. Перспектива метода — широкое использование как вспомогательного инструмента для прогнозирования и принятия решений по тактике лечения.

На сегодняшний момент имеются несколько тысяч радиомических параметров [3], относящихся к трём основным группам:

- характеристики кривой, описывающие свойства изображения;
- текстурные параметры, то есть gray-scale матрицы, характеризующие соотношения пикселей;
- параметры формы.

В каждой из групп радиомических признаков выделяют несколько подгрупп.

Количество параметров, использованных в исследованиях, варьирует от нескольких десятков до нескольких тысяч и зависит от способа выделения радиомических признаков: вручную или благодаря алгоритмам машинного обучения [3, 4]. Распределение по основным группам определённых параметров также максимально разнообразно: могут быть включены все группы признаков в разных пропорциях, либо, например, включены только текстурные признаки и не включены параметры формы. Выбор числа радиомических признаков и их состава при ручной обработке («handcrafted features») в настоящий момент зависит в основном от выбранного приложения для анализа и интуиции исследователя.

Перспектива внедрения радиомики как вспомогательного диагностического инструмента во врачебную практику ставит вопрос об унифицировании набора радиомических признаков [5, 6]. Отобранные для широкого практического использования признаки должны быть воспроизводимы между разными исследованиями. Однако имеется целый ряд факторов, различающих эти исследования: анализируемые структуры, тип прогноза, способ получения и обработки изображений, статистические методы анализа радиомических признаков.

ЦЕЛЬ

Цель настоящего исследования — систематизация данных по используемым параметрам радиомического анализа при раке головы и шеи, выявленным по данным компьютерной томографии (КТ). Рак шеи и головы, включающий новообразования в области горла, гортани, носа, пазух и рта [7], был выбран как один из самых распространённых видов рака [8], требующий мультимодальной диагностики, начиная с КТ [9–11].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поисковая стратегия

Поиск осуществлялся в базе PubMed. Поисковый запрос ограничивался английским языком. Даты поиска выбраны таким образом, чтобы списки литературы в большинстве своём не перекрывались между нашим и другими исследованиями: с 15 ноября 2020 года по 1 июня 2023 года [12–14].

Поисковый запрос выглядел следующим образом:

«head and neck neoplasms»[MeSH Terms] AND («artificial intelligence»[MeSH Terms] OR («artificial»[All Fields] AND «intelligence»[All Fields]) OR «artificial intelligence»[All Fields] OR («deep learning»[MeSH Terms] OR («deep»[All Fields] AND «learning»[All Fields]) OR «deep learning»[All Fields]) OR («machine learning»[MeSH Terms] OR («machine»[All Fields] AND «learning»[All Fields]) OR «machine learning»[All Fields]) OR («neural networks, computer»[MeSH Terms] OR («neural»[All Fields] AND «networks»[All Fields] AND «computer»[All Fields]) OR «computer neural networks»[All Fields] OR («neural»[All Fields] AND «network»[All Fields]) OR «neural network»[All Fields]) OR «radiomic*»[All Fields] OR «radiomic features*»[All Fields] OR «radiomics features*»[All Fields]) AND («node*»[All Fields] OR «lymph node*»[All Fields] OR («nodal»[All Fields] OR «nodally»[All Fields] OR «nodals»[All Fields]) OR «metastas*»[All Fields]).

Критерии включения: оригинальные исследовательские статьи.

Критерии исключения: обзоры, метаанализы, а также клинические случаи, в которых исследовали опухоли шеи и головы радиомическими методами.

Дизайн исследования соответствует методическим рекомендациям PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) [15].

Названия и абстракты найденных по поисковому запросу статей были независимо проанализированы двумя экспертами. В результате был отобран ряд статей для полнотекстового анализа. В случае расхождений относительно включения статьи в анализ привлекался третий эксперт, принимавший финальное решение. Дополнительный анализ списков литературы включённых работ для выявления публикаций, подходящих для настоящего исследования («snowballing»), не проводился.

Извлечение информации и оценка качества статьи

Из полных текстов отобранных статей извлекали следующую информацию:

- имя первого автора и имя ответственного автора;
- название статьи, год выхода, DOI;
- название журнала, импакт-фактор;
- страна, где выполнили исследование;
- задачи исследования;
- дизайн (проспективное/ретроспективное, одноцентровое/многоцентровое);

- критерии включения/исключения пациентов;
- число пациентов, их пол и возраст;
- локализация опухоли и её тип;
- общее число извлечённых радиомических признаков;
- распределение радиомических признаков по классам (оценивалось или нет); если оценивалось, то рассматривали следующие классы:
 - параметры формы (2D и 3D);
 - параметры первого типа;
 - параметры второго типа: текстурные параметры с несколькими подгруппами (Gray Level Co-occurrence Matrix, GLCM; Gray Level Run Length Matrix, GLRLM; Gray Level Size Zone Matrix, GLSZM; Neighbouring Gray Tone Difference Matrix, NGTDM; Gray Level Dependence Matrix, GLDM);
- способ анализа радиомических признаков:
 - использовали машинное обучение или нет;
 - в случае «handcrafted radiomics» — использованные статистические методы для отбора радиомических признаков;
- число отобранных авторами радиомических признаков в качестве имеющих предсказательную силу, а также их значимость.

Качество отобранных статей оценено двумя способами: по специализированной для радиомических исследований системе RQS 2.0 (Radiomics Quality Score 2.0) [16] и по универсальной для медицинских исследований системе QUADAS-2 (Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies 2) [17, 18], модифицированной под задачи искусственного интеллекта — QUADAS-CAD

Анализ радиомических признаков

Из каждой отобранной статьи были извлечены радиомические признаки, определённые авторами как значимые для прогноза. Рассматривались признаки, полученные и на оригинальных изображениях, и на прошедших постпроцессинг. Учитывались признаки, отобранные разными статистическими методами: машинное обучение, регрессионный анализ, дисперсионный анализ, ресэмплинг (resampling), оценка по внутриклассовому коэффициенту корреляции. Если в исследовании тестировали несколько разных гипотез, то осуществлялось извлечение радиомических признаков, приведённых для каждой гипотезы отдельно. В двух исследованиях авторы для всех извлечённых радиомических параметров приводят в открытом доступе статистики, характеризующие устойчивость этих параметров — внутриклассовый коэффициент корреляции [19] и p -level для дисперсионного анализа [20], при этом не проводя редукцию числа параметров. В этих случаях мы, основываясь на приведённых открытых данных, самостоятельно отбирали наиболее устойчивые радиомические параметры для нашего анализа.

Оценивали степень перекрытия наборов значимых радиомических признаков как между исследованиями, так и внутри одного исследования для разных конечных точек.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Поиск литературы и отбор работ

По начальному поисковому запросу было получено 804 ссылки, у этих ссылок проанализировали названия и абстракты. В результате 762 ссылки были исключены как неподходящие (рассмотрены другие типы рака, не использовался радиомический анализ). По результатам анализа названия и абстракта включены 42 публикации (рис. 1). Из них в итоговый анализ было включено 11 статей, а 31 статья была исключена (11 статей использовали магнитно-резонансную томографию, 2 — ультразвуковое исследование; 7 исследовали рак щитовидной железы, 1 — рак пищевода; в 10 работах авторы не приводили используемые радиомические параметры).

Базовые характеристики статей

Приложение 1 суммирует базовые характеристики отобранных для обзора статей. Из 11 статей 5 выполнены в Китае [19, 21–24], 3 — в Европе (из них одна — в Италии) [25], и по одной статье — в Португалии/Австрии/Германии [26], Нидерландах [27], США [28], Канаде [20] и Тайланде [29]. Самые высокорейтинговые публикации были в журналах *Cancers* (импакт-фактор 6.575) [20] и *European Radiology* (импакт-фактор 6.020) [21]. Все исследования — ретроспективные. Восемь из включённых исследований — одноцентровые [20–23, 25, 27–29], три — многоцентровые [19, 24, 26].

Радиомические признаки использовали для прогноза общей выживаемости [25, 26, 29], выживаемости без прогрессирования [25, 29], выживаемости без отдалённых метастазов [28], риска локорегиональных рецидивов [25, 26, 28], оценки появления отдалённых метастазов [26], предоперационного прогнозирования метастазов в лимфатических узлах [21, 23, 24], классификации увеличенных шейных узлов [22]. В одной работе исследовали влияние устойчивости радиомических параметров на качество радиомических моделей [18]. Различия в свойствах радиомических признаков в зависимости от расположения опухоли исследовали в одной статье [20]. Валидацию ранее построенной модели на других данных проводили в одной работе [27].

Качество включённых работ по шкале RQS 2.0

Приложение 2 суммирует оценку качества статей по специализированной системе для радиомического анализа RQS 2.0 [4]. Диапазон баллов для исследованных статей изменяется от 7 (19,44%) [20] до 18 (50,00%) [22] из возможных 36 (100%) баллов, при среднем значении и стандартном отклонении 10 и 4 соответственно.



Рис. 1. Блок-схема систематического поиска литературы. МРТ — магнитно-резонансная томография, УЗИ — ультразвуковая диагностика

В 7 из 11 случаев (64%) процесс получения изображений был хорошо задокументирован [21–26, 28]. Пять работ (45%) учитывали влияние сегментации (повторная сегментация двумя исследователями, алгоритмы сегментации, внесение случайного шума) на извлечение радиомических признаков [22, 23, 25, 29, 30]. Х. Teng и соавт. [20] оценивали надёжность радиомических признаков при мультицентровом характере исследований, а также влияние разных признаков на надёжность моделей в целом. Ни в одной из рассматриваемых работ не проводили анализа устойчивости радиомических признаков к временным вариациям (например, движению органов, увеличению/уменьшению размеров органов). Проблема переобучения моделей и редукция числа радиомических признаков в моделях с выбором наиболее значимых рассматривалась в 10 статьях (91%) [19, 21–29]. Построение моделей на объединённых наборах радиомических и клинических признаков, сопоставление смешанных, радиомических и клинических моделей проводили в 8 работах (73%) [22, 24–30]. Во всех исследованиях (100%) приводятся значения достоверности и качества дискриминации (AUC, p-value, в том числе полученные при ресэмплировании данных) [31]. Достаточно низкие показатели найдены для валидации полученных радиомических моделей. Так, валидацию использовали всего в 3 статьях (27%) [20, 23, 26], из них только в одной работе (9%) использовали валидацию с привлечением данных из другого центра [26].

Кроме того, низкие показатели в плане прозрачности данных: только в двух статьях данные находятся в открытом доступе — сами изображения [25] и извлечённые радиомические признаки [18].

Качество включённых работ по шкале QUADAS-CAD

Табл. 1 и табл. 2 суммируют оценку риска систематической ошибки, данную по QUADAS-CAD [17]. Общий риск систематической ошибки высок в 6 из 11 проанализированных статей (54,5%) [19, 20, 25, 26, 28, 29]. В 5 из 11 статей (45,5%) риск систематической ошибки низкий [21–24, 27]. Риск систематической ошибки из-за несбалансированности данных высокий в 7 исследованиях (64%) [19, 20, 23, 25, 26, 28, 29] и низкий в 4 (36%) [21, 22, 24, 27]. В большинстве случаев этот риск связан с несбалансированностью выборки по демографическим параметрам и характеру патологий. Машинное обучение использовали в шести статьях [19, 20, 22, 24, 26, 28], соответственно, часть вопросов блока D2 имеет отношение только к ним. Вероятность систематической ошибки вследствие выбранного способа использования и интерпретации индексных тестов была высокой в 4 исследованиях (36%) [19, 20, 26, 29], умеренной в 1 случае (9,5%) [28] и низкой в 6 работах (54,5%) [21–25, 27]. В большинстве случаев (64%) риск ошибки, связанный с оценкой референсных стандартов, был низким [19, 21–24, 27, 29].

Таблица 1. Опросник по QUADAS-CAD

Домен	Вопросы	Franzese C., 2023	Gonçalves M., 2022	Zhao X., 2023	Teng X., 2022	Zhang W., 2022	Yang G., 2022	Intarak S., 2022	Morgan H., 2021	Li J., 2021	Liu X., 2021	Zhai T., 2021
D1	Были ли данные (обучающие и тестовые наборы) сбалансированы по тяжести (включая отсутствие) целевой патологии?	нет	нет	да	неясно	да	да	нет	нет	да	нет	да
	Были ли данные (обучающие и тестовые наборы) сбалансированы с точки зрения демографических факторов?	нет	нет	да	неясно	да	нет	нет	неясно	да	нет	да
	Избежало ли исследование неуместных исключений?	да	нет	да	неясно	да	да	неясно	неясно	да	неясно	да
	Если использовалась нейронная сеть, были ли наборы данных обучения и тестирования не пересекающимися или похожими?	–	да	–	неясно	да	–	–	да	да	неясно	–
D2	Если использовалась нейронная сеть, был ли рационален размер каждого набора данных?	–	нет	–	да	да	–	–	да	да	да	–
	Если использовался порог патологии, был ли он установлен заранее?	да	–	да	–	да	да	нет	неясно	да	неясно	да
	Если использовался порог принятия решения (для искусственного интеллекта), был ли он задан заранее?	–	–	–	–	–	–	–	неясно	–	–	–
	Может ли референсный стандарт правильно классифицировать целевое состояние?	неясно	неясно	да	да	да	да	да	неясно	да	да	да
D3	Были ли результаты референсных стандартов подготовлены или проверены с необходимым уровнем экспертизы?	неясно	неясно	да	да	неясно	да	да	неясно	да	неясно	да
	Была ли прозрачность в том, как были получены результаты?	неясно	да	да	да	да	да	да	нет	да	да	да
	Все ли данные пациентов имели один и тот же референсный стандарт?	неясно	да	да	да	неясно	да	да	нет	неясно	нет	да

Таблица 2. Оценка риска смещения по QUADAS-CAD

Первый автор, год	D1	D2	D3	D4	Общая оценка	Вес (%)
Franzese C., 2023	высокий	низкий	некоторые сомнения	высокий	высокий	2
Gonçalves M., 2022	высокий	высокий	некоторые сомнения	низкий	высокий	4
Zhao X., 2023	низкий	низкий	низкий	низкий	низкий	10
Teng X., 2022	высокий	высокий	низкий	низкий	высокий	32
Zhang W., 2022	низкий	низкий	низкий	низкий	низкий	6
Yang G., 2022	высокий	низкий	низкий	низкий	низкий	4
Intarak S., 2022	высокий	высокий	низкий	низкий	высокий	4
Morgan H., 2021	высокий	некоторые сомнения	высокий	высокий	высокий	1
Li J., 2021	низкий	низкий	низкий	низкий	низкий	15
Liu X., 2021	высокий	высокий	некоторые сомнения	высокий	высокий	14
Zhai T., 2021	низкий	низкий	низкий	низкий	низкий	6

В некоторых случаях был не ясен уровень компетенций врачей, оценивающих референсные значения; в связи с этим риск систематической ошибки был оценён как высокий (27%) [28] или умеренный (9%) [20, 25, 26]. Высокая вероятность систематических ошибок вследствие гетерогенности данных была обнаружена в 3 исследованиях (27%) [20, 25, 28], а низкая — в 8 исследованиях (73%) [19, 21–24, 26, 27, 29]. Причина неоднозначности оценок в некоторых случаях обусловлена низким уровнем детализации при описании путей анализа данных.

Использованные методы в статьях

Число извлечённых радиомических признаков варьирует от 36 [20] до 5486 [19]. Подробная информация о распределении извлечённых радиомических признаков по классам приводится в 5 статьях [22, 23, 25, 26, 28].

Машинное обучение для радиомического анализа использовали в 6 исследованиях [19, 20, 22, 24, 26, 28]. В остальных 5 работах для оценки значимости радиомических признаков в прогнозах использовали регрессионный анализ [25, 29], дисперсионный анализ (ANOVA) [23], внутриклассовый коэффициент корреляции (ICC) [29], ресэмплирование данных [28], одномерные тесты для попарного сравнения признаков (t-test, Mann–Whitney U test, chi-square test, Fisher exact test) [21, 23, 27].

Число отобранных признаков в статьях варьирует от 2 [25, 27] до 19 [26]. В двух статьях авторы не производят отбор наиболее значимых признаков, а приводят соответствующие статистики для каждого из извлечённых

признаков в приложении — ICC [19] и процент повторов признаков в репликах [28].

Анализ воспроизводимости признаков

Всего в 11 исследованиях в качестве валидных для прогностических моделей отобран 191 радиомический признак (см. Приложение 1), среди которых к признакам первого порядка относятся 47. Из них в пяти случаях (11%) один и тот же признак встречается в двух разных исследованиях, в остальных случаях признаки между исследованиями не повторяются. К характеристикам формы относятся 25 радиомических признаков. Из них в пяти случаях (20%) один и тот же признак встречается в двух разных исследованиях. В двух случаях (8%) один и тот же признак встречается в трёх разных исследованиях. В остальных случаях признаки между исследованиями не повторяются. К признакам второго порядка относятся 119 радиомических признаков. Из них в одном (0,8%) случае один и тот же признак встречается в двух разных исследованиях.

В двух статьях радиомические признаки практически полностью воспроизводятся для разных моделей [23, 29]. Ещё в двух исследованиях радиомические признаки не воспроизводятся между разными моделями [25, 28].

ОБСУЖДЕНИЕ

В статье суммированы работы по радиомическому анализу злокачественных новообразований головы

и шеи при КТ за 2021–2023 гг. с фокусом на формировании списка часто используемых и надёжных радиомических параметров. В проанализированной литературе наблюдается большое разнообразие использованных подходов: начиная от способов получения изображений и их постобработки, до привлекаемых программ для извлечения радиомических параметров и статистических методов их обработки. Кроме того, при построении прогностических радиомических моделей всегда проводится редукция числа радиомических параметров. Отбор параметров осуществляется самыми разными методами — от одномерных статистических тестов до машинного обучения — и определяется исключительно предпочтениями авторов. Выбранные статистические методы редукции числа признаков также существенно влияют на результат отбора параметров. Одна из основных проблем современной радиомики — сложность генерализации и внедрения в практику успехов отдельных исследований — не решена до настоящего момента, что подчёркивают результаты последнего метаанализа метаанализов [30].

Качество исследований

Анализ в сравнительном аспекте предыдущих систематических обзоров радиомических исследований злокачественных образований головы и шеи [13, 32] и нашего нового исследования обнаруживает ряд методологических проблем, сохраняющихся в течение десятилетия.

Одна из основных проблемных точек радиомических исследований — отсутствие валидации полученных радиомических моделей на внешних данных. В проанализированном нами наборе статей только в одном случае проводили валидацию с привлечением данных из другого центра [33].

Другая ключевая проблема — это непрозрачность данных и недостаточно полное описание методик анализа, что препятствует воспроизведению полученных в таких работах результатов. Хотя не секрет, что воспроизводимость результата — один из базовых критериев научного подхода, а также основа для внедрения метода в практику [34].

Наши выводы согласуются с оценками, данными в других систематических обзорах. Так, во всех четырёх найденных нами обзорах исследований злокачественных образований головы и шеи [12, 13, 32, 35] отмечается недостаток валидации результатов на внешних данных. С. Giannitto и соавт. [13] отмечают также непрозрачность использованных в исследованиях методик, обусловленную недостаточно подробным описанием хода исследования, и отсутствие оценок потенциала внедрения результатов в клиническую практику. А. Guha и соавт. [12] отмечают высокую гетерогенность в методиках, что затрудняет обобщение результатов исследований.

В настоящий момент активно развивается инициатива по стандартизации биомаркёров лучевой диагностики IBSI [36]. С учётом детальности проработки проблемы и числа

участников сообщества, данная инициатива может стать прекрасным шагом на пути к решению проблемы непрозрачности радиомического анализа. Тщательное планирование клинических испытаний алгоритмов на основе интеллектуальных технологий также может повысить воспроизводимость и надёжность результатов [37].

Создание открытого пространства для радиомических исследований позволит размещать там и отрицательные результаты, которые, как правило, не публикуются в рецензируемых источниках из-за так называемой «положительной систематической ошибки» [38]. Это крайне важно для минимизации систематических ошибок при оценке эффективности радиомического подхода. Дополнительно, благодаря мета-исследованию В. Коса и соавт. [39], можно выделить проблемы преобладания ретроспективного дизайна исследований (95%, 142 из 149) и отсутствия референс-теста в значительной части работ (44%, 66 из 149) [39].

Основной частью рассматриваемого метода являются радиомические параметры, описывающие взаимоотношения между вокселями, 2D- и 3D-характеристики образований и другие их свойства. На текущий момент известно несколько тысяч таких параметров, однако консенсус по диагностической ценности как каждого из них, так и различных их сочетаний не достигнут. В проанализированных статьях наблюдается большой разброс в числе выбранных признаков — от единиц до тысяч. Подробно группы признаков, отражающие разные свойства новообразований, описываются в менее чем половине исследований. А в трёх статьях авторы вообще не заостряют внимание на том, какие именно радиомические параметры попали в модели. Устойчивость радиомических параметров в многоцентровых исследованиях оценивали только в одной работе из проанализированных.

Для возможности внедрения прогностических радиомических моделей в широкую клиническую практику назрела необходимость выделения блока приоритетных параметров, основанных на оценке их устойчивости и воспроизводимости. Нами была сделана попытка выбрать наиболее часто встречающиеся в прогностических моделях радиомические параметры. Результаты показали, что воспроизводимость радиомических параметров крайне низка, что происходит из-за большого разнообразия используемых методик. Это согласуется с предположениями предыдущих исследователей о том, что радиомические параметры могут быть случайны и не воспроизводимы [40]. Рекомендовать какой-то блок радиомических параметров для практического использования в настоящий момент нельзя. Прежде всего должна быть проведена унификация радиомических методик и приняты рекомендуемые стандарты, после чего возможно будет выделить базового блока радиомических параметров с целью внедрения радиомического анализа медицинскую визуализацию [41]. Унификация радиомического анализа также зависит от работ в области стандартизации протоколов исследований и контроля постобработки [42].

Ограничения нашего подхода

Наша работа имеет ряд ограничений, характерных для систематических обзоров. Поскольку нашей задачей было обеспечить максимально широкий обзор существующих на данный момент исследований злокачественных новообразований головы и шеи, в обзор включены исследования и первичных, и вторичных новообразований, а также разных в гистологическом плане опухолей головы и шеи.

Поиск ограничивался базой PubMed и англоязычными работами, что, вероятно, несколько уменьшило число обнаруженных нами исследований.

Во всех исследованиях наблюдалась несбалансированность данных. Были включены только случаи патологий и не были включены непатологические случаи. Кроме того, наблюдается несбалансированность данных по демографическим параметрам.

Всё это позволило провести нам только качественный синтез с использованием описательной статистики, а не полноценный метаанализ. Тем не менее наше исследование выявило основные проблемные точки в современной радиомике и дальнейшее направление исследований в этой области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Радиомика — динамично развивающаяся современная область. Наблюдается нарастающее число исследований с применением радиомических подходов. Мы обнаружили, что основные проблемы в этой области, препятствующие внедрению этого многообещающего метода в клиническую практику, — это низкая прозрачность исследований, отсутствие открытых баз данных и отсутствие унифицированных подходов к радиомическим исследованиям. Основным направлением в развитии радиомики должно быть создание общепринятых стандартов в получении изображений, их обработке и стратегиях моделирования. Важно при проведении исследований использовать инструменты для оценки рисков систематической ошибки, например, QUADAS-2 или его модифицированные для определённых задач варианты, и учитывать рекомендации по снижению этих рисков. Необходимо также, чтобы радиомические данные были общедоступны, как это принято, например, для генетических исследований. Создание блока устойчивых радиомических параметров — необходимое условие для внедрения метода в клиническую практику. Платформа IBSI является хорошим решением для стандартизации и публикации в открытом доступе радиомических данных.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Приложение 1 «Базовые характеристики статей»

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623240-4214843>

Приложение 2 «Оценка качества радиомики по RQS-2.0»

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623240-4214842>

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы «Научное обоснование методов лучевой диагностики опухолевых заболеваний с использованием радиомического анализа» (№ в Единой государственной информационной системе учёта: № 123031500005-2) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Ю.А. Васильев, А.В. Владзимирский, О.В. Омелянская — концепция исследования, согласование финальной версии рукописи; Р.В. Решетников, И.А. Блохин, О.Г. Нанова — обзор литературы, анализ данных, написание текста статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Additional materials.

Supplement 1. Basic characteristics of articles.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623240-4214843>

Supplement 2. Radiomics quality assessment according to RQS-2.0.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623240-4214842>

Funding source. This paper was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled “Scientific evidence for using radiomics-guided medical imaging to diagnose cancer”, No. 123031400009-1” (USIS No. 123031500005-2), in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 “On approval of state assignments funded by means of allocations from the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025” issued by the Moscow Health Care Department.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Authors' contribution. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, conduct of the study and preparation of the article, read and approved the final version before publication. The contribution is distributed as follows: Yu.A. Vasilev, A.V. Vladzymirsky, O.V. Omelyanskaya — study concept, approval of the final version of the manuscript; R.V. Reshetnikov, I.A. Blokhin, O.G. Nanova — literature review, data analysis, writing the text of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rizzo S., Botta F., Raimondi S., et al. Radiomics: the facts and the challenges of image analysis // *Eur Radiol Exp*. 2018. Vol. 2. doi: 10.1186/s41747-018-0068-z
2. Lambin P., Leijenaar R., Deist T., et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine // *Nat Rev Clin Oncol*. 2017. Vol. 14. P. 749–762. doi: 10.1038/nrclinonc.2017.141
3. Mayerhoefer M.E., Materka A., Langs G., et al. Introduction to Radiomics // *J Nucl Med*. 2020. Vol. 61, N 4. P. 488–495. doi: 10.2967/jnumed.118.222893
4. Wan Y., Yang P., Xu L., et al. Radiomics analysis combining unsupervised learning and handcrafted features: A multiple-disease study // *Medical Physics*. 2021. Vol. 48, N 11. P. 7003–7015. doi: 10.1002/mp.15199
5. Zwanenburg A., Vallières M., Abdalah M.A., et al. The Image Biomarker Standardization Initiative: Standardized Quantitative Radiomics for High-Throughput Image-based Phenotyping // *Radiology*. 2020. Vol. 295, N 2. doi: 10.1148/radiol.2020191145
6. Berenguer R., Pastor-Juan M., Canales-Vázquez J., et al. Radiomics of CT Features May Be Nonreproducible and Redundant: Influence of CT Acquisition Parameters // *Radiology*. 2018. Vol. 288, N 2. doi: 10.1148/radiol.2018172361
7. Laura Q.M., Chow M.D. Head and Neck Cancer // *N Engl J Med*. 2020. Vol. 382. P. 60–72. doi: 10.1056/NEJMra1715715
8. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries // *Ca Cancer J Clin*. 2021. Vol. 71, N 3. P. 209–249. doi: 10.3322/caac.21660
9. Болотина Л.В., Владимирова Л.Ю., Деньгина Н.В., Новик А.В., Романов И.С. Практические рекомендации по лечению злокачественных опухолей головы и шеи // *Злокачественные опухоли*. 2020. Т. 10, № 3s2-1. С. 93–108. doi: 10.18027/2224-5057-2020-10-3s2-06
10. Bossi P., Chan A.T., Licitra L., et al. Nasopharyngeal carcinoma: ESMO-EURACAN Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up // *Annals of oncology*. 2021. Vol. 32, N 4. P. 452–465. doi: 10.1016/j.annonc.2020.12.007
11. Петровичев В.С., Неклюдова М.В., Синицын В.Е., Никитин И.Г. Двухэнергетическая компьютерная томография рака головы и шеи // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 3. С. 343–355. doi: 10.17816/DD62572
12. Guha A., Connor S., Anjari M., et al. Radiomic analysis for response assessment in advanced head and neck cancers, a distant dream or an inevitable reality? A systematic review of the current level of evidence // *BJR*. 2019. Vol. 93, N 1106. doi: 10.1259/bjr.20190496
13. Giannitto C., Mercante G., Ammirabile A., et al. Radiomics-based machine learning for the diagnosis of lymph node metastases in patients with head and neck cancer: Systematic review // *Head & Neck*. 2022. Vol. 45, N 2. P. 482–491. doi: 10.1002/hed.27239
14. Yu Y., Li X., Li W., Wang H., Wang Y. Pretreatment radiomics power in evaluating neoadjuvant chemotherapy response and outcome for patients with head and neck squamous cell carcinoma: a systematic review and meta-analysis. Preprint. 2023. doi: 10.21203/rs.3.rs-2530190/v1
15. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews // *BMJ*. 2021. Vol. 372. doi: 10.1136/bmj.n71
16. Radiomics Quality Score — RQS 2.0. [Internet]. [дата обращения 01.01.2023]. Доступ по ссылке: <https://www.radiomics.world/rqs2>
17. Kodenko M.R., Vasilev Y.A., Vladzmyrskyy A.V., et al. Diagnostic Accuracy of AI for Opportunistic Screening of Abdominal Aortic Aneurysm in CT: A Systematic Review and Narrative Synthesis // *Diagnostics*. 2022. Vol. 12, N 12. P. 3197. doi: 10.3390/diagnostics12123197
18. Коденко М.Р., Решетников Р.В., Макарова Т.А. Инструмент оценки качества исследований диагностической точности алгоритмов искусственного интеллекта (QUADAS-CAD) // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № S1. С. 4–5. doi: 10.17816/DD105567
19. Teng X., Zhang J., Ma Z., et al. Improving radiomic model reliability using robust features from perturbations for head-and-neck carcinoma // *Front. Oncol*. 2022. Vol. 12. doi: 10.3389/fonc.2022.974467
20. Liu X., Maleki F., Muthukrishnan N., et al. Site-Specific Variation in Radiomic Features of Head and Neck Squamous Cell Carcinoma and Its Impact on Machine Learning Models // *Cancers*. 2021. Vol. 13, N 15. doi: 10.3390/cancers13153723
21. Zhao X., Li W., Zhang J., et al. Radiomics analysis of CT imaging improves preoperative prediction of cervical lymph node metastasis in laryngeal squamous cell carcinoma // *European Radiology*. 2023. Vol. 33. P. 1121–1131. doi: 10.1007/s00330-022-09051-4
22. Zhang W., Peng J., Zhao S., et al. Deep learning combined with radiomics for the classification of enlarged cervical lymph nodes // *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*. 2022. Vol. 148. P. 2773–2780. doi: 10.1007/s00432-022-04047-5
23. Yang G., Yang F., Zhang F., et al. Radiomics Profiling Identifies the Value of CT Features for the Preoperative Evaluation of Lymph Node Metastasis in Papillary Thyroid Carcinoma // *Diagnostics*. 2022. Vol. 12, N 5. doi: 10.3390/diagnostics12051119
24. Li J., Wu X., Mao N., et al. Computed Tomography-Based Radiomics Model to Predict Central Cervical Lymph Node Metastases in Papillary Thyroid Carcinoma: A Multicenter Study // *Front. Endocrinol*. 2021. Vol. 12. doi: 10.3389/fendo.2021.741698
25. Franzese C., Lillo S., Cozzi L., et al. Predictive value of clinical and radiomic features for radiation therapy response in patients with lymph node-positive head and neck cancer // *Head & Neck*. 2023. Vol. 45, N 5. P. 1184–1193. doi: 10.1002/hed.27332
26. Gonçalves M., Gsaxner Ch., Ferreira A., et al. Radiomics in Head and Neck Cancer Outcome Predictions // *Diagnostics*. 2022. Vol. 12, N 11. doi: 10.3390/diagnostics12112733
27. Zhai T., Wesseling F., Langendijk J., et al. External validation of nodal failure prediction models including radiomics in head and neck cancer // *Oral Oncology*. 2021. Vol. 112. doi: 10.1016/j.oraloncology.2020.105083
28. Morgan H.E., Wang K., Dohopolski M., et al. Exploratory ensemble interpretable model for predicting local failure in head and neck cancer: the additive benefit of CT and intra-treatment cone-beam computed tomography features // *Quant Imaging Med Surg*. 2021. Vol. 11, N 12. P. 4781–4796. doi: 10.21037/qims-21-274
29. Intarak S., Chongpison Y., Vimolnoch M., et al. Tumor Prognostic Prediction of Nasopharyngeal Carcinoma Using CT-Based Radiomics in Non-Chinese Patients // *Front. Oncol*. 2022. Vol. 12. doi: 10.3389/fonc.2022.775248
30. Zhong J., Lu J., Zhang G., et al. An overview of meta-analyses on radiomics: more evidence is needed to support

clinical translation // *Insights Imaging*. 2023. Vol. 14. doi: 10.1186/s13244-023-01437-2

31. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617324/ 19.04.2022. Морозов С.П., Андрейченко А.Е., Четвериков С.Ф., и др. Веб-инструмент для выполнения ROC анализа результатов диагностических тестов: № 2022616046.

32. Giraud P., Giraud Ph., Gasnier A., et al. Radiomics and Machine Learning for Radiotherapy in Head and Neck Cancers // *Front. Oncol*. 2019. Vol. 9. doi: 10.3389/fonc.2019.00174

33. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023619686/ 15.05.2023. Васильев Ю.А., Владимировский А.В., Омелянская О.В., и др. Веб-инструмент для контроля качества датасетов: № 2023617136.

34. Gundersen O.E., Kjetsmo S. State of the Art: Reproducibility in Artificial Intelligence // *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 2018. Vol. 32, N 1. doi: 10.1609/aaai.v32i1.11503

35. Tortora M., Gemini L., Scaravilli A., et al. Radiomics Applications in Head and Neck Tumor Imaging: A Narrative Review // *Cancers*. 2023. Vol. 15, N 4. doi: 10.3390/cancers15041174

36. Image Biomarker Standardisation Initiative (IBSI) [Internet]. [дата обращения: 01.01.2023]. Доступ по ссылке: <https://theibsi.github.io/>

37. Морозов С.П., Владимировский А.В., Кляшторный В.Г., и др. Клинические испытания программного обеспечения на

основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика). Москва, 2019.

38. Buvat I., Orhac F. The Dark Side of Radiomics: On the Paramount Importance of Publishing Negative Results // *The Journal of Nuclear Medicine*. 2019. Vol. 60, N 11. P. 1543–1544. doi: 10.2967/jnumed.119.235325

39. Kocak B., Bulut E., Bayrak O.N., et al. NEgative results in Radiomics research (NEVER): A meta-research study of publication bias in leading radiology journals // *European Journal of Radiology*. 2023. Vol. 163. doi: 10.1016/j.ejrad.2023.110830

40. Berenguer R., Pastor-Juan M.R., Canales-Vázquez J., et al. Radiomics of CT Features May Be Nonreproducible and Redundant: Influence of CT Acquisition Parameters // *Radiology*. 2018. Vol. 288, N 2. doi: 10.1148/radiol.2018172361

41. Морозов С.П., Линденбрaten Л.Д., Габай П.Г., и др. Основы менеджмента медицинской визуализации / под ред. С.П. Морозова. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020. doi: 10.33029/9704-5247-9-MEN-2020-1-424

42. Хоружая А.Н., Ахмад Е.С., Семенов Д.С. Роль системы контроля качества лучевой диагностики онкологических заболеваний в радиомике // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 2. С. 170–184. doi: 10.17816/DD60393

REFERENCES

1. Rizzo S, Botta F, Raimondi S, et al. Radiomics: the facts and the challenges of image analysis. *Eur Radiol Exp*. 2018;2. doi: 10.1186/s41747-018-0068-z

2. Lambin P, Leijenaar R, Deist T, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nat Rev Clin Oncol*. 2017;14:749–762. doi: 10.1038/nrclinonc.2017.141

3. Mayerhoefer ME, Materka A, Langs G, et al. Introduction to Radiomics. *J Nucl Med*. 2020;61(4):488–495. doi: 10.2967/jnumed.118.222893

4. Wan Y, Yang P, Xu L, et al. Radiomics analysis combining unsupervised learning and handcrafted features: A multiple-disease study. *Medical Physics*. 2021;48(11):7003–7015. doi: 10.1002/mp.15199

5. Zwanenburg A, Vallières M, Abdalah MA, et al. The Image Biomarker Standardization Initiative: Standardized Quantitative Radiomics for High-Throughput Image-based Phenotyping. *Radiology*. 2020;295(2). doi: 10.1148/radiol.2020191145

6. Berenguer R, Pastor-Juan M, Canales-Vázquez J, et al. Radiomics of CT Features May Be Nonreproducible and Redundant: Influence of CT Acquisition Parameters. *Radiology*. 2018;288(2). doi: 10.1148/radiol.2018172361

7. Laura QM, Chow MD. Head and Neck Cancer. *N Engl J Med*. 2020;382:60–72. doi: 10.1056/NEJMra1715715

8. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *Ca Cancer J Clin*. 2021;71(3):209–249. doi: 10.3322/caac.21660

9. Bolotina LV, Vladimirova LYu, Den'gina NV, Novik AV, Romanov IS. Practice guidelines for the treatment of malignant tumors of the head and neck. *Zlokačestvennye opuholi*. 2020;10(3s2-1):93–108. (In Russ). doi: 10.18027/2224-5057-2020-10-3s2-06

10. Bossi P, Chan AT, Licita L, et al. Nasopharyngeal carcinoma: ESMO-EURACAN Clinical Practice Guidelines for diagnosis,

treatment and follow-up. *Annals of oncology*. 2021;32(4):452–465. doi: 10.1016/j.annonc.2020.12.007

11. Petrovichev VS, Neklyudova MV, Sinitsyn VE, Nikitin IG. Dual-energy computed tomography for head and neck cancer. *Digital Diagnostics*. 2021;2(3):343–355. doi: 10.17816/DD62572

12. Guha A, Connor S, Anjari M, et al. Radiomic analysis for response assessment in advanced head and neck cancers, a distant dream or an inevitable reality? A systematic review of the current level of evidence. *BJR*. 2019;93(1106). doi: 10.1259/bjr.20190496

13. Giannitto C, Mercante G, Ammirabile A, et al. Radiomics-based machine learning for the diagnosis of lymph node metastases in patients with head and neck cancer: Systematic review. *Head & Neck*. 2022;45(2):482–491. doi: 10.1002/hed.27239

14. Yu Y, Li X, Li W, Wang H, Wang Y. Pretreatment radiomics power in evaluating neoadjuvant chemotherapy response and outcome for patients with head and neck squamous cell carcinoma: a systematic review and meta-analysis. Preprint. 2023. doi: 10.21203/rs.3.rs-2530190/v1

15. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372. doi: 10.1136/bmj.n71

16. Radiomics Quality Score — RQS 2.0 [Internet]. [cited 1 Jan 2023]. Available from: <https://www.radiomics.world/rqs2>

17. Kodenko MR, Vasilev YA, Vladzmyrskyy AV, et al. Diagnostic Accuracy of AI for Opportunistic Screening of Abdominal Aortic Aneurysm in CT: A Systematic Review and Narrative Synthesis. *Diagnostics*. 2022;12(12):3197. doi: 10.3390/diagnostics12123197

18. Kodenko MR, Reshetnikov RV, Makarova TA. Modification of quality assessment tool for artificial intelligence diagnostic test accuracy studies (QUADAS-CAD). *Digital Diagnostics*. 2022;3(S1):4–5. doi: 10.17816/DD105567

19. Teng X, Zhang J, Ma Z, et al. Improving radiomic model reliability using robust features from perturbations for head-and-neck carcinoma. *Front. Oncol.* 2022;12. doi: 10.3389/fonc.2022.974467
20. Liu X, Maleki F, Muthukrishnan N, et al. Site-Specific Variation in Radiomic Features of Head and Neck Squamous Cell Carcinoma and Its Impact on Machine Learning Models. *Cancers.* 2021;13(15). doi: 10.3390/cancers13153723
21. Zhao X, Li W, Zhang J, et al. Radiomics analysis of CT imaging improves preoperative prediction of cervical lymph node metastasis in laryngeal squamous cell carcinoma. *European Radiology.* 2023;33:1121–1131. doi: 10.1007/s00330-022-09051-4
22. Zhang W, Peng J, Zhao S, et al. Deep learning combined with radiomics for the classification of enlarged cervical lymph nodes. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology.* 2022;148:2773–2780. doi: 10.1007/s00432-022-04047-5
23. Yang G, Yang F, Zhang F, et al. Radiomics Profiling Identifies the Value of CT Features for the Preoperative Evaluation of Lymph Node Metastasis in Papillary Thyroid Carcinoma. *Diagnostics.* 2022;12(5). doi: 10.3390/diagnostics12051119
24. Li J, Wu X, Mao N, et al. Computed Tomography-Based Radiomics Model to Predict Central Cervical Lymph Node Metastases in Papillary Thyroid Carcinoma: A Multicenter Study. *Front. Endocrinol.* 2021;12. doi: 10.3389/fendo.2021.741698
25. Franzese C, Lillo S, Cozzi L, et al. Predictive value of clinical and radiomic features for radiation therapy response in patients with lymph node-positive head and neck cancer. *Head & Neck.* 2023;45(5):1184–1193. doi: 10.1002/hed.27332
26. Gonçalves M, Gsaxner Ch, Ferreira A, et al. Radiomics in Head and Neck Cancer Outcome Predictions. *Diagnostics.* 2022;12(11). doi: 10.3390/diagnostics12112733
27. Zhai T, Wesseling F, Langendijk J, et al. External validation of nodal failure prediction models including radiomics in head and neck cancer. *Oral Oncology.* 2021;112. doi: 10.1016/j.oraloncology.2020.105083
28. Morgan HE, Wang K, Dohopolski M, et al. Exploratory ensemble interpretable model for predicting local failure in head and neck cancer: the additive benefit of CT and intra-treatment cone-beam computed tomography features. *Quant Imaging Med Surg.* 2021;11(12):4781–4796. doi: 10.21037/qims-21-274
29. Intarak S, Chongpison Y, Vimolnoch M, et al. Tumor Prognostic Prediction of Nasopharyngeal Carcinoma Using CT-Based Radiomics in Non-Chinese Patients. *Front. Oncol.* 2022;12. doi: 10.3389/fonc.2022.775248
30. Zhong J, Lu J, Zhang G, et al. An overview of meta-analyses on radiomics: more evidence is needed to support clinical translation. *Insights Imaging.* 2023;14. doi: 10.1186/s13244-023-01437-2
31. Certificate of state registration of the computer program № 2022617324/ 19.04.2022. Morozov SP, Andreichenko AE, Chetverikov SF, et al. *Web-based tool for performing ROC analysis of diagnostic test results: № 2022616046.* (In Russ).
32. Giraud P, Giraud Ph, Gasnier A, et al. Radiomics and Machine Learning for Radiotherapy in Head and Neck Cancers. *Front. Oncol.* 2019;9. doi: 10.3389/fonc.2019.00174
33. Certificate of state registration of the computer program № 2023619686/ 15.05.2023. Vasilev YuA, Vladzimirskyy AV, Omelyanskaya OV, et al. *Web-based tool for quality control of datasets: № 2023617136.* (In Russ).
34. Gundersen OE, Kjetsmo S. State of the Art: Reproducibility in Artificial Intelligence. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence.* 2018;32(1). doi: 10.1609/aaai.v32i1.11503
35. Tortora M, Gemini L, Scaravilli A, et al. Radiomics Applications in Head and Neck Tumor Imaging: A Narrative Review. *Cancers.* 2023;15(4). doi: 10.3390/cancers15041174
36. Image Biomarker Standardisation Initiative (IBSI) [Internet]. [cited 1 Jan 2023]. Available from: <https://theibsi.github.io/>
37. Morozov SP, Vladzimirskyy AV, Klyashtorny VG, et al. *Practice guidelines for the treatment of malignant tumors of the head and neck.* Moscow; 2019. (In Russ).
38. Buvat I, Orlhac F. The Dark Side of Radiomics: On the Paramount Importance of Publishing Negative Results. *The Journal of Nuclear Medicine.* 2019;60(11):1543–1544. doi: 10.2967/jnumed.119.235325
39. Kocak B, Bulut E, Bayrak ON, et al. NEgatiVE results in Radiomics research (NEVER): A meta-research study of publication bias in leading radiology journals. *European Journal of Radiology.* 2023;163. doi: 10.1016/j.ejrad.2023.110830
40. Berenguer R, Pastor-Juan MR, Canales-Vázquez J, et al. Radiomics of CT Features May Be Nonreproducible and Redundant: Influence of CT Acquisition Parameters. *Radiology.* 2018;288(2). doi: 10.1148/radiol.2018172361
41. Morozov SP, Lindenbraten LD, Gabai PG, et al. *Fundamentals of medical imaging management.* Morozov SP, editor. Moscow: GEOTAR-Media; 2020. (In Russ). doi: 10.33029/9704-5247-9-MEN-2020-1-424
42. Khoruzhaya AN, Ahkmad ES, Semenov DS. The role of the quality control system for diagnostics of oncological diseases in radiomics. *Digital Diagnostics.* 2021;2(2):170–184. doi: 10.17816/DD60393

ОБ АВТОРАХ

* **Нанова Ольга Геннадьевна**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: 0000-0001-8886-3684;
eLibrary SPIN: 6135-4872;
e-mail: NanovaOG@zdrav.mos.ru

Васильев Юрий Александрович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-0208-5218;
eLibrary SPIN: 4458-5608;
e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

AUTHORS' INFO

* **Olga G. Nanova**, Cand. Sci. (Biology)
address: 24/1 Petrovka street, 127051, Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0001-8886-3684;
eLibrary SPIN: 6135-4872;
e-mail: NanovaOG@zdrav.mos.ru

Yuriy A. Vasilev, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-0208-5218;
eLibrary SPIN: 4458-5608;
e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Блохин Иван Андреевич;

ORCID: 0000-0002-2681-9378;

eLibrary SPIN: 3306-1387;

e-mail: i.blokhin@npcmr.ru

Решетников Роман Владимирович, канд. физ.-мат. наук;

ORCID: 0000-0002-9661-0254;

eLibrary SPIN: 8592-0558;

e-mail: reshetnikov@fbb.msu.ru

Владимирский Антон Вячеславович, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-2990-7736;

eLibrary SPIN: 3602-7120;

e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

Омелянская Ольга Васильевна;

ORCID: 0000-0002-0245-4431;

eLibrary SPIN: 8948-6152;

e-mail: o.omelyanskaya@npcmr.ru

Ivan A. Blokhin;

ORCID: 0000-0002-2681-9378;

eLibrary SPIN: 3306-1387;

e-mail: i.blokhin@npcmr.ru

Roman V. Reshetnikov, Cand. Sci. (Physics and Mathematics);

ORCID: 0000-0002-9661-0254;

eLibrary SPIN: 8592-0558;

e-mail: reshetnikov@fbb.msu.ru

Anton V. Vladzimirsky, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-2990-7736;

eLibrary SPIN: 3602-7120;

e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

Olga V. Omelyanskaya;

ORCID: 0000-0002-0245-4431;

eLibrary SPIN: 8948-6152;

e-mail: o.omelyanskaya@npcmr.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

Магнитно-резонансная томография кисти: оптимизация сканирования

Ю.А. Васильев, Д.С. Семенов, А.В. Петряйкин, А.А. Учеваткин,
Л.Р. Абуладзе, А.В. Бажин, Д.Е. Шарова

Научно-практический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Магнитно-резонансная томография — один из ведущих методов лучевой диагностики патологических изменений опорно-двигательного аппарата, в том числе лучезапястного сустава и кисти. Основными проблемами, с которыми встречаются рентгенолаборанты и врачи-рентгенологи при выполнении магнитно-резонансной томографии кисти, являются отсутствие специализированной катушки и надёжного фиксирующего устройства для кисти, а также неудобная поза пациента, что в итоге приводит к чрезмерной двигательной активности пациента во время исследования и снижению качества получаемых изображений. В дополнение к этому, лучезапястный сустав и кисть состоят из множества небольших анатомических структур, детальная визуализация которых требует удлинения времени сканирования, что в свою очередь является дополнительным фактором риска получения некачественных изображений из-за двигательной активности пациента, повышая вероятность некорректной интерпретации исследования врачом-рентгенологом.

Цель — улучшить качество изображений, полученных в ходе магнитно-резонансной томографии кисти, путём разработки стандартизованного подхода к выполнению исследования: выбор катушки, укладка пациента, осуществление фиксации кисти, а также выбор протокола сканирования и параметров импульсных последовательностей.

Материалы и методы. Разработана лонгета для предупреждения движений кисти и выполнены исследования с применением двух видов радиочастотных катушек. Проведена сравнительная оценка изображений по техническим параметрам, а также оценка врачом-рентгенологом, специализирующимся на скелетно-мышечной визуализации, на предмет качества изображений в зависимости от цели исследования.

Результаты. Применение катушки для исследования головы (головной катушки) более целесообразно при необходимости сканирования всей кисти (например, при ревматологических заболеваниях), применение коленной катушки — при необходимости более детальной оценки анатомических структур (в том числе запястья), ввиду меньшего поля обзора и более высокого разрешения. На основании полученных данных были сформулированы рекомендации по проведению магнитно-резонансной томографии кисти: выбор радиочастотной катушки, протокола сканирования, параметров импульсных последовательностей. Кроме того, нами предложена лонгета для фиксации кисти пациента с целью нивелирования избыточных движений и предотвращения возникновения артефактов.

Заключение. Для качественного выполнения магнитно-резонансной томографии кисти требуется учитывать ряд факторов: правила безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии, настройка параметров сканирования, грамотная фиксация кисти в катушке. Соблюдение рекомендаций, которые предлагаются в данной работе, а также применение разработанной лонгеты позволяют улучшить качество полученных изображений при магнитно-резонансной томографии кисти.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; кисть; лучезапястный сустав; оптимизация.

Как цитировать:

Васильев Ю.А., Семенов Д.С., Петряйкин А.В., Учеваткин А.А., Абуладзе Л.Р., Бажин А.В., Шарова Д.Е. Магнитно-резонансная томография кисти: оптимизация сканирования // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 269–282. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

Optimization of magnetic resonance imaging of the hand

Yuriy A. Vasilev, Dmitry S. Semenov, Alexey V. Petraikin, Andrey A. Uchevatkin, Liya R. Abuladze, Alexander V. Bazhin, Dariya E. Sharova

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Magnetic resonance imaging is one of the leading imaging modalities of the musculoskeletal system. However, when imaging the hand, major problems in magnetic resonance imaging include the lack of specialized coils and reliable fixation devices for the hand, uncomfortable patient posture, motion artifacts, and small anatomical structures in the wrist. These factors inevitably lead to incorrect interpretation.

AIM: To improve the quality of magnetic resonance imaging of the hand by developing an approach to coil selection, scanning protocol, and hand positioning and fixation.

MATERIALS AND METHODS: A positioning device was developed to prevent hand movements. Two types of coils were evaluated. Magnetic resonance images were evaluated comparatively, as well as by a musculoskeletal radiologist.

RESULTS: A head coil is more appropriate when scanning the entire hand, for example, in rheumatic diseases. A knee coil is more appropriate when studying smaller anatomical structures (including the wrist) owing to a smaller field of view and higher resolution. Based on the obtained data, guidelines for the selection of scanning parameters, sequences, and coils for magnetic resonance imaging of the hand were formulated. To prevent motion artifacts, a special fixation device of the patient's hand was introduced.

CONCLUSION: Certain factors directly affect the qualitative magnetic resonance imaging study of the hand, such as safety protocols, scanning parameters, and hand fixation. The guidelines presented in this study and the use of the developed specialized fixation device may improve the quality of magnetic resonance imaging of the hand.

Keywords: magnetic resonance imaging; hand; wrist; optimization.

To cite this article:

Vasilev YuA, Semenov DS, Petraikin AV, Uchevatkin AA, Abuladze LR, Bazhin AV, Sharova DE. Optimization of magnetic resonance imaging of the hand. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):269–282. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

Submitted: 31.10.2023

Accepted: 16.11.2023

Published online: 19.06.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

手部磁共振成像：扫描优化

Yuriy A. Vasilev, Dmitry S. Semenov, Alexey V. Petraikin, Andrey A. Uchevatkin,
Liya R. Abuladze, Alexander V. Bazhin, Dariya E. Sharova

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

摘要

论证。磁共振成像是对包括腕关节和手部在内的肌肉骨骼系统病变进行放射诊断的主要方法之一。放射技师和放射科医生在进行手部磁共振成像时遇到的主要问题是缺乏专用线圈和可靠的手部固定装置，以及病人的姿势不舒适。这最终会导致患者在检查过程中过度移动，并降低所获图像的质量。此外，腕关节和手部由许多细小的解剖结构组成，对这些结构的详细观察需要更长的扫描时间。反过来，由于患者的运动活动，这也是造成图像质量差的一个额外风险因素。这就增加了放射科医生对检查做出错误解释的可能性。

目的是通过制定标准化的检查方法，提高手部磁共振成像的图像质量：线圈选择、患者定位、手部固定以及扫描方案和脉冲序列参数的选择。

材料和方法。开发了一种防止手部运动的绷带，并使用两种射频线圈进行了检查。一名专门从事肌肉骨骼成像的放射科医生对图像的技术参数进行了比较评估，并根据研究目的对图像质量进行了评估。

结果。当需要扫描整个手部（如风湿病）时，头部线圈更为合适。膝部线圈的视野较小，分辨率较高，可用于对解剖结构（包括腕部）进行更详细的评估。根据获得的数据，我们制定了手部磁共振成像的建议：选择射频线圈、扫描方案和脉冲序列参数。此外，我们还提出了固定患者手部的绷带，以平缓过度运动和防止伪影。

结论。要保证手部磁共振成像的质量，需要考虑以下几个因素：磁共振成像过程中的安全规则、扫描参数的调整以及手部在线圈中的正确固定。遵守本文提出的建议以及使用开发的绷带可以提高手部磁共振成像的质量。

关键词：磁共振成像；手部；腕关节；优化。

引用本文：

Vasilev YuA, Semenov DS, Petraikin AV, Uchevatkin AA, Abuladze LR, Bazhin AV, Sharova DE. 手部磁共振成像：扫描优化. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):269–282. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568545>

收到: 31.10.2023

接受: 16.11.2023

发布日期: 19.06.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Магнитно-резонансная томография (МРТ) — один из основных методов диагностики патологических изменений структур опорно-двигательного аппарата человека. Отсутствие ионизирующего излучения и высокая мягкотканная контрастность позволяют методу занимать одну из лидирующих позиций. МРТ демонстрирует высокие показатели диагностической точности в оценке поражений хрящей, связок, объёмных образований и костного мозга [1]. Однако для детальной оценки множества мелких структур, образующих кисть, и получения МР-изображений высокого качества, необходимо соблюдать ряд условий: соблюдение рентгенолаборантом правил общей безопасности при проведении МРТ [2], использование корректных импульсных последовательностей, применение определённых радиочастотных (РЧ) катушек и дополнительных элементов, позволяющих фиксировать руку в правильном положении. Среди недостатков МРТ можно выделить меньшую доступность метода [3] и его более высокую стоимость [4].

Для врача-рентгенолога сложность интерпретации МРТ кисти заключается в том, что кисть образована мелкими структурами, визуализация и интерпретация патологических изменений которых напрямую зависит не только от квалификации врача, но и от качества проведённого исследования [5]. Например, было показано, что врачи-рентгенологи, специализирующиеся на диагностике патологий скелетно-мышечной системы, представляют более детальные описания, нежели менее опытные коллеги [1]. Говоря о пациентах, стоит отметить, что одними из ведущих факторов для получения качественных изображений являются правильная укладка и фиксация кисти пациента, а также минимизация двигательной активности на протяжении всего исследования. Известно, что движение — одна из самых распространённых причин появления артефактов на МР-изображениях. Артефакты проявляются в виде размытия контуров структур и, как следствие, снижают информативность исследования [6]. При этом существует два вида движений, которые могут вызывать артефакты: внутренние, обусловленные физиологическими процессами (потоком крови в сосудах), и внешние, которые напрямую связаны с активными или пассивными движениями пациента во время исследования. Артефакты потока представляются менее значимыми ввиду небольшого калибра сосудов и могут быть нивелированы с помощью специальных насыщающих импульсов, наложенных дистальнее и проксимальнее зоны сканирования, а также смены направления градиента, кодирующего фазу. Движения самого пациента можно минимизировать, подобрав удобную позицию для кисти и обеспечив её надёжную фиксацию [6].

ЦЕЛЬ

Целью данной работы было улучшение качества МР-изображений при исследовании кисти путём разработки

стандартизованного подхода, включающего выбор катушки, укладку пациента, фиксацию кисти, протокол сканирования и параметры импульсных последовательностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На текущий момент существует целый ряд проблем при выполнении МРТ кисти, в том числе в медицинских организациях Департамента здравоохранения города Москвы: отсутствие специализированной катушки, неудобная поза пациента, двигательные артефакты, мелкие анатомические структуры, детальная визуализация которых требует удлинения времени сканирования. Кроме того, существенной проблемой является отсутствие надёжного фиксирующего устройства для кисти в катушке. В связи с этим нами была разработана лонгета для подавления движения и выполнены исследования с применением разных РЧ-катушек (головной и коленной) для сравнения качества и разработки рекомендаций по выполнению МРТ на основании полученных данных в зависимости от цели исследования.

Исследование проводилось на здоровом добровольце с использованием МР-томографа Excelart Vantage 1.5T (Toshiba, Япония), одной из самых распространённых моделей в медицинских организациях Департамента здравоохранения города Москвы на момент выполнения работы.

Была разработана лонгета для фиксации кисти с четырьмя фиксирующими текстильными застёжками на эластичных лентах (рис. 1). Используемый материал — полиметилметакрилат (органическое стекло). Размеры лонгеты: 30×12 см, толщина 0,5 см. Кроме того, дополнительно прилагаются подушечка для дистальной части предплечья (рис. 2, *b*) и одноразовые нарукавники (перчатки, конверты).

Лонгету располагали так, чтобы кисть плотно прилежала к её корпусу, а область запястья лежала на специальной подушечке для придания удобного положения. Затем лонгета фиксировалась четырьмя текстильными застёжками



Рис. 1. Устройство (лонгета) для укладки кисти пациента.

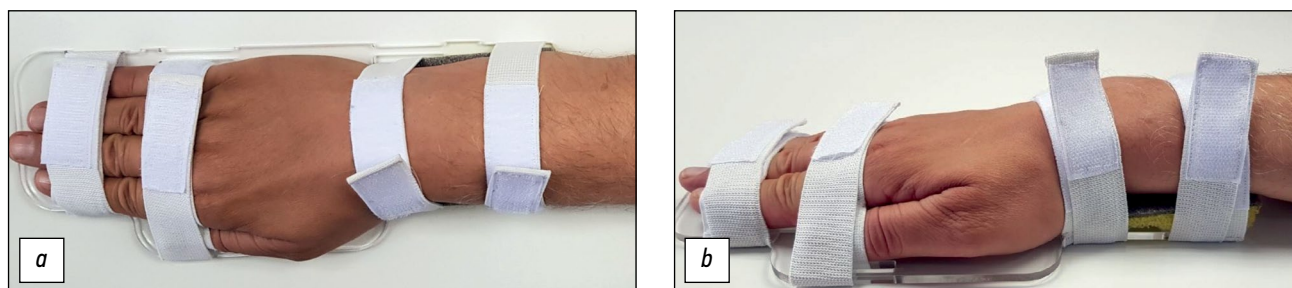


Рис. 2. Пример крепления лонгеты для фиксирования кисти пациента: *a* — вид сверху; *b* — вид сбоку.

на эластичных лентах (рис. 2). Укладка пациента: в положении лёжа на животе с вытянутой вперёд рукой (поза «супермена») с фиксацией лонгеты к кисти (рис. 3).

Соотношение сигнал/шум (SNR) — один из основных показателей качества визуализации в МРТ: чем выше это соотношение, тем лучше визуализируются анатомические структуры. В связи с этим в первую очередь была проведена оценка изображений по SNR в зависимости от региона сканирования. Расчёт SNR для головной и коленной катушек осуществлялся двумя способами.

Первый способ: отношение сигнала от мышц, возвышения большого пальца (тенара) и среднеквадратического отклонения (СКО) фона, формула (1):

$$SNR = \frac{\text{Сигнал от тенара}}{\text{СКО фона}} \quad (1)$$

Второй способ: отношение сигнала от тенара и сигнала от фона, формула (2):

$$SNR = \frac{\text{Сигнал от тенара}}{\text{Сигнал от фона}} \quad (2)$$

Сигнал определялся для тенара, поскольку сигнал от мышц не подавляется технологиями STIR (Short Tau

Inversion Recovery, инверсия-восстановление) и FS (Fat Suppression, жироподавление), что позволило усреднить полученные для разных режимов сканирования данные. Соответственно были рассчитаны показатели SNR для трёх основных импульсных последовательностей: T1-взвешенных изображений (ВИ), STIR, PD-VI FS (взвешенные изображения протонной плотности с подавлением жира). Дополнительно оценивалось наличие артефактов от сосудов, возможность вертикального и горизонтального расположения, необходимость настройки программ сканирования и удобство для пациента. Изображения оценивались врачом-рентгенологом с опытом работы 10 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 продемонстрированы данные сравнения SNR для головной и коленной катушек. Как видно из таблицы, SNR при применении коленной катушки выше для обоих методов определения данного показателя, что более наглядно представлено как среднее отношение SNR, которое больше в 1,39 раза при измерении по формуле (1) и в 5,3 раза — по формуле (2) (см. формулы выше).

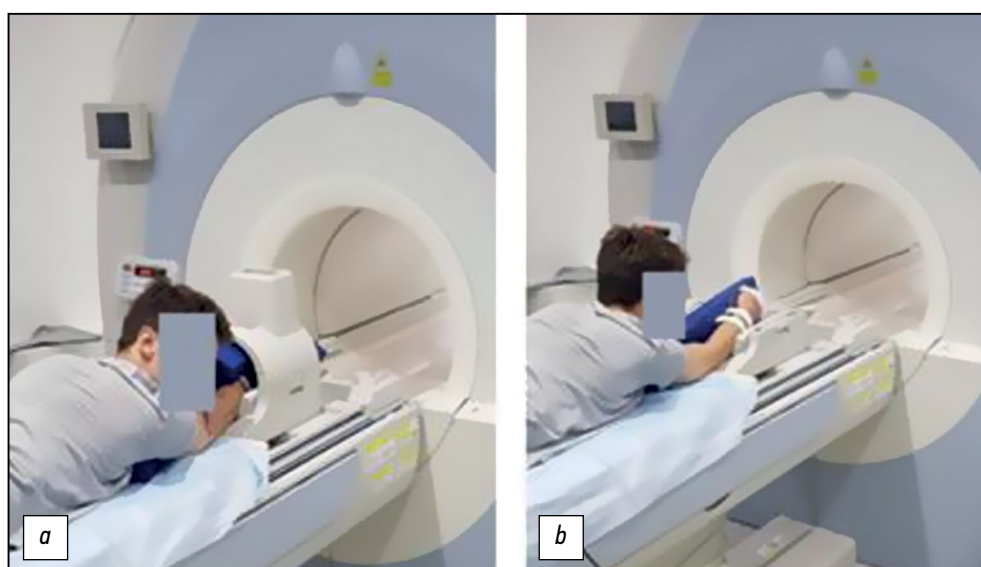


Рис. 3. Укладка пациента в положении лёжа на животе с вытянутой вперёд рукой (поза «супермена») с расположением кисти на лонгете для её фиксации: *a* — расположение устройства в радиочастотной катушке в сборе; *b* — расположение устройства в объёмной радиочастотной катушке с открытой верхней частью.

Таблица 1. Сравнение соотношения сигнал/шум для головной и коленной катушек

	Вычисление SNR по формуле (1)			Вычисление SNR по формуле (2)		
	T1-ВИ	STIR	PD FS	T1-ВИ	STIR	PD FS
Головная катушка	6,62	11,51	30,81	1,67	1,65	4,08
Коленная катушка	10,13	15,54	39,97	11,29	7,16	20,39
Отношение SNR	1,53	1,35	1,30	6,76	4,34	5,00
Среднее		1,39			5,3	

Примечание. ВИ — взвешенные изображения; PD FS — протонная плотность с подавлением жира; SNR — соотношение сигнал/шум; STIR — инверсия-восстановление. Отношение SNR определено по формуле: «SNR коленной катушки» / «SNR головной катушки».

В табл. 2 представлены обобщённые данные по сравнению головной и коленной катушек. На рис. 4 и 5 представлены изображения, полученные с применением головной и коленной РЧ-катушек. При использовании головной катушки (см. рис. 4) SNR ниже, однако распределение интенсивности сигнала более равномерное, что позволяет оценивать всю кисть. С другой стороны, при использовании коленной катушки (см. рис. 5) SNR локально более высокое, что позволяет оценивать более мелкие структуры, что важно при прицельном исследовании структур запястья. Это связано с тем, что коленная РЧ-катушка — квадратурная, а не многоканальная, а также с тем, что её рабочее поле обзора меньше. Результаты опроса показали, что для пациента головная катушка представляется более удобной.

Таким образом, применение головной катушки более целесообразно при необходимости исследовать всю кисть, например, при ревматологических заболеваниях, в то время как применение коленной — при необходимости более детальной оценки мелких структур запястья, например, при повреждении гиалинового хряща, стрессовых и патологических переломах, повреждениях триангулярного фиброзно-хрящевого комплекса (ТФХК) или туннельных синдромах.

Полученные данные позволили нам сформулировать следующие рекомендации для практикующих врачей и рентгенолаборантов:

1. Исключить наличие металлических предметов, способных привести к артефактам и травматизации пациента.
2. Выбрать РЧ-катушку в зависимости от клинической задачи: если необходимо детально проанализировать локальные анатомические структуры (запястье, ТФХК и др.), то рекомендуется использовать объёмную коленную РЧ-катушку; если необходимо провести обзорное исследование всей кисти — головную РЧ-катушку.
3. Кисть пациента фиксировать таким образом, чтобы она плотно прилегала к корпусу лонгеты, область запястья расположить на специальной подушечке для удобного размещения руки, зафиксировать четырьмя текстильными застёжками на эластичных лентах (рис. 2, а, b).
4. Осуществить укладку пациента в положении лёжа на животе с вытянутой вперёд рукой (поза «супермена»), как показано на рис. 3. Не всегда возможно уложить руку пациента вдоль центральной оси туннеля томографа с кистью чётко в изоцентре, поэтому зачастую кисть поворачивают и/или смещают к краю

Таблица 2. Сравнение параметров магнитно-резонансной томографии кисти в катушках для исследования головы и коленного сустава

Параметр	Головная катушка	Коленная катушка
Тип	Многоканальная	Квадратурная
Отношение сигнал/шум (SNR)	Выше для коленной катушки относительно головной	
Регион сканирования	Распределён равномерно Удобство сканирования всей кисти (ревматология)	Локально (до 150 мм) высокий Удобно сканировать, разделив на два региона (лучезапястный и запястье/пястные кости и фаланги пальцев (травматология)
Артефакты от сосудов	Слабо выражены	Сильно выражены, в ряде программ необходимо подавление
Возможность вертикального и горизонтального расположения	Да	Да
Программы сканирования	Необходима настройка	Необходима настройка
Удобство для пациента	Удобно	Относительно удобно

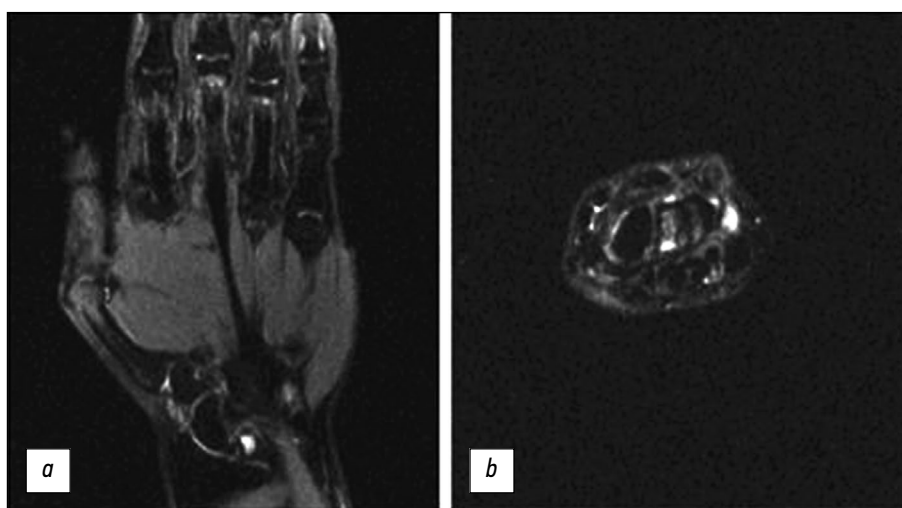


Рис. 4. Магнитно-резонансная томография кисти с применением головной радиочастотной катушки, с использованием лонгеты для фиксации кисти. PD-взвешенные изображения с жироподавлением: *a* — в коронарной плоскости; *b* — в аксиальной плоскости.

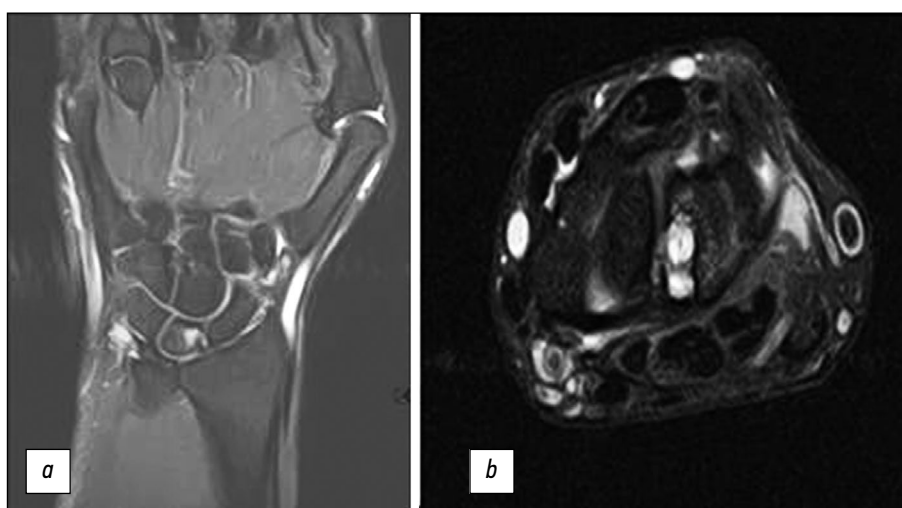


Рис. 5. Магнитно-резонансная томография кисти с применением коленной радиочастотной катушки. PD-взвешенные изображения с жироподавлением: *a* — в коронарной плоскости; *b* — в аксиальной плоскости.

туннеля. Кроме того, следует обратить внимание на выбор катушки: решения некоторых производителей жёстко фиксируются на столе пациента, другие обеспечивают достаточную свободу перемещения, что позволяет обеспечить расположение кисти чётко в изоцентре.

5. Провести исследование по следующему протоколу сканирования [7–10]:

- а) в случае необходимости исследования всей кисти, например, при ревматологических заболеваниях (табл. 3):
 - предварительное сканирование с целью настройки и позиционирования срезов;
 - PD-ВИ FS в сагиттальной плоскости (PD FS, сар);
 - PD-ВИ FS в коронарной плоскости (PD FS, кор);
 - PD-ВИ FS в аксиальной плоскости (PD FS, акс);
 - STIR в коронарной плоскости (STIR, кор);
 - T1-ВИ в коронарной плоскости (T1-ВИ, кор).

Осуществить позиционирование импульсных последовательностей: locator — изображения низкого разрешения в трёх проекциях, полученные менее чем за 25 секунд.

- Аксиальная плоскость — получаемые срезы должны покрывать всю область запястья на протяжении трёх срезов выше запястно-пястного сустава и трёх срезов ниже дистального лучелоктевого сустава.
 - Коронарная плоскость — срезы должны захватывать всю область запястья от тыльной до ладонной поверхности.
 - Сагиттальная плоскость — срезы должны захватывать всю область запястья от медиальной до латеральной поверхности области лучезапястного сустава.
- б) в случае необходимости исследования запястья, например, при травме (табл. 4):
 - предварительное сканирование с целью настройки и позиционирования срезов;

Таблица 3. Рекомендуемые параметры для исследования кисти (томограф Toshiba, головная радиочастотная катушка)

ИП	TR	TE	Толщина среза, мм	FOV, см	ETL	Матрица
PD-ВИ FS, саг	2050	36	3	15×20	7	320×224
PD-ВИ FS, кор	2700	36	3	15×15	7	320×224
PD-ВИ FS, акс	2700	36	3	15×15	7	320×224
STIR, кор	3632	36	3	15×15	7	320×224
T1-ВИ, кор	646	15	3	15×15	1	320×224

Примечание. акс/кор/саг — аксиальная, корональная и сагиттальная плоскости; ВИ — взвешенные изображения; ETL (echo train length) — длина эхо-трейна; FOV (field of view) — поле обзора; PD FS — протонная плотность с подавлением жира; STIR — инверсия-восстановление; TE (echo time) — время эхо; TR (repetition time) — время повторения. Расстояние между срезами (gap) составляет 10% от толщины среза. Время инверсии для STIR — 130 мс.

Таблица 4. Рекомендуемые параметры для исследования запястья (томограф Toshiba, коленная радиочастотная катушка)

	TR	TE	Толщина среза, мм	FOV, см	ETL	Матрица
T1-ВИ, кор	273	10	3	20×16	1	368×240
T2-ВИ, кор	3660	45	3	12×12	7	320×256
PD FS, акс	3630	36	3	12×12	7	256×224
PD FS, кор	2116	45	3	18×16	7	256×256
STIR, саг	2464	12	3	15×15	7	320×224

Примечание. акс/кор/саг — аксиальная, корональная и сагиттальная плоскости; ВИ — взвешенные изображения; ETL (echo train length) — длина эхо-трейна; FOV (field of view) — поле обзора; PD FS — протонная плотность с подавлением жира; STIR — инверсия-восстановление; TE (echo time) — время эхо; TR (repetition time) — время повторения. Расстояние между срезами (gap) составляет 10% от толщины среза. Время инверсии для STIR — 130 мс.

- T1-ВИ в корональной плоскости (T1-ВИ, кор);
- T2-ВИ в корональной плоскости (T2-ВИ, кор);
- PD FS в аксиальной плоскости (PD FS, акс);
- PD FS в корональной плоскости (PD FS, кор);
- STIR в сагиттальной плоскости (STIR, саг);
- 3D WET в корональной плоскости (опционально).

Осуществить позиционирование импульсных последовательностей: locator — изображения низкого разрешения в трёх проекциях, полученные менее чем за 25 секунд.

- Аксиальная плоскость — срезы должны охватывать всю область кисти от дистальных фаланг пальцев до уровня дистального лучелоктевого сустава.
- Корональная плоскость — срезы должны охватывать всю область кисти от тыльной до ладонной поверхности.
- Сагиттальная плоскость — срезы должны охватывать всю область кисти от I до V пальца.

При обзорных исследованиях, например, при диагностике ревматоидных процессов, STIR целесообразно использовать потому, что данная импульсная последовательность позволяет комплексно оценить объём воспалительных изменений, в то время как PD-ВИ FS является более селективной, обеспечивает более высокое пространственное разрешение, что имеет важное значение для диагностики более мелких структур.

К ограничениям предложенного метода фиксации можно отнести то, что у пациентов с контрактурами

или крупными объёмными образованиями, грубо деформирующими контур (рис. 6), применение вышеописанной лонгеты может быть невозможным, однако в таком случае стоит придерживаться остальных рекомендаций по выполнению исследования.

ОБСУЖДЕНИЕ

Кисть представляет собой дистальную часть верхней конечности, включает кости запястья, пясти и фаланги пальцев, а также связки, сосуды и нервы. Запястье состоит из двух рядов костей: проксимального, включающего ладьевидную (os scaphoideum), полулунную (os lunatum), трёхгранную (os triquetrum) и гороховидную (os pisiforme) кости, а также дистального, включающего кость-трапецию (os trapezium), трапециевидную (os trapezoideum), головчатую (os capitatum), крючковидную (os hamatum) кости [11] (рис. 7).

МРТ — один из основных методов лучевой диагностики для оценки структур кисти, однако при первичном обследовании чаще применяется рентгенография [12]. МРТ, например, применяется для оценки ТФХК, главная функция которого заключается в амортизации, так как в нейтральном положении ТФХК принимает на себя около 18–20% осевой нагрузки на запястье [4]. Так, например, было показано, что МРТ при хронической боли в запястье оказалась полезным инструментом для выявления

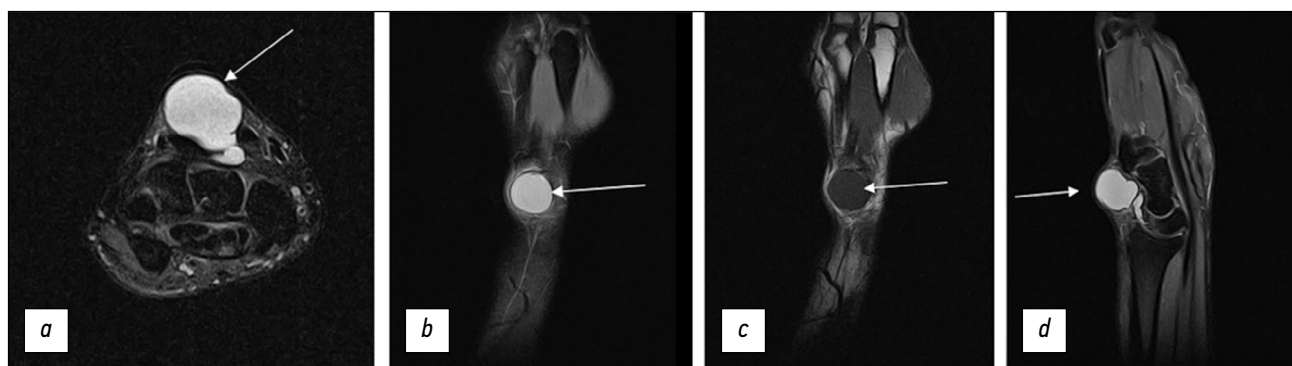


Рис. 6. Крупная инкапсулированная гигрома тыльной поверхности правой кисти, со связью с полостью лучезапястного сустава в виде шейки: *a* — PD-взвешенные изображения с жироподавлением в аксиальной плоскости; *b* — PD-взвешенные изображения с жироподавлением в коронарной плоскости; *c* — T1-взвешенные изображения в коронарной плоскости; *d* — PD-взвешенные изображения с жироподавлением в сагиттальной плоскости.

центральных разрывов ТФХК, а также повреждений в месте прикрепления к лучевой кости, однако разрывы со стороны локтевой кости обычно не визуализируются [13]. В другой работе А.М.Ф. El-Deek и соавт. сравнивали чувствительность, специфичность и точность МРТ и ультразвукового исследования (УЗИ) в исследовании патологии кисти. Было показано, что УЗИ практически не уступает МРТ в оценке патологии сухожилий и даже несколько превосходит МРТ в диагностике карпального синдрома и наличия инородных тел. С другой стороны, МРТ превосходит УЗИ в оценке ТФХК, а также в оценке отёка и характеристике образований [14]. Кроме того, в литературе представлены данные о том, что при проведении МРТ на томографе 7 Тл анатомические структуры кисти визуализируются лучше, чем при МРТ на томографе 3 Тл [15].

В 2018 году были опубликованы рекомендации ACR (American College of Radiology) по применению лучевых методов исследования при хронической боли в запястье (табл. 5). Однако авторы отмечают скудные

рекомендации, касающиеся технических аспектов и методики проведения МРТ кисти: требуется специализированная РЧ-катушка по типу «птичьей клетки» для лучшей визуализации, а также следует отдавать предпочтение МР-томографам с полем 3 Тл, нежели 1,5 Тл или ниже [12].

Варианты радиочастотных катушек, применяемых для магнитно-резонансной томографии кисти

Еще в 2002 году была опубликована работа, где авторы представляют оптимизированную для кисти РЧ-катушку типа «птичьей клетки». Интересно, что применение данной катушки позволило улучшить SNR на 50–90% [16] — это нашло отражение и в актуальных рекомендациях ACR [12].

На настоящий момент существует несколько вариантов специализированных РЧ-катушек, предназначенных для визуализации кисти. Так, например,

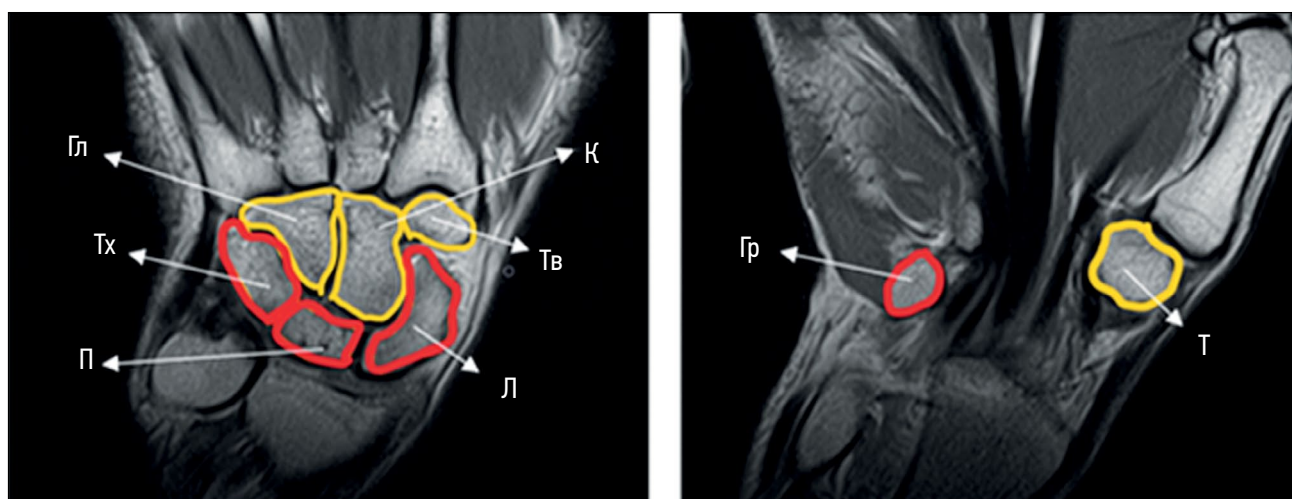


Рис. 7. Левая кисть, кости запястья, магнитно-резонансная томограмма (T1-взвешенные изображения, коронарная плоскость). Красным цветом маркирован проксимальный ряд, жёлтым — дистальный ряд костей. Л — ладьевидная, П — полулунная, Тх — трёхгранная, Гр — гороховидная, Т — кость-трапеция, Тв — трапецевидная, К — крючковидная, Гл — головчатая.

Таблица 5. Выжимка из рекомендации American College of Radiology по применению лучевых методов исследования при хронической боли в запястье

Цель/причина	Исследование
Первичная диагностика	Рентгенография
Результаты рентгенограммы неоднозначные, у пациента сохраняются симптомы	MPT кисти без внутривенного контрастирования
Диагностика артрита с целью определить лечение или осуществить прогнозирование	MPT кисти с/без внутривенного контрастирования
Подозрение на болезнь Кинбека	Рентгенография, в случае рентген-негативных изменений — MPT кисти без внутривенного контрастирования
Пальпируемое образование кисти или подозрение на гигрому	MPT/УЗИ кисти без внутривенного контрастирования
Подозрение на скрытые или стрессовые переломы костей кисти	MPT/КТ кисти без внутривенного контрастирования
Предшествующие переломы ладьевидной кости и хроническая боль в запястье для оценки осложнений переломов	MPT/КТ кисти без внутривенного контрастирования
Диагностика туннельного синдрома	Клиническая оценка в сочетании с электрофизиологическими исследованиями (метод стимуляционной электронейромиографии). Дальнейшая визуализация обычно не требуется, но в отдельных случаях может быть целесообразно проведение УЗИ запястья или MPT без контраста

Примечание. MPT — магнитно-резонансная томография; КТ — компьютерная томография; УЗИ — ультразвуковое исследование.

компания Siemens (Германия) предлагает 16-канальную РЧ-катушку «Hand/Wrist 16». Основные особенности данной РЧ-катушки:

- специальная внутренняя конструкция позволяет быстро и легко уложить кисть пациента;
- стабилизирующие подушечки обеспечивают комфортное положение кисти;
- держатель позволяет смещать центр;
- РЧ-катушка легко устанавливается в МР-томографе [17].

Компания ScanMed (США) предлагает катушку «Hand and Wrist MRI Coil», основной характеристикой которой является совместимость с МР-томографами различных производителей, таких как Siemens, General Electric (США) и Philips (Нидерланды). По данным производителя, эта катушка для визуализации запястья, кисти или фаланг пальцев продемонстрировала значительное улучшение качества изображения при области сканирования размером до 8 см при сравнении с характеристиками других часто используемых катушек (коленные РЧ-катушки, квадратные РЧ-катушки для конечностей, 4-канальные РЧ-катушки для запястья и др.). Данная РЧ-катушка позволяет располагать руку пациента сбоку от него (при положении пациента лёжа на спине) или над его головой в позе «супермена» (при положении пациента лёжа на животе). Кроме того, она имеет два варианта исполнения с двумя отделяемыми основаниями, что позволяет сканировать как в краниокаудальном, так и в каудокраниальном направлении [18].

Существующие аналоги предлагаемой лонгеты

В работе С.Г. Peterfy и соавт. [19] описан аналог предлагаемой лонгеты, представленный компанией Spire Sciences, Inc. Согласно публикации, кисть располагают на специальной акриловой М-образной раме таким образом, что большой палец и остальные четыре пальца кисти сведены и находятся в одной плоскости друг с другом. Кисть и запястье закреплены на раме с помощью самоклеящегося эластичного бинта [19].

Варианты укладок пациента

Существует несколько вариантов укладок пациента. В «позе супермена» пациент укладывается в положение лёжа на животе с вытянутой над головой рукой таким образом, чтобы запястье находилось как можно ближе к изоцентру магнитного поля, что позволяет получить наибольшее значение SNR и наиболее однородный сигнал.

Ввиду того, что эта поза является неудобной для многих пациентов, существует иная укладка: пациента можно расположить в положении лёжа на спине, а руку уложить вдоль тела. Однако такая поза отдаляет руку от изоцентра магнита и приводит к снижению сигнала и, как следствие, плохому и неоднородному подавлению сигнала от жировой ткани [20].

Кроме того, в зарубежной литературе описана и другая укладка — «поза молящегося»: пациента располагают лёжа на боку с согнутым локтем, в результате чего

запястье оказывается рядом с лицом, соответственно ближе к изоцентру магнита [20]. В учебно-методическом пособии «Стандарты выполнения магнитно-резонансной томографии» А.В. Бажин и соавт. [10] предлагают аналогичные два варианта укладок: в положении пациента на животе головой по направлению к апертуре туннеля магнита, рука вытянута и поднята вверх (поза «супермена»); в положении пациента на спине, исследуемая рука расположена вдоль туловища, в нейтральном положении.

Различные предлагаемые варианты протоколов сканирования

В учебно-методическом пособии «Стандарты выполнения магнитно-резонансной томографии» А.В. Бажин и соавт. [10] предлагают следующий протокол сканирования при исследовании кисти.

1. T1-ВИ в корональной плоскости.
2. T2-ВИ в корональной плоскости.
3. STIR в корональной плоскости.
4. T1-ВИ в сагиттальной плоскости.
5. STIR в сагиттальной плоскости.
6. STIR в аксиальной плоскости.
7. GRE в аксиальной плоскости.

В European Society of Skeletal Radiology Sports Subcommittee [7] рекомендуют следующий протокол, преимущественно для исследования пальцев кисти.

1. PD-ВИ FS в аксиальной плоскости.
2. T1-ВИ в аксиальной плоскости.
3. PD-ВИ FS в корональной плоскости.
4. PD-ВИ FS в сагиттальной плоскости.
5. STIR в корональной плоскости.

В European Society of Skeletal Radiology Arthritis Subcommittee [8] предлагают следующий протокол при ревматологических заболеваниях.

1. STIR/T2-ВИ FS в корональной плоскости.
2. T1-ВИ в корональной плоскости.
3. PD-ВИ FS/STIR/T2-ВИ FS в аксиальной плоскости.

4. T1-ВИ в аксиальной плоскости.
5. PD-ВИ FS в сагиттальной плоскости.
6. T1-ВИ с контрастным усилением в аксиальной плоскости (опционально).

Изображения с артефактами

Аудит выполняемых МР-исследований кисти показал, что нередко они получаются неинформативными: с низким разрешением, низкой контрастностью (низким SNR) и артефактами от движения пациентов или наличия металлических предметов в поле сканирования (рис. 8–10).

Таким образом, вопрос методики проведения МРТ кисти, соблюдение которой обеспечивало бы максимальный комфорт пациента и высокое качество изображений, остаётся актуальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кисть руки — сложная анатомическая структура. МРТ является одним из наиболее часто используемых методов лучевой диагностики для исследования скелетно-мышечной системы за счёт отсутствия ионизирующего излучения, высокой мягкотканной контрастности, возможности выявлять рентген-негативные изменения костной ткани. Для получения качественных МР-изображений требуется учесть целый ряд факторов: соблюдение общих правил безопасности при проведении МРТ, настройка параметров сканирования, грамотная фиксация кисти пациента в катушке. Использование предлагаемой лонгеты позволит стандартизировать проводимые исследования и уменьшить двигательные артефакты ввиду удобной фиксации и простоты применения. Таким образом, соблюдение рекомендаций, которые предлагаются в данной работе, может стать ключом к получению более качественных МР-изображений, сокращению общего времени сканирования и уменьшению ошибок интерпретации МРТ кисти.

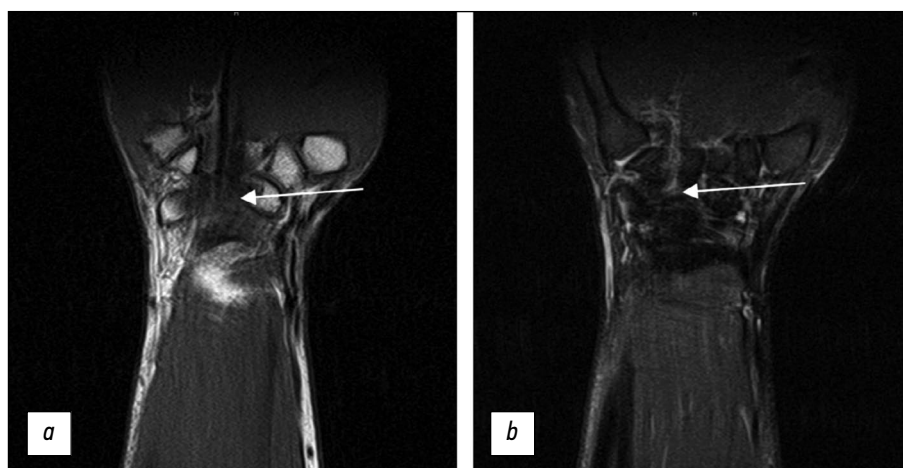


Рис. 8. Снижение качества визуализации на фоне двигательных артефактов без использования лонгеты (стрелки): *a* — T1-взвешенные изображения в корональной плоскости; *b* — протокол инверсия-восстановление в корональной плоскости.



Рис. 9. Снижение качества визуализации у пациента с патологией триангулярного фибро-хрящевого комплекса на фоне двигательных артефактов (стрелки) и нетипичной укладки (без лонгеты): *a* — T2-взвешенные изображения в корональной плоскости; *b* — PD-взвешенные изображения с жироподавлением в сагиттальной плоскости.



Рис. 10. Снижение качества визуализации на фоне технических артефактов от кольца: T1-взвешенные изображения в корональной плоскости.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источники финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы «Научное обеспечение стандартизации, безопасности и качества магнитно-резонансной томографии» (№ в Единой государственной информационной системе учёта: 123031500007-6) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счёт средств бюджета города Москвы государственными бюджетными (автономными) учреждениями подведомственным Департаменту здравоохранения».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: Ю.А. Васильев — концепция и дизайн работы, осуществление настройки предлагаемого протокола сканирования, редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи, консультативная поддержка; Д.С. Семенов — концепция и дизайн работы, анализ данных, написание текста статьи, осуществление настройки предлагаемого протокола сканирования, разработка предлагаемой лонгеты, проведение технического аудита; А.В. Петряйкин — концепция и дизайн работы, анализ данных, написание текста статьи, осуществление настройки предлагаемого протокола сканирования, проведение технического аудита, разработка предлагаемой лонгеты, утверждение итогового варианта текста рукописи; А.А. Учеваткин — концепция и дизайн работы, анализ данных, написание текста статьи, осуществление настройки предлагаемого протокола сканирования, проведение технического аудита, редактирование и утверждение итогового варианта текста

рукописи; Л.Р. Абуладзе — анализ данных, написание текста статьи; А.В. Бажин, Д.Е. Шарова — редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи, консультативная поддержка.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a team of authors as part of the research work “Scientific support for standardization, safety and quality of magnetic resonance imaging” (No. in the Unified State Information System of Accounting: 123031500007-6) in accordance with Order dated December 21, 2022 No. 1196 “On approval of state assignments, the financial support of which is carried out from the budget of the city of Moscow to state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Department of Health”.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Yu.A. Vasiliev — concept and design of the work, setting up the proposed scanning protocol, editing and approval of the final version of the manuscript, advisory support; D.S. Semenov — concept and design of the work, data analysis, writing the text of the article, setting up the proposed scanning protocol, developing the proposed splint, conducting a technical audit; A.V. Petryaykin — concept and design of the work, data analysis, writing the text of the article, setting up the proposed scanning protocol, conducting a technical audit, developing the proposed splint, approving the final version of the manuscript; A.A. Uchevatkin — concept and design of the work, data analysis, writing the text of the article, setting up the proposed scanning protocol, conducting a technical audit, editing and approving the final version of the manuscript; L.R. Abuladze — data analysis, writing the text of the article; A.V. Bazhin, D.E. Sharova — editing and approval of the final version of the manuscript, advisory support.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ratasvuori M.S., Lindfors N.C., Sormaala M.J. The clinical significance of magnetic resonance imaging of the hand: an analysis of 318 hand and wrist images referred by hand surgeons // *J Plast Surg Hand Surg*. 2022. Vol. 56, N 2. P. 69–73. doi: 10.1080/2000656X.2021.1933993
2. Основы безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии / сост. К.А. Сергунова, Е.С. Ахмад, А.В. Петрайкин, и др. Москва : Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, 2019. EDN: GTOVGS
3. Семенов Д.С., Панина О.Ю., Хоружая А.Н., и др. Всероссийский рейтинг отделений лучевой диагностики: результаты конкурса 2020 года // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 1. С. 43–54. EDN: SWQWGE doi: 10.17816/DD95661
4. Andersson J.K., Hansson-Olofsson E., Karlsson J., et al. Cost description of clinical examination and MRI in wrist ligament injuries // *J Plast Surg Hand Surg*. 2018. Vol. 52, N 1. P. 30–36. doi: 10.1080/2000656X.2017.1319845
5. Hansford B.G. Multimodality Pitfalls of Wrist Imaging With a Focus on Magnetic Resonance Imaging // *Top Magn Reson Imaging*. 2020. Vol. 29, N 5. P. 263–272. doi: 10.1097/RMR.0000000000000254
6. Burns J.E., Tanaka T., Ueno T., et al. Pitfalls That May Mimic Injuries of the Triangular Fibrocartilage and Proximal Intrinsic Wrist Ligaments at MR Imaging // *RadioGraphics*. 2011. Vol. 31, N 1. P. 63–78. doi: 10.1148/rg.311105114
7. Guidelines for MR Imaging of Sports Injuries [Internet]. European Society of Musculoskeletal Radiology. Доступ по ссылке: <https://essr.org/content-essr/uploads/2016/10/ESSR-MRI-Protocols-Fingers.pdf>
8. Sudot-Szopińska I., Jurik A., Eshed I., et al. Recommendations of the ESSR Arthritis Subcommittee for the Use of Magnetic Resonance Imaging in Musculoskeletal Rheumatic Diseases // *Semin Musculoskelet Radiol*. 2015. Vol. 19, N 04. P. 396–411. doi: 10.1055/s-0035-1564696
9. Магнитно-резонансная томография лучезапястного сустава [Internet]. Московский стандарт лучевой диагностики. [дата обращения 10.10.2023] Доступ по ссылке: <https://standard.telemedai.ru/issledovanie/magnitno-rezonansnaya-tomografiya-luchezapyastnogo-sustava>
10. Бажин А.В., Блинов Н.Н., Васильев Ю.А., и др. Стандарты выполнения магнитно-резонансной томографии. Москва : Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, 2019.
11. Eschweiler J., Li J., Quack V., et al. Anatomy, Biomechanics, and Loads of the Wrist Joint // *Life*. 2022. Vol. 12, N 2. P. 188. doi: 10.3390/life12020188
12. Rubin D.A., Roberts C.C., Bencardino J.T., et al. ACR Appropriateness Criteria® Chronic Wrist Pain // *J Am Coll Radiol*. 2018. Vol. 15, N 5. P. S39–S55. doi: 10.1016/j.jacr.2018.03.021
13. Dreckmann S.C., von Schroeder H.P., Novak C.B., et al. Utility of Specialized Imaging for Diagnosis of Chronic Wrist Pain // *J Wrist Surg*. 2019. Vol. 08, N 06. P. 497–502. doi: 10.1055/s-0039-1697022
14. El-Deek A.M.F., Dawood E.M.A.E.-H.H., Mohammed A.A.M. Role of ultrasound versus magnetic resonance imaging in evaluation of non-osseous disorders causing wrist pain // *Egypt J Radiol Nucl Med*. 2019. Vol. 50, N 1. P. 8. doi: 10.1186/s43055-019-0008-9
15. Götestrand S., Björkman A., Björkman-Burtscher I.M., et al. Visualization of wrist anatomy—a comparison between 7T and 3T MRI // *Eur Radiol*. 2022. Vol. 32, N 2. P. 1362–1370. doi: 10.1007/s00330-021-08165-5
16. Kocharian A., Adkins M.C., Amrami K.K., et al. Wrist: Improved MR Imaging with Optimized Transmit-Receive Coil Design. *Radiology*. 2002. Vol. 223, N 3. P. 870–876. doi: 10.1148/radiol.2233010824
17. Hand/Wrist 16 [Internet]. Siemens Healthineers. [дата обращения 10.10.2023] Доступ по ссылке: <https://www.siemens-healthineers.com/magnetic-resonance-imaging/options-and-upgrades/coils/hand-wrist-16>
18. Hand and Wrist MRI Coil [Internet]. ScanMed: A DirectMed Company. [дата обращения 10.10.2023] Доступ по ссылке: <https://www.scanmed.com/wrist-mri-coil>
19. Peterfy C.G., Olech E., DiCarlo J.C., et al. Monitoring cartilage loss in the hands and wrists in rheumatoid arthritis with magnetic resonance imaging in a multi-center clinical trial: IMPRESS (NCT00425932) // *Arthritis Res Ther*. 2013. Vol. 15, N 2. P. R44. doi: 10.1186/ar4202
20. Vassa R., Garg A., Omar I.M. Magnetic resonance imaging of the wrist and hand // *Polish J Radiol*. 2020. Vol. 85, N 1. P. 461–488. doi: 10.5114/pjr.2020.99034

REFERENCES

1. Ratasvuori MS, Lindfors NC, Sormaala MJ. The clinical significance of magnetic resonance imaging of the hand: an analysis of 318 hand and wrist images referred by hand surgeons. *J Plast Surg Hand Surg*. 2022;56(2):69–73. doi: 10.1080/2000656X.2021.1933993
2. Sergunova KA, Akhmad ES, Petryaikin AV, et al. *Safety Fundamentals of Magnetic Resonance Imaging*. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; 2019. (In Russ). EDN: GTOVGS
3. Semenov DS, Panina OY, Khoruzhaya AN, et al. All-Russian rating of radiology departments: 2020 competition results. *Digital Diagnostics*. 2022;3(1):43–54. EDN: SWQWGE doi: 10.17816/DD95661
4. Andersson JK, Hansson-Olofsson E, Karlsson J, et al. Cost description of clinical examination and MRI in wrist ligament injuries. *J Plast Surg Hand Surg*. 2018;52(1):30–36. doi: 10.1080/2000656X.2017.1319845
5. Hansford BG. Multimodality Pitfalls of Wrist Imaging With a Focus on Magnetic Resonance Imaging. *Top Magn Reson Imaging*. 2020;29(5):263–272. doi: 10.1097/RMR.0000000000000254
6. Burns JE, Tanaka T, Ueno T, et al. Pitfalls That May Mimic Injuries of the Triangular Fibrocartilage and Proximal Intrinsic Wrist Ligaments at MR Imaging. *RadioGraphics*. 2011;31(1):63–78. doi: 10.1148/rg.311105114
7. Guidelines for MR Imaging of Sports Injuries [Internet]. European Society of Musculoskeletal Radiology. Available from: <https://essr.org/content-essr/uploads/2016/10/ESSR-MRI-Protocols-Fingers.pdf>
8. Sudot-Szopińska I, Jurik A, Eshed I, et al. Recommendations of the ESSR Arthritis Subcommittee for the Use of Magnetic Resonance

Imaging in Musculoskeletal Rheumatic Diseases. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(04):396–411. doi: 10.1055/s-0035-1564696

9. Magnetic resonance imaging of the wrist joint [Internet]. Moscow Standard of Radiologic Diagnostics. [cited 10 Oct 2023] Available from: <https://standard.teledimed.ru/issledovanie/magnitno-rezonansnaya-tomografiya-luchezapayastnogo-sustava> (In Russ)

10. Bazhin AV, Blinov NN, Vasilev YuA, et al. *Standards for the performance of magnetic resonance imaging*. Moscow: Moscow State Medical and Dental University named after A.I. Evdokimov; 2019. (In Russ).

11. Eschweiler J, Li J, Quack V, et al. Anatomy, Biomechanics, and Loads of the Wrist Joint. *Life.* 2022;12(2):188. doi: 10.3390/life12020188

12. Rubin DA, Roberts CC, Bencardino JT, et al. ACR Appropriateness Criteria® Chronic Wrist Pain. *J Am Coll Radiol.* 2018;15(5):S39–S55. doi: 10.1016/j.jacr.2018.03.021

13. Dreckmann SC, von Schroeder HP, Novak CB, et al. Utility of Specialized Imaging for Diagnosis of Chronic Wrist Pain. *J Wrist Surg.* 2019;08(06):497–502. doi: 10.1055/s-0039-1697022

14. El-Deek AMF, Dawood EMAE-HH, Mohammed AAM. Role of ultrasound versus magnetic resonance imaging in evaluation of non-osseous disorders causing wrist pain. *Egypt J Radiol Nucl Med.* 2019;50(1):8. doi: 10.1186/s43055-019-0008-9

15. Götestrand S, Björkman A, Björkman-Burtscher IM, et al. Visualization of wrist anatomy — a comparison between 7T and 3T MRI. *Eur Radiol.* 2022;32(2):1362–1370. doi: 10.1007/s00330-021-08165-5

16. Kocharian A, Adkins MC, Amrami KK, et al. Wrist: Improved MR Imaging with Optimized Transmit-Receive Coil Design. *Radiology.* 2002;223(3):870–876. doi: 10.1148/radiol.2233010824

17. Hand/Wrist 16 [Internet]. Siemens Healthineers. [cited 10 Oct 2023] Available from: <https://www.siemens-healthineers.com/magnetic-resonance-imaging/options-and-upgrades/coils/hand-wrist-16>

18. Hand and Wrist MRI Coil [Internet]. ScanMed: A DirectMed Company. [cited 10 Oct 2023] Available from: <https://www.scanmed.com/wrist-mri-coil>

19. Peterfy CG, Olech E, DiCarlo JC, et al. Monitoring cartilage loss in the hands and wrists in rheumatoid arthritis with magnetic resonance imaging in a multi-center clinical trial: IMPRESS (NCT00425932). *Arthritis Res Ther.* 2013;15(2):R44. doi: 10.1186/ar4202

20. Vassa R, Garg A, Omar IM. Magnetic resonance imaging of the wrist and hand. *Polish J Radiol.* 2020;85(1):461–488. doi: 10.5114/pjr.2020.99034

ОБ АВТОРАХ

* Абуладзе Лия Руслановна;

адрес: Россия, г. Москва, 127051, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;

ORCID: 0000-0001-6745-1672;

eLibrary SPIN: 8640-9989;

e-mail: drliaabuladze@gmail.com

Васильев Юрий Александрович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-0208-5218;

eLibrary SPIN: 4458-5608;

e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru

Семенов Дмитрий Сергеевич, канд. техн. наук;

ORCID: 0000-0002-4293-2514;

eLibrary SPIN: 2278-7290;

e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru

Петряйкин Алексей Владимирович, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0003-1694-4682;

eLibrary SPIN: 6193-1656;

e-mail: PetryajkinAV@zdrav.mos.ru

Учеваткин Андрей Алексеевич, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0001-7284-4737;

eLibrary SPIN: 5575-4511;

e-mail: UchevatkinAA@zdrav.mos.ru

Бажин Александр Владимирович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-3198-1334;

eLibrary SPIN: 6122-5786;

e-mail: BazhinAV@zdrav.mos.ru

Шарова Дарья Евгеньевна;

ORCID: 0000-0001-5792-3912;

eLibrary SPIN: 1811-7595;

e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru

AUTHORS' INFO

* Liya R. Abuladze, MD;

address: 24-1 Petrovka Str., Moscow, 127051, Russia;

ORCID: 0000-0001-6745-1672;

eLibrary SPIN: 8640-9989;

e-mail: drliaabuladze@gmail.com

Yuriy A. Vasilev, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-0208-5218;

eLibrary SPIN: 4458-5608;

e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru

Dmitry S. Semenov, Cand. Sci. (Engineering);

ORCID: 0000-0002-4293-2514;

eLibrary SPIN: 2278-7290;

e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru

Alexey V. Petraikin, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-1694-4682;

eLibrary SPIN: 6193-1656;

e-mail: PetryajkinAV@zdrav.mos.ru

Andrey A. Uchevatkin, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0001-7284-4737;

eLibrary SPIN: 5575-4511;

e-mail: UchevatkinAA@zdrav.mos.ru

Alexander V. Bazhin, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-3198-1334;

eLibrary SPIN: 6122-5786;

e-mail: BazhinAV@zdrav.mos.ru

Dariya E. Sharova, MD;

ORCID: 0000-0001-5792-3912;

eLibrary SPIN: 1811-7595;

e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623183>

Возможности мультипараметрической магнитно-резонансной томографии при проведении фьюжн-биопсии под её контролем в диагностике рака предстательной железы: текущий статус

V. Testini^{1,2}, L. Eusebi³, F.S. Guerra¹, W. Giannubilo⁴, M. Di Biase⁵, A. Russo², G. Guglielmi^{1,2,6}¹ Университет Фоджи, Фоджа, Италия;² Monsignor Raffaele Dimiccoli Hospital, Барлетта, Италия;³ Carlo Urbani Hospital, Ези, Италия;⁴ Ospedale Civile, Чивитанова-Марке, Италия;⁵ Santa Maria della Misericordia Hospital, Перуджа, Италия;⁶ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Фоджа, Италия

АННОТАЦИЯ

В данном обзоре освещается роль мультипараметрической магнитно-резонансной томографии в выявлении рака предстательной железы, в частности — при биопсии простаты. Использование мультипараметрической магнитно-резонансной томографии в диагностике рака простаты позволяет также применять её для биопсии. Мультипараметрическая магнитно-резонансная томография, по данным многих исследований, обладает высокой чувствительностью и специфичностью в ранней диагностике и стадировании у пациентов с сохраняющимся высоким уровнем простатспецифического антигена, несмотря на предыдущие отрицательные биопсии простаты, а также при ведении пациентов, находящихся под активным наблюдением.

Для проведения прицельной биопсии простаты существует три типа наведения: когнитивная фьюжн-биопсия; прямая биопсия, направляемая магнитно-резонансной томографией и выполняемая внутри томографа (in-bore); программная корегистрация снимков предоперационной магнитно-резонансной томографии с интраоперационным ультразвуковым исследованием с помощью фьюжн-устройства. При этом при проведении прицельной биопсии результаты мультипараметрической магнитно-резонансной томографии накладываются в цифровом виде на изображения трансректального ультразвукового исследования в реальном времени.

Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Прицельная биопсия с помощью магнитно-резонансной томографии улучшает качество гистологических результатов по сравнению с другими подходами, выявляя значимые индексные поражения с точностью до 90%. Правильное стадирование позволяет выбрать оптимальные варианты лечения, адекватно оценить прогноз, снизить частоту новых биопсий и осложнений. В настоящее время главная задача состоит в том, чтобы сделать биопсию в сочетании с магнитно-резонансной томографией более доступной и стандартизировать технику проведения процедуры, что позволит минимизировать межоператорскую вариабельность в зависимости от используемой системы.

Ключевые слова: мультипараметрическая магнитно-резонансная томография; рак предстательной железы; фьюжн-биопсия; прицельная биопсия.

Как цитировать:

Testini V., Eusebi L., Guerra F.S., Giannubilo W., Di Biase M., Russo A., Guglielmi G. Возможности мультипараметрической магнитно-резонансной томографии при проведении фьюжн-биопсии под её контролем в диагностике рака предстательной железы: текущий статус // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 283–302. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623183>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623183>

Multiparametric magnetic resonance imaging and magnetic resonance imaging fusion-guided biopsy for the diagnosis of prostate cancer: current status

Valentina Testini^{1,2}, Laura Eusebi³, Francesco Saverio Guerra¹, Willy Giannubilo⁴, Manuel Di Biase⁵, Annunziata Russo², Giuseppe Guglielmi^{1,2,6}

¹ Foggia University, Foggia, Italy;

² Monsignor Raffaele Dimiccoli, Barletta, Italy;

³ Carlo Urbani Hospital, Jesi, Italy;

⁴ Ospedale Civile, Civitanova Marche, Italy;

⁵ Santa Maria della Misericordia Hospital, Perugia, Italy;

⁶ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Foggia, Italy

ABSTRACT

This review explains the role of multiparametric magnetic resonance imaging, particularly in prostate biopsy, in the detection of prostate cancer. The use of multiparametric magnetic resonance imaging in the diagnosis of prostate cancer has also allowed its use in magnetic resonance imaging-guided biopsies, which according to many studies present high sensitivity and specificity in early diagnosis and staging, in patients with persistently high prostate-specific antigen levels despite previous negative prostate biopsies, and in the follow-up of patients under active surveillance.

To perform a targeted prostate biopsy, three types of magnetic resonance imaging guidance are available: cognitive fusion, direct magnetic resonance imaging-guided biopsy performed within a tomograph (in-bore biopsies), and software coregistration of stored magnetic resonance images with real-time ultrasound using a fusion device, with multiparametric magnetic resonance imaging findings digitally overlaid on real-time transrectal ultrasound images for targeted biopsy.

Each method has its advantages and disadvantages. Magnetic resonance imaging-targeted biopsy improves the quality of histological results compared with other approaches, with approximately 90% correct detection of significant index lesions. Correct staging allows the selection of the best therapeutic options, adequate evaluation of the prognosis, and reduction of the incidence of new biopsies and complications. The current objective is to make magnetic resonance imaging-guided biopsy increasingly available and standardize the technique to minimize inter-operator variability depending on the available system.

Keywords: multiparametric magnetic resonance imaging; prostate cancer; fusion biopsy; targeted biopsy.

To cite this article:

Testini V, Eusebi L, Guerra FS, Giannubilo W, Di Biase M, Russo A, Guglielmi G. Multiparametric magnetic resonance imaging and magnetic resonance imaging fusion-guided biopsy for the diagnosis of prostate cancer: current status. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):283–302. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623183>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623183>

融合引导活检在前列腺癌诊断中的多参数磁共振成像功能：现状

Valentina Testini^{1,2}, Laura Eusebi³, Francesco Saverio Guerra¹, Willy Giannubilo⁴, Manuel Di Biase⁵, Annunziata Russo², Giuseppe Guglielmi^{1,2,6}

¹ Foggia University, Foggia, Italy;

² Monsignor Raffaele Dimiccoli, Barletta, Italy;

³ Carlo Urbani Hospital, Jesi, Italy;

⁴ Ospedale Civile, Civitanova Marche, Italy;

⁵ Santa Maria della Misericordia Hospital, Perugia, Italy;

⁶ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Foggia, Italy

摘要

本综述强调了多参数磁共振成像在前列腺癌检测中的作用，特别是在前列腺活检中的作用。多参数磁共振成像技术在前列腺癌诊断中的应用也可用于活检。许多研究报告称，多参数磁共振成像在前列腺活检阴性但前列腺特异性抗原水平持续偏高的患者的早期诊断和分期方面具有很高的灵敏度和特异性，在主动监测患者的管理方面也是如此。

前列腺靶向活检有三种引导方式：认知融合引导活检；由磁共振成像引导并在计算机断层扫描仪内（in-bore）进行的直接活检；以及使用融合设备对术前磁共振成像图像和术中超声检查进行的软件联合注册。在这种靶向活检中，多参数磁共振成像结果以数字方式叠加在实时经直肠超声图像上。

每种方法都有其优缺点。与其他方法相比，利用磁共振成像进行靶向活检可提高组织学结果的质量，检测重要指标病变的准确率高达 90%。正确的分期可以选择最佳治疗方案，充分评估预后，减少新的活检和并发症的发生。目前的主要任务是使活检与磁共振成像相结合的应用更加广泛，并使手术技术标准化，以最大限度地减少因所使用的系统不同而造成的操作者之间的差异。

关键词：多参数磁共振成像；前列腺癌；融合引导活检；靶向活检。

引用本文：

Testini V, Eusebi L, Guerra FS, Giannubilo W, Di Biase M, Russo A, Guglielmi G. 融合引导活检在前列腺癌诊断中的多参数磁共振成像功能：现状. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):283–302. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623183>

收到: 10.11.2023

接受: 27.12.2023

发布日期: 05.07.2024

ВВЕДЕНИЕ

В западных странах рак предстательной железы (РПЖ) является наиболее частой некожной опухолью у мужчин [1]. Согласно рекомендациям Европейской ассоциации урологов (EAU), биопсия простаты — золотой стандарт диагностики РПЖ.

Наиболее часто применяемый диагностический метод — это случайная 12-точечная биопсия (не секстант), при которой 12 образцов берутся только в периферической зоне железы [2]. Эта методика имеет следующие ограничения:

- недобырка — недостаточное количество образцов по отношению к объёму простаты;
- перевыборка — чрезмерное количество образцов с выявлением незначительных микроочагов;
- низкая чувствительность — завышенная оценка с диагностикой незначимых опухолей;
- низкая специфичность — заниженная оценка с неспособностью диагностировать клинически значимые раковые опухоли;
- ошибки, связанные с квалификацией оператора [3].

Новая терапевтическая тенденция активного наблюдения (АН) за опухолями низкого риска и малоинвазивные целевые процедуры требуют более точного обследования простаты, что обуславливает необходимость усовершенствования методов биопсии.

В настоящее время биопсия простаты рекомендуется мужчинам в возрасте 50–69 лет с высоким уровнем простатспецифического антигена (ПСА) в сыворотке крови (>3 нг/мл) или аномальными результатами цифрового ректального исследования (узелки, уплотнения и асимметрия). После первой серии отрицательных результатов биопсии при сохраняющихся подозрениях на РПЖ следует увеличить количество биоптатов (то есть провести сатурационную биопсию) и взять пробы транзитной зоны [4].

С момента своего первого применения в 1983 году магнитно-резонансная томография (МРТ) широко используется для диагностики РПЖ благодаря своей доступности и мультипараметрической визуализации, сочетающей анатомические и функциональные данные [5, 6].

В 2012 году Европейское общество урогенитальной радиологии опубликовало рекомендации, основанные на консенсусе экспертов, по интерпретации и представлению результатов МРТ-исследований предстательной железы (Pi-RADS) [7]. С тех пор показатель Pi-RADS прошёл внешнюю оценку и был признан надёжным для более точного выявления РПЖ [8].

В 2019 году Руководящий комитет Pi-RADS опубликовал обновлённые рекомендации с описанием категорий оценки и технических параметров [9].

С учётом этих предпосылок роль мультипараметрической МРТ (мпМРТ) стала главенствующей не только в диагностике РПЖ, но и при проведении биопсии

как инструмента для правильного стадирования и оценки распространения опухоли (по шкале Глисона).

В настоящее время ставится задача сделать МРТ-направленную биопсию более доступной, тем самым минимизируя межоператорскую вариабельность в зависимости от используемой системы.

МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ БИОПСИИ ПРОСТАТЫ

Существует три вида МРТ-наведения для проведения прицельной биопсии (ПБ) простаты.

1. Когнитивная FUSION-биопсия (фьюжн-биопсия). Оператор визуально проводит биопсию под контролем трансректального ультразвукового исследования (ТРУЗИ) в области патологии простаты, которая визуализируется на мпМРТ.
2. Прямая МРТ-направленная биопсия, выполняемая внутри трубки томографа («in-bore биопсия»). Этот метод обладает достаточной точностью при выявлении интересующих областей в предстательной железе, однако процедура непрактична, затратна по времени и стоимости, поскольку весь процесс выполняется внутри гентри томографа [10].
3. Программная корегистрация снимков предоперационной МРТ с интраоперационным ультразвуковым исследованием (УЗИ) в реальном времени с помощью фьюжн-устройства. При этом для проведения ПБ сохранённые результаты мпМРТ в цифровом виде накладываются на изображения ТРУЗИ в реальном времени. Эта процедура может быть выполнена с помощью эластичных — Urostation (Koelis, Франция), Artemis (Eigen Health, США) — или жёстких — Uronav (Philips, Нидерланды), BiopSee (MedCom, Германия) — систем совмещения изображений.

У каждого метода есть свои преимущества и недостатки.

Несмотря на значительные различия в чувствительности выявления индолентных заболеваний в разных исследованиях, большинство работ показали, что чувствительность МРТ/УЗИ-биопсии (когнитивной или аппаратной) составляет от 80 до 95% [11].

Основными клиническими показаниями к проведению МРТ/УЗИ фьюжн-биопсии являются сохраняющийся высокий уровень ПСА, несмотря на предыдущие отрицательные биопсии простаты, и мониторинг пациентов, находящихся под АН [12].

Когнитивная фьюжн-биопсия

Когнитивная фьюжн-биопсия выполняется легко и быстро и не требует дополнительного оборудования, кроме аппарата МРТ и стандартной установки ТРУЗИ.

МРТ- и ТРУЗИ-изображения накладываются друг на друга методом когнитивного совмещения, которое может быть выполнено с помощью распечатанного документа или путём выведения МРТ-изображений на экран рабочей станции в кабинете ТРУЗИ, находящимся рядом с его платформой [13]. Когнитивное совмещение изображений основано на способности сонографа локализовать интересующую область путём визуализации её расположения в простате после визуализации поражения на МРТ [12].

Преимуществами когнитивного совмещения являются скорость и простота. Врач берёт пробу из очага поражения, зная его локализацию, выявленную на МРТ. Этот вид биопсии не требует специального оборудования, помимо того, которое обычно необходимо для биопсии с ТРУЗИ-наведением, а оператору УЗИ не требуется дополнительной подготовки [14].

Однако одним из недостатков когнитивной фьюжн-биопсии могут быть ошибки выборки при попытке концептуализировать область интереса, что особенно проблематично для небольших опухолей. Ещё один недостаток — это невозможность отследить место взятия биоптатов при предыдущей биопсии.

Несмотря на это, частота обнаружения опухолей при когнитивной фьюжн-биопсии сопоставима с таковой при аппаратной, и в большинстве исследований обе эти процедуры показывают лучшие результаты, чем только случайная систематическая выборка [15, 16].

Ещё один недостаток когнитивной фьюжн-биопсии — возможные ошибки, обусловленные человеческим фактором, возникающие при переходе от МРТ к ТРУЗИ в отсутствие реального наложения снимков.

В нескольких исследованиях оценивалась ценность когнитивной ПБ. I.S. Williams и соавт. обнаружили, что когнитивная ПБ показала лучшие результаты по сравнению со случайной выборкой, особенно при поражении передних отделов простаты [17]. В ретроспективном анализе J. Haffner и соавт. сравнили результаты ПБ с результатами случайной 12-точечной биопсии у 555 пациентов [18]. Авторы считают, что при использовании одного только метода ПБ потребовалось бы всего 3,8 столбика на пациента, что позволило бы избежать ненужных биопсий у 38% пациентов с нормальными результатами МРТ и избежать выявления «малых» форм рака, обнаруженного при случайной биопсии в 13% случаев [18].

В исследовании J. Haffner и соавт. при проведении только ПБ было пропущено 13 значимых раковых образований, тогда как при стандартном подходе — 12 [18].

В другом исследовании P. Ruesch и соавт. обнаружили, что проведение МРТ перед биопсией увеличивало частоту выявления рака (ЧБР) с 59% при 12-точечной сатурационной биопсии (СБ) до 65% при когнитивной ПБ [15].

Что касается значимых форм рака (длина биоптата, поражённого раком >3 мм в любом образце и оценка

по шкале Глисона >3+3), ЧБР составила 67% для ПБ и 52% для обычной биопсии [15].

A.P. Labanaris и соавт. продемонстрировали, что при ПБ достигается 90% совпадение суммы Глисона предоперационной биопсии и послеоперационных результатов, и указали, что МРТ следует проводить до биопсии, что позволит уменьшить процент недооценки при СБ [19].

Таким образом, современные исследования показывают, что биопсия под МРТ-контролем имеет более высокую точность и ЧБР, чем стандартная биопсия с ТРУЗИ-наведением.

J. Haffner и соавт. полагают, что когнитивная фьюжн-биопсия уступает систематической биопсии у мужчин с сомнительными результатами МРТ, подчеркнув, что основной риск, связанный с когнитивной фьюжн-биопсией, — это межоператорская вариабельность [18]. Несмотря на то, что в современной литературе отмечается значительный потенциал когнитивной фьюжн-биопсии в случае её выполнения опытными специалистами, большинство урологов в настоящее время всё же склоняются к коммерчески доступной аппаратной биопсии из-за отсутствия возможности отслеживания данных и цифрового наложения.

Прямая биопсия с помощью магнитно-резонансной томографии (in-bore)

Радиолог выполняет прямую МРТ-направленную биопсию внутри томографа (in-bore), совмещая предыдущее МРТ-изображение, указывающее на поражение, и МРТ-изображение в реальном времени, чтобы определить место вкола биопсийной иглы. Процедура выполняется через трансректальный доступ. После взятия каждого биоптата выполняется сканирование, чтобы убедиться в его локализации. Как правило, берётся всего несколько целевых проб, случайная выборка не проводится.

In-bore биопсия имеет свои преимущества, заключающиеся в точности установки иглы, меньшем количестве отобранных образцов и низком риске пропущенных точек для взятия материала, если они видны на МРТ [20]. К недостаткам метода относятся большая стоимость и временные затраты, а также невозможность регулярного взятия проб из остаточной ткани железы [20]. Это важно, поскольку при МРТ не обнаруживается около 10% тяжёлых поражений, выявляемых при радикальной простатэктомии [21, 22].

M. Quentin и соавт. показали, что in-bore ПБ показывает отличную достоверно значимую ЧБР (92,2%) [23]. С.М. Hoeks и соавт. сообщили, что 265 пациентам с сомнительными поражениями, выявленными на мпМРТ, у которых ранее ТРУЗИ-биопсия была отрицательной, была проведена трансректальная in-bore ПБ, в результате чего ЧБР составила 41%, а 87% выявленных опухолей оказались клинически значимыми [24].

L. Marks и соавт. представили обширный опыт проведения in-bore биопсии [25]. По мнению авторов,

к недостаткам этой процедуры относятся большие затраты времени и средств, а также необходимость проведения двух сеансов МРТ для получения биоптатов.

Кроме того, поскольку в ходе этой процедуры отбираются образцы только подозрительных поражений, ткани с «нормальным» внешним видом, визуализируемым на МРТ, не отбираются. Данный факт представляет проблему, поскольку ложноотрицательные характеристики МРТ-исследования простаты не изучены в достаточной степени [25].

Фьюжн-биопсия с использованием магнитно-резонансной томографии и трансректального ультразвукового исследования

Во время этой процедуры оператор получает изображение простаты с помощью ультразвука, как это было принято на протяжении десятилетий. При этом осуществляется наложение УЗИ в реальном времени на заранее

сохранённую МРТ предстательной железы, что позволяет задать механизму наведения аппарата УЗИ цель, предварительно очерченную радиологом. В результате совмещения изображений создаётся трёхмерная модель простаты, и уже с её помощью осуществляется прицеливание и отслеживание мест взятия образцов (рис. 1 и рис. 2) [25].

По сравнению с визуальной оценкой, МРТ-ТРУЗИ фьюжн-биопсия может иметь более высокую воспроизводимость благодаря меньшей зависимости от оператора и предоставлению обратной связи в реальном времени о фактических областях биопсии [3]. Кроме того, преимущество этого метода заключается в том, что такой вид биопсии может быть выполнен за несколько минут в амбулаторных условиях под местной анестезией с использованием технологий, которые применяются уже много лет. Результаты, полученные при использовании фьюжн-устройства, весьма обнадеживающие [25].

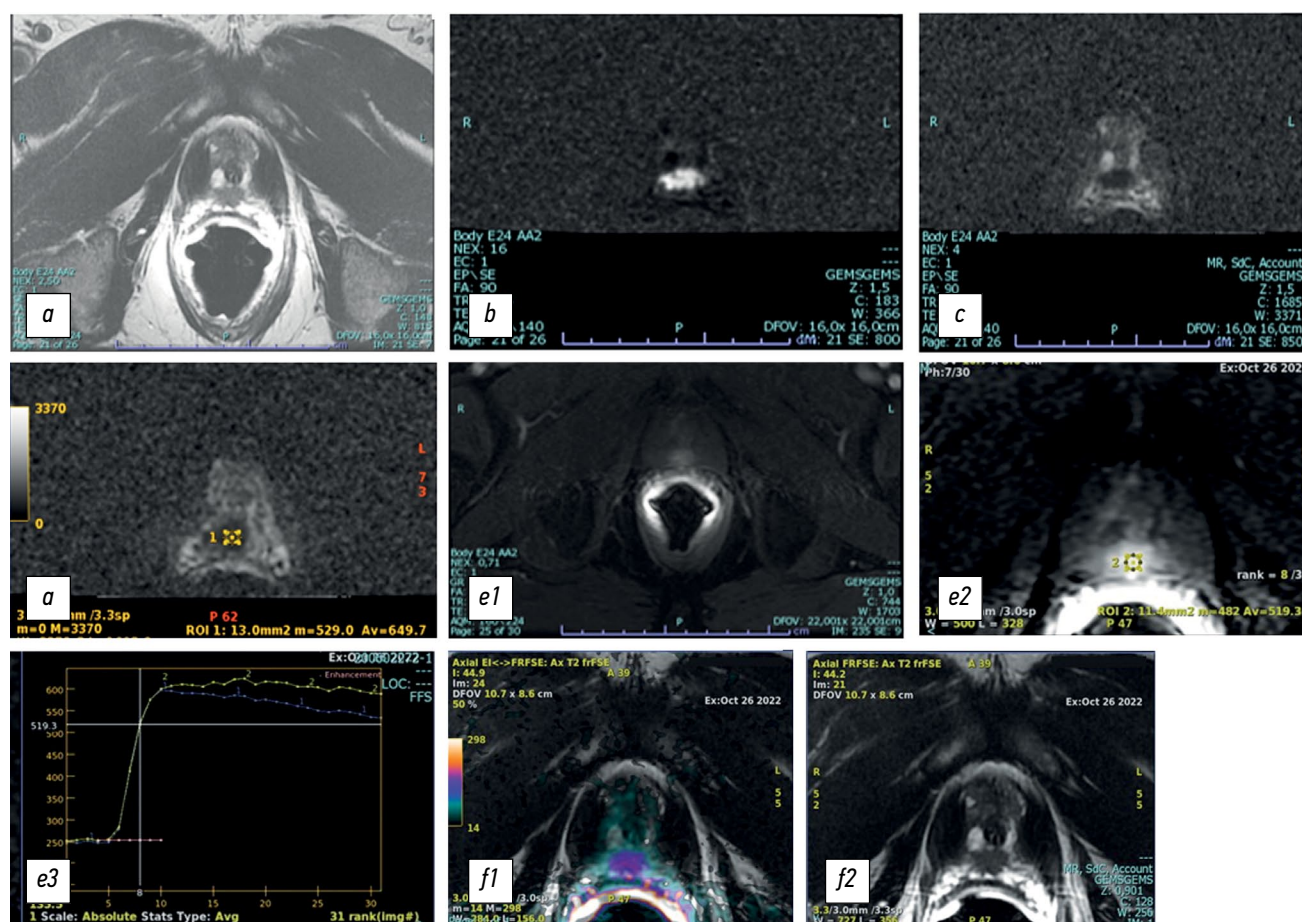


Рис. 1. Магнитно-резонансная томография: *a* — T2-взвешенное изображение в аксиальной плоскости показывает гипоинтенсивное узловое поражение в периферической зоне на задней поверхности апикальной части простаты; *b, c* — диффузионно-взвешенные изображения в аксиальной плоскости с измеряемым коэффициентом диффузии, равным $10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ в соответствующей области; *d* — режим DWI в сочетании с соответствующей картой измеряемого коэффициента диффузии. Это важный количественный биофизический параметр, который может быть использован для диагностики рака предстательной железы, так как снижение диффузии молекул воды при данной патологии связано с повышенной насыщенностью злокачественных клеток, уменьшением внеклеточного пространства и ограничением движения большей части молекул воды во внутриклеточное пространство; *e1, e2, e3* — опухоль характеризуется интенсивным ранним накоплением контрастного вещества в окружающих нормальных тканях; *f1, f2* — колориметрическая карта, полученная при динамической контрастной визуализации рака предстательной железы в периферической зоне в апикальной части простаты. Подозрительная область окрашена в красный цвет.

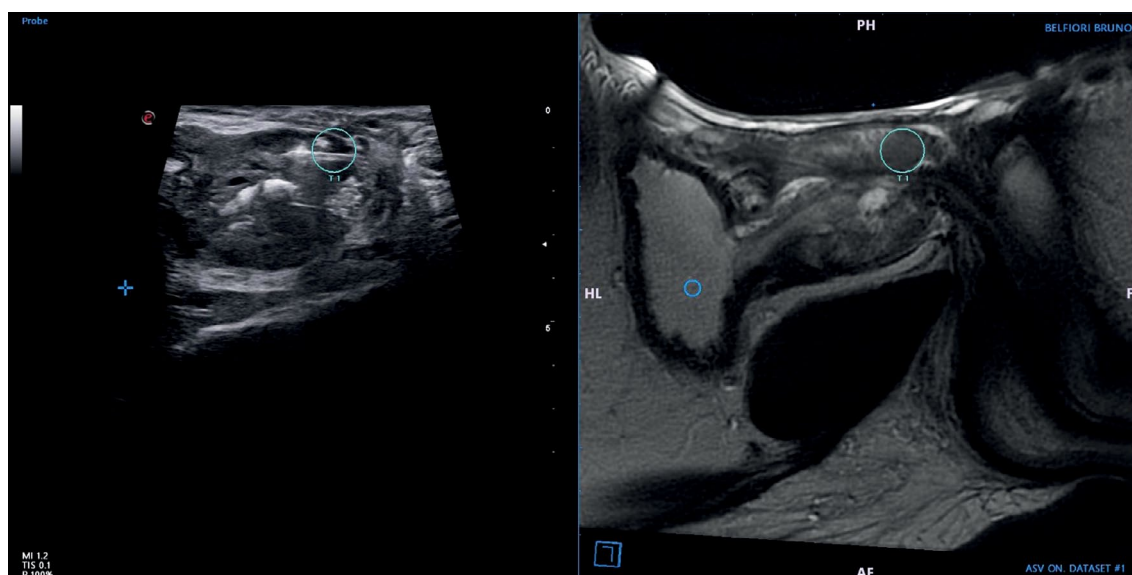


Рис. 2. Фьюжн-биопсия простаты в сочетании с магнитно-резонансной томографией и трансректальным ультразвуковым исследованием. Простата и очаги поражения, выявленные на изображениях (в данном случае на T2-взвешенных изображениях), сегментируются. Во время процедуры выполнено двухмерное трансректальное ультразвуковое исследование простаты. Изображения создаются в полуавтоматическом режиме, их можно совмещать и накладывать друг на друга. Объединив два изображения, уролог может определить локализацию поражения при биопсии с помощью ультразвукового наведения в режиме реального времени.

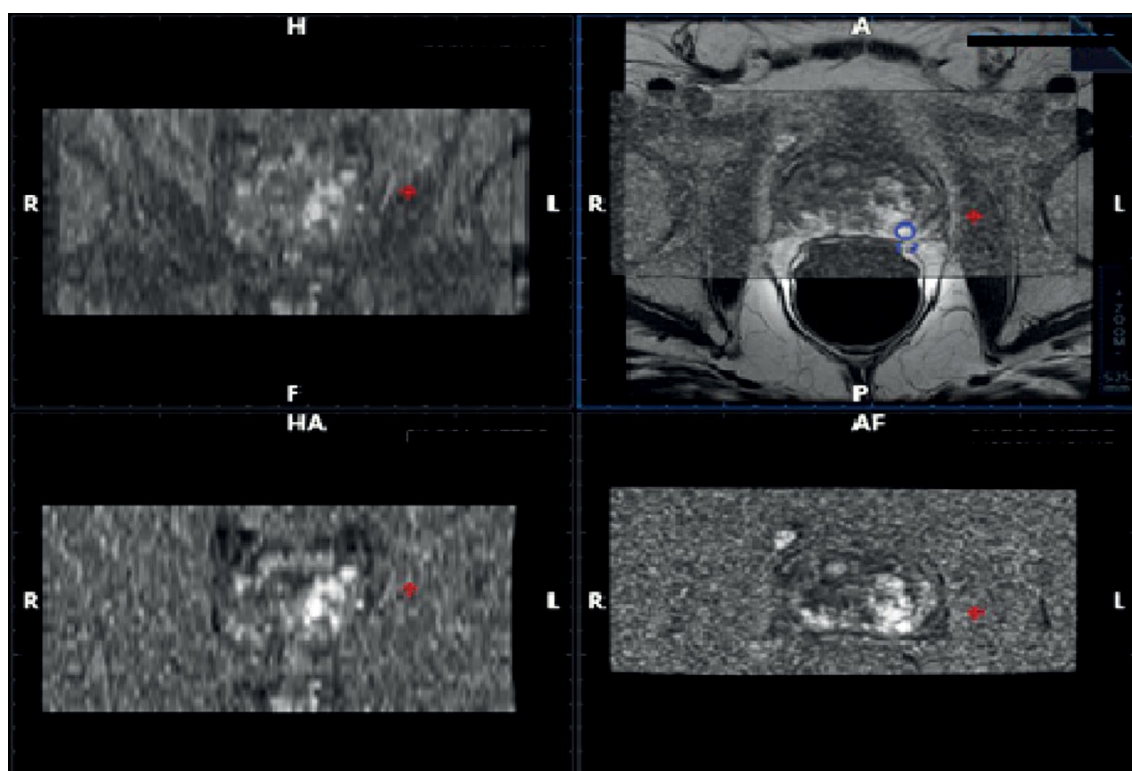


Рис. 3. Магнитно-резонансная томография предстательной железы: диффузионно-взвешенное изображение в аксиальной плоскости (вверху слева) с картой измеряемого коэффициента диффузии (внизу слева), T2-взвешенное изображение (вверху справа) и T1-взвешенное изображение после введения контрастного вещества (внизу справа).

К недостаткам относятся более высокая стоимость программного обеспечения/устройства, зависимость точности от программного обеспечения, а также связанные с этим кривая обучаемости и подготовка оператора (рис. 3, рис. 4) [26]. Ещё одним недостатком этого метода является то, что он не прямой, требует использования

дополнительного устройства и специальной подготовки оператора.

Аппаратная фьюжн-биопсия позволяет отбирать биоптаты в заранее определённых МРТ-областях с помощью аппарата 3D-рендеринга, который накладывает сохранённые МРТ-изображения на изображения УЗИ в реальном

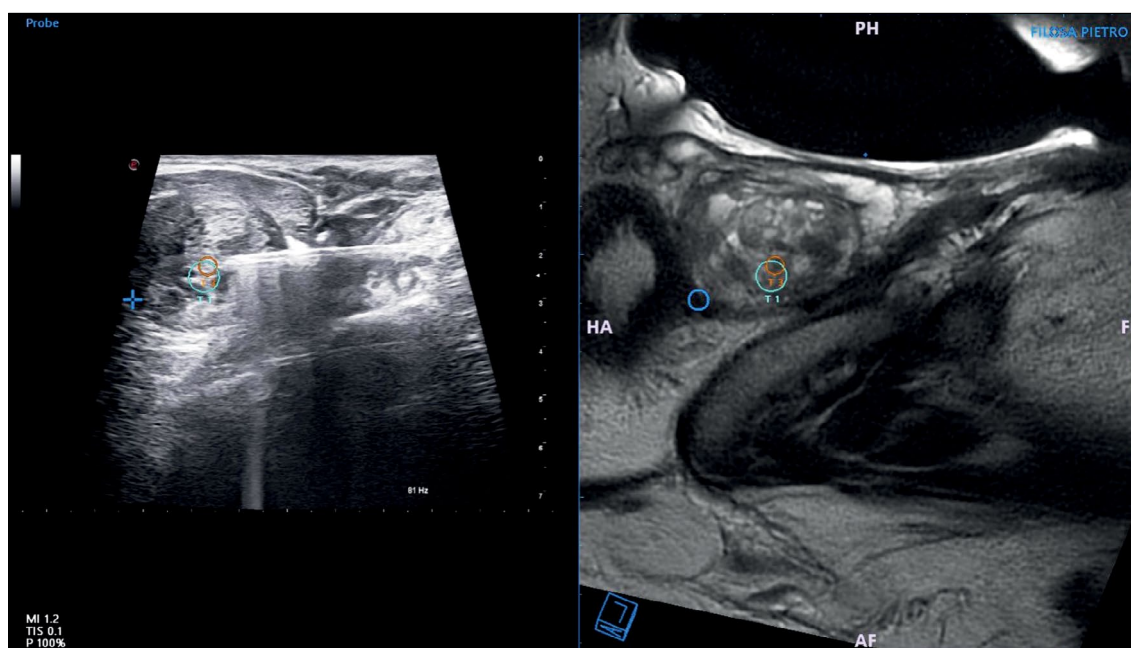


Рис. 4. Магнитно-резонансное изображение совмещается с изображением трансректального ультразвукового исследования в режиме реального времени методом цифрового наложения, что позволяет задать ультразвуковому аппарату цель, предварительно очерченную радиологом. Совмещение изображений позволяет реконструировать ткани предстательной железы, а прицеливание и отслеживание мест биопсии затем происходит уже на реконструированной модели.

времени. Эта техника известна как корегистрация. В настоящее время доступно несколько коммерческих платформ, каждая из которых имеет свой метод корегистрации и свою аппаратную платформу для проведения биопсии с помощью корегистрированных изображений [3]. Несмотря на наличие нескольких платформ для совмещения изображений МРТ и УЗИ, все они используют те или иные типы корегистрации изображений и отслеживания иглы/зонда (механического или электромагнитного). Эти технологии позволяют получать, хранить и реконструировать УЗИ-изображения в режиме реального времени, а также создавать трёхмерные карты расположения очагов поражения и мест предыдущей биопсии для последующего использования [27]. Поскольку любое движение пациента или простаты влияет на корегистрацию изображений, в этих устройствах также используются методы динамической повторной регистрации с использованием алгоритмов компенсации движения для обеспечения точного и воспроизводимого нацеливания на индексный очаг поражения [12].

В недавних исследованиях сравнивалось выявление РПЖ и тяжёлых форм заболевания с помощью традиционной СБ или трансперинеальной биопсии предстательной железы в качестве референсного теста [22, 28, 29].

В исследовании М.М. Siddiqui и соавт., где участвовало более 1000 пациентов, авторы использовали систему Philips Uronav для проведения стандартной 12-точечной биопсии с ТРУЗИ-наведением в качестве референсного теста и сообщили, что при ПБ диагностировано на 30%

больше опухолей высокого риска, чем при стандартной биопсии ($p=0,001$), и на 17% меньше опухолей низкого риска ($p=0,002$). В качестве уровня значимости использовался первичный балл по шкале Глисона 4 [22]. Е.С. Serefoglu и соавт. определили сумму баллов по шкале Глисона 3+4 как клинически значимый РПЖ (кзРПЖ) и сообщили, что 14,3–20,9% случаев кзРПЖ были обнаружены только с помощью ПБ, но проигнорированы традиционным ТРУЗИ-методом [30]. Кроме того, 23,5% случаев были переведены из разряда незначимых в разряд кзРПЖ с помощью МРТ-ТРУЗИ фьюжн-биопсии. И напротив, 4 из 105 случаев кзРПЖ были проигнорированы при МРТ-ТРУЗИ фьюжн-биопсии [30].

Е. Васо и соавт. продемонстрировали, что 98% индексных опухолей, определяемых по наибольшему баллу Глисона (или наибольшему объёму в случае мультифокальности с одинаковым баллом Глисона), были диагностированы с помощью МРТ. При проведении МРТ-ТРУЗИ фьюжн-биопсии на платформе Philips Urostation в 98% случаев локализация опухолей была выявлена правильно [31].

Что касается общественного здравоохранения, в 2016 году Y. Cerantola и соавт. опубликовали результаты анализа клинико-экономической эффективности, сравнив ТРУЗИ-биопсию с прицельной МРТ-биопсией. Авторы оценивали кумулятивный эффект через 5, 10, 15 и 20 лет и пришли к выводу, что включение МРТ и прицельной МРТ-биопсии в диагностику и лечение РПЖ будет экономически обоснованным решением даже через много лет [32].

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К ПРИЦЕЛЬНОЙ БИОПСИИ

Лишь в нескольких исследованиях изучались ЧВР при различных стратегиях ПБ, и их результаты противоречивы [26].

В исследовании N.B. Delongchamps и соавт. сравнивались результаты визуальной оценки с результатами, полученными с помощью двух устройств для проведения МРТ-ТРУЗИ фьюжн-биопсии. Авторы сообщили о том, что СБ показала себя лучше в сравнении с когнитивной фьюжн-биопсией. Однако оба программных устройства корегистрации — Esaote (MyLab Twice, Италия) и Philips Urostation, — тестируемых в когорте из 391 пациента, показали более высокую ЧВР по сравнению с СБ при анализе условной логистической регрессии [33].

В проспективном исследовании J. Вах, где участвовало 125 мужчин с подозрительными опухолями, сравнивали МРТ-ТРУЗИ фьюжн-биопсию (Eigen Artemis) с прицеливанием по визуальной оценке [34]. Авторы обнаружили, что биопсия, выполненная с использованием МРТ-ТРУЗИ, имеет несколько более высокий показатель ЧВР для всех видов рака (32% против 26,7%; $p=0,1374$) и сумму баллов по Глисон $\geq 3+4$ (20,3% против 15,1%; $p=0,0523$).

P. Ruesch и соавт. не обнаружили различий в частоте выявления РПЖ при жёсткой программной корегистрации с использованием MedCom Navigator (MedCom, Германия) по сравнению с когнитивной прицельной фьюжн-биопсией (53% против 47%). Кроме того, не было отмечено различий в позитивном статусе рака, определяемого на МРТ, в задних (46 из 79; 58%) и передних (33 из 79; 42%) отделах простаты или самых маленьких (25 из 79; 32%) очагах [15]. В 2013 году M.A. Bjurlin и соавт. пришли к выводу, что использование МРТ при ПБ простаты может уменьшить количество ошибок выборки, связанных с обычной биопсией, за счёт лучшей локализации очагов заболевания и отбора биоптатов. Авторы обнаружили, что увеличение выборки позволяет более точно классифицировать риски, что может повлиять на принятие последующих терапевтических решений. Однако вопрос об оптимальном клиническом применении МРТ-направленной биопсии ещё не решён [3].

Ранняя диагностика рака простаты

В 2018 году Рабочая группа по профилактике заболеваний США (USPSTF) опубликовала обновлённые рекомендации, основываясь на данных более длительных наблюдений в крупных скрининговых исследованиях и появляющихся доказательствах того, что АН за пациентами с РПЖ низкого риска снижает вред, связанный с избыточным лечением при скрининге на ПСА. Теперь USPSTF рекомендует мужчинам в возрасте 55–69 лет проходить ПСА-тестирование после обсуждения с врачом его относительной пользы и вреда. Однако по-прежнему не рекомендуется проводить тесты на ПСА у более

молодых мужчин (в возрасте 40–55 лет) или в возрасте старше 70 лет [35].

В отсутствие широко организованного тестирования на ПСА оппортунистический скрининг стал рутинной практикой во многих странах ЕС. Однако недавнее исследование показало, что эта стратегия не только оказывает минимальное влияние на смертность от РПЖ, но и приводит к гипердиагностике по сравнению с организованным тестированием [36]. Отсутствие эффекта в значительной степени объясняется тестированием лиц, которым оно не принесёт значимой пользы (например, лиц с 10-летней ожидаемой продолжительностью жизни), без обоснованной на то необходимости [37], а также повторным тестированием мужчин, не подверженных риску развития тяжёлой формы РПЖ [38].

Снизить вероятность гипердиагностики можно с помощью риск-адаптированной стратегии, основанной на значениях ПСА, в сочетании с калькуляторами риска и мпМРТ, что позволит различать клинически значимый и незначимый РПЖ и соответствующим образом корректировать лечение. В результате многие случаи ранней диагностики РПЖ могут быть решены с помощью АН, что позволит избежать излишнего лечения [39]. Пациентам с более низким онкологическим риском может быть полезно местное лечение, которое имеет меньше побочных эффектов и даёт лучшие результаты, чем если бы заболевание было диагностировано и пролечено позже, тем самым улучшая или сохраняя качество жизни пациента [40].

EAU разработала алгоритм, раскрывающий суть риск-адаптированной стратегии выявления РПЖ. Этот алгоритм предназначен для мужчин в возрасте старше 50 лет с ожидаемой продолжительностью жизни более 10–15 лет, проинформированных о всех нюансах такого подхода. Кроме того, этот алгоритм наглядно демонстрирует, как добиться раннего выявления серьёзных форм РПЖ, избежав при этом гипердиагностики и излишнего лечения. После клинической оценки риска и соответствующего консультирования сдаётся тест на ПСА. При низкой концентрации ПСА никаких дополнительных действий не требуется в течение 2–4 лет (ПСА — 1–3 нг/мл) или 5 лет (в возрасте 60 лет при ПСА — 1 нг/мл) [39].

Стратификация риска учитывает такие факторы, как возраст, семейный анамнез, цифровое ректальное исследование и объём простаты (плотность ПСА) в калькуляторе риска. Это позволит выделить подгруппу мужчин (примерно 35% всех мужчин с первичным анализом ПСА >3 нг/мл [41]) с низким риском, которым требуется только клиническое наблюдение, что поможет избежать необходимости проведения дальнейших исследований, включая МРТ и биопсию. Мужчины со значением концентрации ПСА >3 нг/мл, относящиеся к категории промежуточного или высокого риска, должны пройти мпМРТ. Это позволит выделить ещё одну подгруппу (примерно 54%

всех мужчин, прошедших МРТ [41]) с оценкой 1–2 балла по шкале Pi-RADS, которая будет относиться к группе низкого риска развития кЗРПЖ и потребует только клинического наблюдения.

Дальнейшая классификация мужчин с оценкой 3 по шкале Pi-RADS с учётом плотности ПСА и других клинических характеристик позволила бы выявить дополнительную категорию пациентов, требующую только клинического наблюдения (к категории низкого риска — Pi-RADS 1, 2 или 3 — относится примерно 57% мужчин, прошедших тестирование [41]). В результате оставшаяся часть исходной популяции может быть отнесена к группе промежуточного или высокого риска и должна подвергнуться прицельной и/или систематической биопсии. В этой группе лица с положительным диагнозом и соответствующим баллом (примерно 25% всех подтверждённых диагнозов [42]) могут быть подвергнуты АН, но не активному лечению.

Однако все окончательные решения о лечении должны приниматься совместно с пациентом с учётом его специфики и предпочтений [40]. Данный алгоритм демонстрирует, как можно более рационально использовать анализ на ПСА с помощью мПМРТ и оценки по шкале Pi-RADS [43, 44], а также применяя калькуляторы риска, разработанные в рамках исследований European Randomised Study of Screening for Prostate Cancer (ERSPC) и Prostate Cancer Prevention Trial [42], что позволит сократить количество мужчин, подвергающихся биопсии. Предлагаемые временные интервалы для повторного тестирования на ПСА в зависимости от возраста и результатов первичного обследования отражают риск клинически значимого диагноза рака в будущем [45] и, таким образом, помогают снизить количество биопсий с ложноположительными результатами.

Необходимо также тщательно выбирать используемый калькулятор риска. Хотя калькулятор ERSPC хорошо себя зарекомендовал и считается лучшим, в случае его использования может потребоваться повторная калибровка данных для учёта региональных различий в распространённости заболевания и корреляции между значениями ПСА и риском развития РПЖ [46].

Оценка риска развития рака с помощью прицельной биопсии

Переход от систематической биопсии к ПБ вызывает серьёзные опасения в отношении лечения РПЖ. Всё больше мужчин должны делать выбор в пользу АН, если новые методы биопсии вызывают у них больше доверия.

Однако во избежание излишнего лечения должна проводиться ПБ. В настоящее время системы классификации риска, основанные на результатах биопсии, значительно влияют на принятие решений о последующем лечении [47]. Эти системы были разработаны на основе

результатов традиционной систематической биопсии. При более тщательной выборке образцов с помощью ПБ доля положительных биоптатов и максимальная кумулятивная длина биоптата, поражённого раком, выше, чем при традиционной биопсии [18, 48].

В результате, по сравнению с систематической биопсией, ПБ выявляет больше случаев высокого риска развития РПЖ. Об этом сообщают N.L. Robertson и соавт. [49] в исследовании компьютерного моделирования, включавшем 107 реконструированных 3D-моделей образцов простаты, созданных по результатам простатэктомии. Авторы обнаружили, что при проведении 12-точечной ТРУЗИ-биопсии только 24% клинически значимых злокачественных опухолей были правильно отнесены к категории высокого риска, в то время как при трансперинеальной 4-точечной ПБ этот показатель составил 74%. Кроме того, при ПБ наблюдалась более высокая доля положительных биоптатов и более высокие значения максимальной кумулятивной длины биоптата. Авторы пришли к выводу, что при использовании моделей риска, полученных при обычной ТРУЗИ-биопсии и затем используемых при биопсии, проводимой под визуальным контролем, происходит систематическое отнесение образцов к категории высокого риска.

В Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе 194 мужчины, находящиеся под АН, прошли лечение с использованием МРТ/УЗИ прицельной фьюжн-биопсии, которая включала систематическую и прицельную выборку. При использовании только систематической биопсии и гистологических критериев Эпштейна (6 баллов по Глиссону, наличие 2 позитивных столбиков и выявление РПЖ в более 50% любого столбика) 28% мужчин по результатам контрольной биопсии были отнесены к категории тех, кому не подходит АН.

После проведения ПБ число таких пациентов увеличилось до 41%. В одних случаях это было связано с обнаружением дополнительных опасных злокачественных новообразований, в других (например, при наличии множества злокачественных клеток в одном биоптате) это объясняется использованием системы классификации, не учитывающей результаты ПБ.

Учитывая рост случаев с высокой оценкой риска, ПБ может использоваться для обоснования агрессивного лечения большего числа мужчин, что усугубит проблему излишнего лечения. Чтобы избежать этого нежелательного эффекта, необходимо разработать и проверить новые критерии стратификации риска, основанные на результатах ПБ. Возьмём, к примеру, пациента, которому проведена обычная биопсия и ПБ с низким объёмом компонента и оценкой 3+3 и 3+4 по шкале Глисона соответственно. ПБ в сочетании с аппаратной биопсией может быть использована для безопасного наблюдения за опухолями, которые в настоящее время считаются требующими лечения [47].

ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ И ФЬЮЖН-БИОПСИИ В МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ПРИ РАКЕ ПРОСТАТЫ

При сравнении с образцами, полученными при радикальной простатэктомии, мпМРТ выявляет 85–95% индексных поражений и кзРПЖ [50]. Проведение прицельной фьюжн-биопсии в случае сомнительных поражений, выявленных на мпМРТ, увеличивает частоту выявления кзРПЖ на 30% [22].

Для выявления мужчин с кзРПЖ и во избежание ненужных биопсий могут применяться многомерные методы, основанные на оценке рисков [51, 52]. Для количественной оценки риска кзРПЖ был разработан калькулятор риска ERSPC. M.J. Roobol и соавт. показали, что мужчины с риском развития РПЖ, который составляет 12,5%, могут избежать 33% рутинных биопсий [52].

Хотя ПБ подозрительных поражений, выявляемых только на мпМРТ, является потенциальным методом снижения избыточного выявления незначимых опухолей, кзРПЖ может также быть не обнаружен [22, 53, 54].

В отличие от A.R. Alberts и соавт., J.P. Radtke и P.J. van Leeuwen и соавт. разработали собственные калькуляторы риска и добавили к клиническим параметрам результаты предбиопсийной мпМРТ для определения индивидуального риска развития РПЖ. Авторы использовали валидированный подход, сочетающий прицельную фьюжн-биопсию и трансперинеальную систематическую СБ в качестве эталона с одной стороны и трансперинеальное картирование, плюс прицельную 12-точечную ТРУЗИ-биопсию, — с другой [55, 56].

В результате анализа площади под ROC-кривой P.J. Van Leeuwen и соавт. продемонстрировали, что модель, объединяющая возраст, ПСА, пальцевое ректальное исследование простаты, объем простаты, результат предыдущей биопсии и балл по результатам мпМРТ по шкале Pi-RADS и Лайкерта, превзошла модель, включающую только клинические параметры, с коэффициентом дискриминации 0,90 [56].

В дополнение к модели для мужчин, не подвергавшихся биопсии, J.P. Radtke и соавт. провели внутреннюю валидацию модели риска для мужчин с предыдущей отрицательной биопсией, в которой сочетались показатели ПСА, объем простаты, пальцевое ректальное исследование простаты, возраст и оценка по результатам мпМРТ по шкале Pi-RADS и Лайкерта [55]. При сравнении с валидированным калькулятором риска по клиническим параметрам и баллу по шкале Pi-RADS эта модель превзошла оба инструмента [55]. Сравнение моделей риска, включающих результаты мпМРТ

и клинические параметры, с моделями риска, использующими только клинические параметры или оценку по шкале Pi-RADS, позволит повысить точность принятия решения о проведении биопсии у пациента с подозрением на кзРПЖ. В заключение следует отметить, что модели риска, включающие результаты мпМРТ, превосходят модели, исключающие таковые не только для мужчин перед первичной биопсией, но и для пациентов, у которых ранее были отрицательные результаты биопсии [55, 56].

Хотя выявление кзРПЖ может быть улучшено, неблагоприятные результаты мпМРТ или низкий балл по шкале Pi-RADS не могут служить основанием для отказа от биопсии в случае подозрения на РПЖ. Утверждается, что фьюжн-биопсия под контролем МРТ помогает диагностировать индолентный РПЖ. Выявление РПЖ низкого риска может повысить безопасность пациентов за счёт предотвращения ненужного лечения и повышения точности и надёжности мониторинга заболевания при отборе пациентов для АН.

ИЗБЕЖАНИЕ ОШИБОК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФЬЮЖН-БИОПСИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Несмотря на то, что мпМРТ даёт полезную информацию для диагностики кзРПЖ, мпМРТ фьюжн-биопсия может оказаться неудачной. На сегодняшний день определены четыре потенциальных механизма возникновения ошибок:

1. злокачественные образования, невидимые на мпМРТ;
2. неправильный отбор образцов;
3. ошибка оператора;
4. внутриопухолевая гетерогенность с суммой Глисона [57].

A. Muthigi и соавт. сообщили, что в 71% случаев, когда при СБ обнаруживали кзРПЖ, а при ПБ — нет, злокачественное образование находилось в пределах секстанта целевого поражения, что согласуется с результатами исследования H. Cash и соавт., которые назвали неточный отбор проб одной из основных причин неудачной фьюжн-биопсии [56, 58].

Аналогичным образом D.J. Bryk и соавт. определили сочетание ПБ и ипсилатеральной СБ как наилучшую стратегию для выявления кзРПЖ и снижения случаев выявления РПЖ низкого риска у пациентов с односторонними поражениями, обнаруженными на мпМРТ. При этом авторы использовали результаты ПБ и СБ в качестве эталона [59]. Результаты этих двух исследований свидетельствуют о том, что увеличение количества образцов, взятых из целевой области, может свести

к минимуму ошибки при выборке и определении внутриопухолевой гетерогенности. Однако F. Porpiglia и соавт. обнаружили, что для точного отображения индексного поражения достаточно всего двух прицельных проб, взятых из центра поражения [60].

На эту тему требуются дополнительные исследования. Ошибки при мпМРТ фьюжн-биопсии, связанные с невидимыми новообразованиями, отрицательная прогностическая ценность которых для мпМРТ составляет 63–98%, может быть решена только с помощью проведения дополнительной СБ [61, 62]. Однако в большинстве случаев сочетания ПБ и 12-точечной СБ не обнаружено преимуществ в выявлении кзРПЖ по сравнению с проведением только лишь ПБ [22, 63].

Напротив, С.Р. Filson и соавт. обнаружили, что при комбинированном подходе удаётся выявить гораздо больше случаев кзРПЖ, чем при ПБ или СБ по отдельности [64].

Такие противоречивые результаты позволяют сделать вывод о том, что при комбинированном подходе, по сравнению с подходом, основанным только на ПБ, эффективность выявления кзРПЖ возрастает благодаря СБ, но при этом сохраняется риск обнаружения заболеваний существенно более низкого риска.

Вопрос об исключении СБ, возможно, никогда не будет полностью решён, и решение о её целесообразности должно приниматься в частном порядке в зависимости от индивидуальных показаний к биопсии и потребностей пациента.

Ещё один момент, касающийся качества и возможных причин неудачи при проведении мпМРТ фьюжн-биопсии — это сама техника выполнения процедуры.

ФЬЮЖН-БИОПСИЯ В СОЧЕТАНИИ С МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИЕЙ У МУЖЧИН, НУЖДАЮЩИХСЯ В ПОВТОРНОЙ БИОПСИИ

Мужчины с предыдущей отрицательной биопсией и сохраняющимся подозрением на РПЖ должны находиться под постоянным наблюдением. Предварительное взятие проб снижает общую заболеваемость по сравнению с группой пациентов, не подвергавшихся биопсии. Однако проведение 12-точечной ТРУЗИ-биопсии у лиц с постоянным подозрением на РПЖ сопряжено с риском ложноотрицательных результатов. МпМРТ во многих исследованиях доказала свою эффективность в мониторинге этой группы пациентов и поэтому может быть рекомендована при повторной биопсии [1, 65].

В большинстве исследований такие пациенты были отнесены к подмножеству более крупной когорты, однако в некоторых исследованиях им уделялось особое

внимание. Так, L.A.M. Simmons и соавт. оценивали диагностическую точность мпМРТ у мужчин, нуждающихся в повторной биопсии простаты (исследование PICTURE), хотя только у 31% мужчин результаты предыдущей биопсии были отрицательными [66]. В качестве положительного результата оценка мпМРТ в 3 балла имеет чувствительность 97%, специфичность 22%, отрицательную и положительную прогностическую ценность 91% и 47% соответственно [66].

Авторы пришли к выводу, что повторной биопсии можно избежать у 14% мужчин, но с вероятностью проигнорированных 9% случаев кзРПЖ [66]. N.L. Hansen и соавт. сообщили о значительном улучшении показателей AUC при сочетании оценки по шкале Pi-RADS и плотности ПСА (0,82 против 0,85). Авторы считают, что повторной биопсии следует избегать только в случаях тревожных результатов мпМРТ и низкой плотности ПСА [67]. Опять же, вопрос о том, в каких случаях можно исключать СБ, остался невыясненным. С. Arsov и соавт. в проспективном рандомизированном исследовании сравнивали in-bore ПБ с сочетанием прицельной фьюжн-биопсии и 12-точечной ТРУЗИ-СБ. Авторы обнаружили, что СБ не показала дополнительных преимуществ в выявлении кзРПЖ [10].

Напротив, недавние работы, где сравниваются ПБ и 24- или 12-точечная СБ, свидетельствуют о том, что при ПБ не удаётся обнаружить значительное количество случаев кзРПЖ [67].

ФЬЮЖН-БИОПСИЯ В СОЧЕТАНИИ С МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИЕЙ У МУЖЧИН, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД АКТИВНЫМ НАБЛЮДЕНИЕМ

Ещё одна важная категория пациентов — это мужчины с РПЖ, которые могут участвовать в программах АН. Правильная оценка риска потенциально менее серьёзных заболеваний имеет большое значение. МпМРТ в сочетании с фьюжн-биопсией может помочь при первоначальном скрининге кандидатов на АН и мониторинге развития заболевания. В исследовании J.P. Radtke и соавт. (n=149) сравнивались результаты тех пациентов, у которых первоначальное проведение мпМРТ и фьюжн-биопсии до АН привело к значительному снижению частоты случаев назначения АН (20% против 48%) в течение последующих 2 лет наблюдения и тех, кто был отобран для АН на основании результатов 12-точечной ТРУЗИ-биопсии [68].

Эти выводы подтверждаются данными D.R. Henderson и соавт., которые в проспективном исследовании показали, что измеряемый коэффициент диффузии служит

хорошим маркером при отборе пациентов для проведения АН, поскольку низкое значение измеряемого коэффициента диффузии сопряжено с более быстрым развитием патологии [69]. В некоторых недавних исследованиях изучалась эффективность мпМРТ и фьюжн-биопсии при мониторинге прогрессирующего заболевания. Большинство из них показали, что мпМРТ достаточно точно предсказывает вероятность клинического прогрессирования и что пациенты со стабильными результатами мпМРТ имеют низкую вероятность развития заболевания [70–72].

Включение клинических критериев в процесс принятия решения, по-видимому, является преимуществом при отборе пациентов для проведения АН. С. Arsov и соавт. обнаружили, что в когорте из 210 мужчин, не имевших признаков развития заболеваемости на исходном уровне, проводилась подтверждающая биопсия в случаях, когда мпМРТ не вызывала подозрений и плотность ПСА составляла $<0,15$ нг/мл. Авторы полагают, что у таких пациентов следует избегать последующей биопсии [10]. Однако вопрос о том, достаточно ли будет при последующем наблюдении проведения фьюжн-биопсии, ограничивающейся лишь видимыми на мпМРТ поражениями, всё ещё является предметом дискуссий. X. Meng и Т.Р. Frye и соавт. показали, что при комбинированном подходе с использованием сатурационной и прицельной мпМРТ фьюжн-биопсии во время периода наблюдения, при ПБ обнаруживается значительно больше новообразований, чем при СБ, что подтверждает обоснованность отказа от СБ [53, 70].

Напротив, G.N. Tran и P. Recabal и соавт. обнаружили, что значительная часть опухолей более высокой степени злокачественности может быть диагностирована только с помощью СБ, что указывает на необходимость проведения дополнительной СБ [71, 72]. Эти противоречивые результаты можно отчасти объяснить различиями в параметрах исследования, таких как медиана ПБ и количество положительных биоптатов, обнаруживаемых при СБ. Однако авторы также подчёркивают необходимость дополнительного изучения долгосрочных результатов, проведения серийной мпМРТ вместо повторных биопсий и возможных последующих биопсий по результатам мпМРТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прицельная МРТ-биопсия улучшает качество гистологических результатов по сравнению с другими подходами, при этом правильно выявляется около 90% значимых индексных поражений. Систематическая 12-точечная ТРУЗИ-биопсия по-прежнему широко

используется, несмотря на ограниченную чувствительность при клиническом выявлении кзРПЖ. Биопсия с МРТ-наведением обеспечивает более высокую частоту выявления кзРПЖ и увеличивает процент положительных биоптатов.

Хотя в настоящее время эти виды биопсии применяются у пациентов, у которых сохраняется высокое клиническое подозрение на РПЖ, несмотря на отрицательный результат систематической ТРУЗИ-биопсии, с ростом использования предварительной диагностической МРТ ожидается, что эти подходы заменят стандартную систематическую биопсию.

Правильное стадирование позволяет выбрать оптимальные варианты лечения, в том числе фокальную терапию, адекватно оценить дальнейшие перспективы и снизить частоту повторных биопсий, затраты и количество осложнений. Кроме того, очень важно стандартизировать технику проведения биопсии и совершенствовать технику совмещения изображений, что позволит уменьшить количество ошибок при оценке объёма опухоли. В предоперационной фазе мпМРТ может помочь в планировании первоначальной хирургической стратегии при необходимости проведения радикальной простатэктомии, что способствует принятию правильных клинических решений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mottet N., Bellmunt J., Bolla M., et al. EAU-ESTRO-SIOG Guidelines on Prostate Cancer. Part 1: Screening, Diagnosis, and

Local Treatment with Curative Intent // Eur Urol. 2017. Vol. 71, N 4. P. 618–629. doi: 10.1016/j.eururo.2016.08.003

2. Siddiqui M.M., Rais-Bahrami S., Truong H., et al. Magnetic resonance imaging/ultrasound-fusion biopsy significantly upgrades prostate cancer versus systematic 12-core transrectal ultrasound biopsy // *Eur Urol*. 2013. Vol. 64, N 5. P. 713–719. doi: 10.1016/j.eururo.2013.05.059
3. Bjurlin M.A., Meng X., Le Nobin J., et al. Optimization of prostate biopsy: the role of magnetic resonance imaging targeted biopsy in detection, localization and risk assessment // *J Urol*. 2014. Vol. 192, N 3. P. 648–658. doi: 10.1016/j.juro.2014.03.117
4. [WITHDRAWN] Prostate cancer risk management programme (PCRMP): benefits and risks of PSA testing (guidance) [Internet]. UK : Public Health England, 2016. Доступ по ссылке: <https://www.gov.uk/government/publications/prostate-cancer-risk-management-programme-psa-test-benefits-and-risks>
5. Hamoen E.H.J., de Rooij M., Witjes J.A., Barentsz J.O., Rovers M.M. Use of the Prostate Imaging Reporting and Data System (PI-RADS) for Prostate Cancer Detection with Multiparametric Magnetic Resonance Imaging: A Diagnostic Meta-analysis // *Eur Urol*. 2015. Vol. 67, N 6. P. 1112–1121. doi: 10.1016/j.eururo.2014.10.033
6. Ventrella E., Eusebi L., Carpagnano F.A., et al. Multiparametric MRI of Prostate Cancer: Recent Advances // *Curr Radiol Rep*. 2020. Vol. 8. doi: 10.1007/s40134-020-00363-1
7. Portalez D., Mozer P., Cornud F., et al. Validation of the European Society of Urogenital Radiology scoring system for prostate cancer diagnosis on multiparametric magnetic resonance imaging in a cohort of repeat biopsy patients // *Eur Urol*. 2012. Vol. 62, N 6. P. 986–996. doi: 10.1016/j.eururo.2012.06.044
8. Kuru T.H., Roethke M.C., Rieker P., et al. Histology core-specific evaluation of the European Society of Urogenital Radiology (ESUR) standardised scoring system of multiparametric magnetic resonance imaging (mpMRI) of the prostate // *BJU Int*. 2013. Vol. 112, N 8. P. 1080–1087. doi: 10.1111/bju.12259
9. Carpagnano F., Eusebi L., Tupputi U., et al. Multiparametric MRI: Local Staging of Prostate Cancer. *Current Radiology Reports*. 2020. Vol. 8. doi: 10.1007/s40134-020-00374-y
10. Arsov C., Rabenalt R., Blondin D., et al. Prospective randomized trial comparing magnetic resonance imaging (MRI)-guided in-bore biopsy to MRI-ultrasound fusion and transrectal ultrasound-guided prostate biopsy in patients with prior negative biopsies // *Eur Urol*. 2015. Vol. 68, N 4. P. 713–720. doi: 10.1016/j.eururo.2015.06.008
11. Hambrook T., Somford D.M., Hoeks C., et al. Magnetic resonance imaging guided prostate biopsy in men with repeat negative biopsies and increased prostate specific antigen // *J Urol*. 2010. Vol. 183, N 2. P. 520–527. doi: 10.1016/j.juro.2009.10.022
12. Tyson M.D., Arora S.S., Scarpato K.R., Barocas D. Magnetic resonance-ultrasound fusion prostate biopsy in the diagnosis of prostate cancer // *Urol Oncol*. 2016. Vol. 34, N 7. P. 326–332. doi: 10.1016/j.urolonc.2016.03.005
13. Wolters T., Montironi R., Mazzucchelli R., et al. Comparison of incidentally detected prostate cancer with screen-detected prostate cancer treated by prostatectomy // *Prostate*. 2012. Vol. 72, N 1. P. 108–115. doi: 10.1002/pros.21415
14. Moore C.M., Robertson N.L., Arsanious N., et al. Image-guided prostate biopsy using magnetic resonance imaging-derived targets: a systematic review // *Eur Urol*. 2013. Vol. 63, N 1. P. 125–140. doi: 10.1016/j.eururo.2012.06.004
15. Puech P., Rouvière O., Renard-Penna R., et al. Prostate cancer diagnosis: multiparametric MR-targeted biopsy with cognitive and transrectal US-MR fusion guidance versus systematic biopsy — prospective multicenter study // *Radiology*. 2013. Vol. 268, N 2. P. 461–469. doi: 10.1148/radiol.13121501
16. Labanaris A.P., Engelhard K., Zugor V., Nützel R., Kühn R. Prostate cancer detection using an extended prostate biopsy schema in combination with additional targeted cores from suspicious images in conventional and functional endorectal magnetic resonance imaging of the prostate // *Prostate Cancer Prostatic Dis*. 2010. Vol. 13, N 1. P. 65–70. doi: 10.1038/pcan.2009.41
17. Williams I.S., McVey A., Perera S., et al. Modern paradigms for prostate cancer detection and management // *Med J Aust*. 2022. Vol. 217, N 8. P. 424–433. doi: 10.5694/mja2.51722
18. Haffner J., Lemaitre L., Puech P., et al. Role of magnetic resonance imaging before initial biopsy: comparison of magnetic resonance imaging-targeted and systematic biopsy for significant prostate cancer detection // *BJU Int*. 2011. Vol. 108, N 8 Pt 2. P. E171–E178. doi: 10.1111/j.1464-410X.2011.10112.x
19. Labanaris A.P., Zugor V., Smiszek R., et al. Guided e-MRI prostate biopsy can solve the discordance between Gleason score biopsy and radical prostatectomy pathology // *Magn Reson Imaging*. 2010. Vol. 28, N 7. P. 943–946. doi: 10.1016/j.mri.2010.03.041
20. Stephenson S.K., Chang E.K., Marks L.S. Screening and detection advances in magnetic resonance image-guided prostate biopsy // *Urol Clin North Am*. 2014. Vol. 41, N 2. P. 315–326. doi: 10.1016/j.ucl.2014.01.007
21. Vourganti S., Rastinehad A., Yerram N., et al. Multiparametric magnetic resonance imaging and ultrasound fusion biopsy detect prostate cancer in patients with prior negative transrectal ultrasound biopsies // *J Urol*. 2012. Vol. 188, N 6. P. 2152–2157. doi: 10.1016/j.juro.2012.08.025
22. Siddiqui M.M., Rais-Bahrami S., Turkbey B., et al. Comparison of MR/ultrasound fusion-guided biopsy with ultrasound-guided biopsy for the diagnosis of prostate cancer // *JAMA*. 2015. Vol. 313, N 4. P. 390–397. doi: 10.1001/jama.2014.17942
23. Quentin M., Schimmöller L., Arsov C., et al. 3-T in-bore MR-guided prostate biopsy based on a scoring system for target lesions characterization // *Acta Radiol*. 2013. Vol. 54, N 10. P. 1224–1229. doi: 10.1177/0284185113492972
24. Hoeks C.M., Schouten M.G., Bomers J.G., et al. Three-Tesla magnetic resonance-guided prostate biopsy in men with increased prostate-specific antigen and repeated, negative, random, systematic, transrectal ultrasound biopsies: detection of clinically significant prostate cancers // *Eur Urol*. 2012. Vol. 62, N 5. P. 902–909. doi: 10.1016/j.eururo.2012.01.047
25. Marks L., Young S., Natarajan S. MRI-ultrasound fusion for guidance of targeted prostate biopsy // *Curr Opin Urol*. 2013. Vol. 23, N 1. P. 43–50. doi: 10.1097/MOU.0b013e32835ad3ee
26. Monni F., Fontanella P., Grasso A., et al. Magnetic resonance imaging in prostate cancer detection and management: a systematic review // *Minerva Urol Nefrol*. 2017. Vol. 69, N 6. P. 567–578. doi: 10.23736/S0393-2249.17.02819-3

27. Schlaier J.R., Wariat J., Dorenbeck U., et al. Image fusion of MR images and real-time ultrasonography: evaluation of fusion accuracy combining two commercial instruments, a neuronavigation system and a ultrasound system // *Acta Neurochir (Wien)*. 2004. Vol. 146, N 3. P. 271–276. doi: 10.1007/s00701-003-0155-6
28. Pokorný M.R., de Rooij M., Duncan E., et al. Prospective study of diagnostic accuracy comparing prostate cancer detection by transrectal ultrasound-guided biopsy versus magnetic resonance (MR) imaging with subsequent MR-guided biopsy in men without previous prostate biopsies // *Eur Urol*. 2014. Vol. 66, N 1. P. 22–29. doi: 10.1016/j.eururo.2014.03.002
29. Kuru T.H., Roethke M.C., Seidenader J., et al. Critical evaluation of magnetic resonance imaging targeted, transrectal ultrasound guided transperineal fusion biopsy for detection of prostate cancer // *J Urol*. 2013. Vol. 190, N 4. P. 1380–1386. doi: 10.1016/j.juro.2013.04.043
30. Serefoglu E.C., Altinova S., Ugras N.S., et al. How reliable is 12-core prostate biopsy procedure in the detection of prostate cancer? // *Can Urol Assoc J*. 2013. Vol. 7, N 5-6. P. E293–E298. doi: 10.5489/cuaj.11224
31. Baco E., Ukimura O., Rud E., et al. Magnetic resonance imaging-transectal ultrasound image-fusion biopsies accurately characterize the index tumor: correlation with step-sectioned radical prostatectomy specimens in 135 patients // *Eur Urol*. 2015. Vol. 67, N 4. P. 787–794. doi: 10.1016/j.eururo.2014.08.077
32. Cerantola Y., Dragomir A., Tanguay S., et al. Cost-effectiveness of multiparametric magnetic resonance imaging and targeted biopsy in diagnosing prostate cancer // *Urol Oncol*. 2016. Vol. 34, N 3. P. 119.e1–119.e9. doi: 10.1016/j.urolonc.2015.09.010
33. Delongchamps N.B., Peyromaure M., Schull A., et al. Prebiopsy magnetic resonance imaging and prostate cancer detection: comparison of random and targeted biopsies // *J Urol*. 2013. Vol. 189, N 2. P. 493–499. doi: 10.1016/j.juro.2012.08.195
34. Bax J., Cool D., Gardi L., et al. Mechanically assisted 3D ultrasound guided prostate biopsy system // *Med Phys*. 2008. Vol. 35, N 12. P. 5397–5410. doi: 10.1118/1.3002415
35. US Preventive Services Task Force; Grossman D.C., Curry S.J., et al. Screening for Prostate Cancer: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement // *JAMA*. 2018. Vol. 319, N 18. P. 1901–1913. Erratum in: *JAMA*. 2018. Vol. 319, N 23. P. 2443. doi: 10.1001/jama.2018.3710
36. Arnsrud Godtman R., Holmberg E., Lilja H., Stranne J., Hugosson J. Opportunistic testing versus organized prostate-specific antigen screening: outcome after 18 years in the Göteborg randomized population-based prostate cancer screening trial // *Eur Urol*. 2015. Vol. 68, N 3. P. 354–360. doi: 10.1016/j.eururo.2014.12.006
37. Engler J., Dahlhaus A., Güthlin C. The readiness of German GPs to recommend and conduct cancer screening is associated with patient-physician gender concordance. Results of a survey // *Eur J Gen Pract*. 2017. Vol. 23, N 1. P. 11–19. doi: 10.1080/13814788.2016.1240166
38. Nordström T., Aly M., Clements M.S., et al. Prostate-specific antigen (PSA) testing is prevalent and increasing in Stockholm County, Sweden, Despite no recommendations for PSA screening: results from a population-based study, 2003–2011 // *Eur Urol*. 2013. Vol. 63, N 3. P. 419–425. doi: 10.1016/j.eururo.2012.10.001
39. Van Poppel H., Roobol M.J., Chapple C.R., et al. Prostate-specific Antigen Testing as Part of a Risk-Adapted Early Detection Strategy for Prostate Cancer: European Association of Urology Position and Recommendations for 2021 // *Eur Urol*. 2021. Vol. 80, N 6. P. 703–711. doi: 10.1016/j.eururo.2021.07.024
40. Mottet N., van den Bergh R.C.N., Briers E., et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-SIOG Guidelines on Prostate Cancer-2020 Update. Part 1: Screening, Diagnosis, and Local Treatment with Curative Intent // *Eur Urol*. 2021. Vol. 79, N 2. P. 243–262. doi: 10.1016/j.eururo.2020.09.042
41. Collen S., Van Poppel H. Early detection and diagnosis of prostate cancer in well informed men: the way forward for Europe // *Belg J Med Oncol*. 2020. Vol. 14. P. 321–326.
42. Louie K.S., Seigneurin A., Cathcart P., Sasieni P. Do prostate cancer risk models improve the predictive accuracy of PSA screening? A meta-analysis // *Ann Oncol*. 2015. Vol. 26, N 5. P. 848–864. doi: 10.1093/annonc/mdu525
43. Ahmed H.U., El-Shater Bosaily A., Brown L.C., et al. Diagnostic accuracy of multi-parametric MRI and TRUS biopsy in prostate cancer (PROMIS): a paired validating confirmatory study // *Lancet*. 2017. Vol. 389, N 10071. P. 815–822. doi: 10.1016/S0140-6736(16)32401-1
44. Alberts A.R., Schoots I.G., Bokhorst L.P., et al. Characteristics of Prostate Cancer Found at Fifth Screening in the European Randomized Study of Screening for Prostate Cancer Rotterdam: Can We Selectively Detect High-grade Prostate Cancer with Upfront Multivariable Risk Stratification and Magnetic Resonance Imaging? // *Eur Urol*. 2018. Vol. 73, N 3. P. 343–350. doi: 10.1016/j.eururo.2017.06.019
45. Palsdottir T., Nordstrom T., Karlsson A., et al. The impact of different prostate-specific antigen (PSA) testing intervals on Gleason score at diagnosis and the risk of experiencing false-positive biopsy recommendations: a population-based cohort study // *BMJ Open*. 2019. Vol. 9, N 3. P. e027958. doi: 10.1136/bmjopen-2018-027958
46. Wynants L., van Smeden M., McLernon D.J., et al. Three myths about risk thresholds for prediction models // *BMC Med*. 2019. Vol. 17, N 1. P. 192. doi: 10.1186/s12916-019-1425-3
47. Sonn G.A., Margolis D.J., Marks L.S. Target detection: magnetic resonance imaging-ultrasound fusion-guided prostate biopsy // *Urol Oncol*. 2014. Vol. 32, N 6. P. 903–911. doi: 10.1016/j.urolonc.2013.08.006
48. Sonn G.A., Natarajan S., Margolis D.J., et al. Targeted biopsy in the detection of prostate cancer using an office based magnetic resonance ultrasound fusion device // *J Urol*. 2013. Vol. 189, N 1. P. 86–91. doi: 10.1016/j.juro.2012.08.095
49. Robertson N.L., Hu Y., Ahmed H.U., et al. Prostate cancer risk inflation as a consequence of image-targeted biopsy of the prostate: a computer simulation study // *Eur Urol*. 2014. Vol. 65, N 3. P. 628–634. doi: 10.1016/j.eururo.2012.12.057
50. Radtke J.P., Schwab C., Wolf M.B., et al. Multiparametric magnetic resonance imaging (MRI) and MRI — transrectal ultrasound fusion biopsy for index tumor detection: correlation with radical prostatectomy specimen // *Eur Urol*. 2016. Vol. 70. P. 846–853. doi: 10.1016/j.eururo.2015.12.052

51. Schröder F.H., Hugosson J., Roobol M.J., et al. Screening and prostate cancer mortality: results of the European Randomised Study of Screening for Prostate Cancer (ERSPC) at 13 years of follow-up // *Lancet*. 2014. Vol. 384, N 9959. P. 2027–2035. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60525-0
52. Roobol M.J., Steyerberg E.W., Kranse R., et al. A risk-based strategy improves prostate-specific antigen-driven detection of prostate cancer // *Eur Urol*. 2010. Vol. 57, N 1. P. 79–85. doi: 10.1016/j.eururo.2009.08.025
53. Meng X., Rosenkrantz A.B., Mendhiratta N., et al. Relationship Between Prebiopsy Multiparametric Magnetic Resonance Imaging (MRI), Biopsy Indication, and MRI-ultrasound Fusion-targeted Prostate Biopsy Outcomes // *Eur Urol*. 2016. Vol. 69, N 3. P. 512–517. doi: 10.1016/j.eururo.2015.06.005
54. Vargas H.A., Hötter A.M., Goldman D.A., et al. Updated prostate imaging reporting and data system (PIRADS v2) recommendations for the detection of clinically significant prostate cancer using multiparametric MRI: critical evaluation using whole-mount pathology as standard of reference // *Eur Radiol*. 2016. Vol. 26, N 6. P. 1606–1612. doi: 10.1007/s00330-015-4015-6
55. Radtke J.P., Wiesenfarth M., Kesch C., et al. Combined Clinical Parameters and Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for Advanced Risk Modeling of Prostate Cancer-Patient-tailored Risk Stratification Can Reduce Unnecessary Biopsies // *Eur Urol*. 2017. Vol. 72, N 6. P. 888–896. doi: 10.1016/j.eururo.2017.03.039
56. van Leeuwen P.J., Hayen A., Thompson J.E., et al. A multiparametric magnetic resonance imaging-based risk model to determine the risk of significant prostate cancer prior to biopsy // *BJU Int*. 2017. Vol. 120, N 6. P. 774–781. doi: 10.1111/bju.13814
57. Muthigi A., George A.K., Sidana A., et al. Missing the Mark: Prostate Cancer Upgrading by Systematic Biopsy over Magnetic Resonance Imaging/Transrectal Ultrasound Fusion Biopsy // *J Urol*. 2017. Vol. 197, N 2. P. 327–334. doi: 10.1016/j.juro.2016.08.097
58. Cash H., Günzel K., Maxeiner A., et al. Prostate cancer detection on transrectal ultrasonography-guided random biopsy despite negative real-time magnetic resonance imaging/ultrasonography fusion-guided targeted biopsy: reasons for targeted biopsy failure // *BJU Int*. 2016. Vol. 118, N 1. P. 35–43. doi: 10.1111/bju.13327
59. Bryk D.J., Llukani E., Taneja S.S., et al. The Role of Ipsilateral and Contralateral Transrectal Ultrasound-guided Systematic Prostate Biopsy in Men With Unilateral Magnetic Resonance Imaging Lesion Undergoing Magnetic Resonance Imaging-ultrasound Fusion-targeted Prostate Biopsy // *Urology*. 2017. Vol. 102. P. 178–182. doi: 10.1016/j.urolgy.2016.11.017
60. Porpiglia F., De Luca S., Passera R., et al. Multiparametric Magnetic Resonance/Ultrasound Fusion Prostate Biopsy: Number and Spatial Distribution of Cores for Better Index Tumor Detection and Characterization // *J Urol*. 2017. Vol. 198, N 1. P. 58–64. doi: 10.1016/j.juro.2017.01.036
61. Fütterer J.J., Briganti A., De Visschere P., et al. Can Clinically Significant Prostate Cancer Be Detected with Multiparametric Magnetic Resonance Imaging? A Systematic Review of the Literature // *Eur Urol*. 2015. Vol. 68, N 6. P. 1045–1053. doi: 10.1016/j.eururo.2015.01.013
62. Thompson J.E., Moses D., Shnier R., et al. Multiparametric magnetic resonance imaging guided diagnostic biopsy detects significant prostate cancer and could reduce unnecessary biopsies and over detection: a prospective study // *J Urol*. 2014. Vol. 192, N 1. P. 67–74. doi: 10.1016/j.juro.2014.01.014
63. Delongchamps N.B., Portalez D., Bruguère E., et al. Are Magnetic Resonance Imaging-Transrectal Ultrasound Guided Targeted Biopsies Noninferior to Transrectal Ultrasound Guided Systematic Biopsies for the Detection of Prostate Cancer? // *J Urol*. 2016. Vol. 196, N 4. P. 1069–1075. doi: 10.1016/j.juro.2016.04.003
64. Filson C.P., Natarajan S., Margolis D.J., et al. Prostate cancer detection with magnetic resonance-ultrasound fusion biopsy: The role of systematic and targeted biopsies // *Cancer*. 2016. Vol. 122, N 6. P. 884–892. doi: 10.1002/cncr.29874
65. Rosenkrantz A.B., Verma S., Choyke P., et al. Prostate Magnetic Resonance Imaging and Magnetic Resonance Imaging Targeted Biopsy in Patients with a Prior Negative Biopsy: A Consensus Statement by AUA and SAR // *J Urol*. 2016. Vol. 196, N 6. P. 1613–1618. doi: 10.1016/j.juro.2016.06.079
66. Simmons L.A.M., Kanthabalan A., Arya M., et al. The PICTURE study: diagnostic accuracy of multiparametric MRI in men requiring a repeat prostate biopsy // *Br J Cancer*. 2017. Vol. 116, N 9. P. 1159–1165. doi: 10.1038/bjc.2017.57
67. Hansen N.L., Kesch C., Barrett T., et al. Multicentre evaluation of targeted and systematic biopsies using magnetic resonance and ultrasound image-fusion guided transperineal prostate biopsy in patients with a previous negative biopsy // *BJU Int*. 2017. Vol. 120, N 5. P. 631–638. doi: 10.1111/bju.13711
68. Radtke J.P., Kuru T.H., Bonekamp D., et al. Further reduction of disqualification rates by additional MRI-targeted biopsy with transperineal saturation biopsy compared with standard 12-core systematic biopsies for the selection of prostate cancer patients for active surveillance // *Prostate Cancer Prostatic Dis.* 2016. Vol. 19, N 3. P. 283–291. doi: 10.1038/pcan.2016.16
69. Henderson D.R., de Souza N.M., Thomas K., et al. Nine-year Follow-up for a Study of Diffusion-weighted Magnetic Resonance Imaging in a Prospective Prostate Cancer Active Surveillance Cohort // *Eur Urol*. 2016. Vol. 69, N 6. P. 1028–1033. doi: 10.1016/j.eururo.2015.10.010
70. Frye T.P., George A.K., Kilchevsky A., et al. Magnetic Resonance Imaging-Transrectal Ultrasound Guided Fusion Biopsy to Detect Progression in Patients with Existing Lesions on Active Surveillance for Low and Intermediate Risk Prostate Cancer // *J Urol*. 2017. Vol. 197, N 3 Pt 1. P. 640–646. doi: 10.1016/j.juro.2016.08.109
71. Recabal P., Assel M., Sjöberg D.D., et al. The Efficacy of Multiparametric Magnetic Resonance Imaging and Magnetic Resonance Imaging Targeted Biopsy in Risk Classification for Patients with Prostate Cancer on Active Surveillance // *J Urol*. 2016. Vol. 196, N 2. P. 374–381. doi: 10.1016/j.juro.2016.02.084
72. Tran G.N., Leapman M.S., Nguyen H.G., et al. Magnetic Resonance Imaging-Ultrasound Fusion Biopsy During Prostate Cancer Active Surveillance // *Eur Urol*. 2017. Vol. 72, N 2. P. 275–281. doi: 10.1016/j.eururo.2016.08.023

REFERENCES

1. Mottet N, Bellmunt J, Bolla M, et al. EAU-ESTRO-SIOG Guidelines on Prostate Cancer. Part 1: Screening, Diagnosis, and Local Treatment with Curative Intent. *Eur Urol*. 2017;71(4):618–629. doi: 10.1016/j.eururo.2016.08.003
2. Siddiqui MM, Rais-Bahrami S, Truong H, et al. Magnetic resonance imaging/ultrasound-fusion biopsy significantly upgrades prostate cancer versus systematic 12-core transrectal ultrasound biopsy. *Eur Urol*. 2013;64(5):713–719. doi: 10.1016/j.eururo.2013.05.059
3. Bjurlin MA, Meng X, Le Nobin J, et al. Optimization of prostate biopsy: the role of magnetic resonance imaging targeted biopsy in detection, localization and risk assessment. *J Urol*. 2014;192(3):648–658. doi: 10.1016/j.juro.2014.03.117
4. [WITHDRAWN] Prostate cancer risk management programme (PCRMP): benefits and risks of PSA testing (guidance) [Internet]. UK: Public Health England; 2016. Available from: <https://www.gov.uk/government/publications/prostate-cancer-risk-management-programme-psa-test-benefits-and-risks>
5. Hamoen EHJ, de Rooij M, Witjes JA, Barentsz JO, Rovers MM. Use of the Prostate Imaging Reporting and Data System (PI-RADS) for Prostate Cancer Detection with Multiparametric Magnetic Resonance Imaging: A Diagnostic Meta-analysis. *Eur Urol*. 2015;67(6):1112–1121. doi: 10.1016/j.eururo.2014.10.033
6. Ventrella E, Eusebi L, Carpagnano FA, et al. Multiparametric MRI of Prostate Cancer: Recent Advances. *Curr Radiol Rep*. 2020;8. doi: 10.1007/s40134-020-00363-1
7. Portalez D, Mozer P, Cornud F, et al. Validation of the European Society of Urogenital Radiology scoring system for prostate cancer diagnosis on multiparametric magnetic resonance imaging in a cohort of repeat biopsy patients. *Eur Urol*. 2012;62(6):986–996. doi: 10.1016/j.eururo.2012.06.044
8. Kuru TH, Roethke MC, Rieker P, et al. Histology core-specific evaluation of the European Society of Urogenital Radiology (ESUR) standardised scoring system of multiparametric magnetic resonance imaging (mpMRI) of the prostate. *BJU Int*. 2013;112(8):1080–1087. doi: 10.1111/bju.12259
9. Carpagnano F, Eusebi L, Tupputi U, et al. Multiparametric MRI: Local Staging of Prostate Cancer. *Current Radiology Reports*. 2020;8. doi: 10.1007/s40134-020-00374-y
10. Arsov C, Rabenalt R, Blondin D, et al. Prospective randomized trial comparing magnetic resonance imaging (MRI)-guided in-bore biopsy to MRI-ultrasound fusion and transrectal ultrasound-guided prostate biopsy in patients with prior negative biopsies. *Eur Urol*. 2015;68(4):713–720. doi: 10.1016/j.eururo.2015.06.008
11. Hambrock T, Somford DM, Hoeks C, et al. Magnetic resonance imaging guided prostate biopsy in men with repeat negative biopsies and increased prostate specific antigen. *J Urol*. 2010;183(2):520–527. doi: 10.1016/j.juro.2009.10.022
12. Tyson MD, Arora SS, Scarpato KR, Barocas D. Magnetic resonance-ultrasound fusion prostate biopsy in the diagnosis of prostate cancer. *Urol Oncol*. 2016;34(7):326–332. doi: 10.1016/j.urolonc.2016.03.005
13. Wolters T, Montironi R, Mazzucchelli R, et al. Comparison of incidentally detected prostate cancer with screen-detected prostate cancer treated by prostatectomy. *Prostate*. 2012;72(1):108–115. doi: 10.1002/pros.21415
14. Moore CM, Robertson NL, Arsanious N, et al. Image-guided prostate biopsy using magnetic resonance imaging-derived targets: a systematic review. *Eur Urol*. 2013;63(1):125–140. doi: 10.1016/j.eururo.2012.06.004
15. Puech P, Rouvière O, Renard-Penna R, et al. Prostate cancer diagnosis: multiparametric MR-targeted biopsy with cognitive and transrectal US-MR fusion guidance versus systematic biopsy — prospective multicenter study. *Radiology*. 2013;268(2):461–469. doi: 10.1148/radiol.13121501
16. Labanaris AP, Engelhard K, Zugor V, Nützel R, Kühn R. Prostate cancer detection using an extended prostate biopsy schema in combination with additional targeted cores from suspicious images in conventional and functional endorectal magnetic resonance imaging of the prostate. *Prostate Cancer Prostatic Dis*. 2010;13(1):65–70. doi: 10.1038/pcan.2009.41
17. Williams IS, McVey A, Perera S, et al. Modern paradigms for prostate cancer detection and management. *Med J Aust*. 2022;217(8):424–433. doi: 10.5694/mja2.51722
18. Haffner J, Lemaitre L, Puech P, et al. Role of magnetic resonance imaging before initial biopsy: comparison of magnetic resonance imaging-targeted and systematic biopsy for significant prostate cancer detection. *BJU Int*. 2011;108(8 Pt 2):E171–E178. doi: 10.1111/j.1464-410X.2011.10112.x
19. Labanaris AP, Zugor V, Smiszek R, et al. Guided e-MRI prostate biopsy can solve the discordance between Gleason score biopsy and radical prostatectomy pathology. *Magn Reson Imaging*. 2010;28(7):943–946. doi: 10.1016/j.mri.2010.03.041
20. Stephenson SK, Chang EK, Marks LS. Screening and detection advances in magnetic resonance image-guided prostate biopsy. *Urol Clin North Am*. 2014;41(2):315–326. doi: 10.1016/j.ucl.2014.01.007
21. Vourganti S, Rastinehad A, Yerram N, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging and ultrasound fusion biopsy detect prostate cancer in patients with prior negative transrectal ultrasound biopsies. *J Urol*. 2012;188(6):2152–2157. doi: 10.1016/j.juro.2012.08.025
22. Siddiqui MM, Rais-Bahrami S, Turkbey B, et al. Comparison of MR/ultrasound fusion-guided biopsy with ultrasound-guided biopsy for the diagnosis of prostate cancer. *JAMA*. 2015;313(4):390–397. doi: 10.1001/jama.2014.17942
23. Quentin M, Schimmöller L, Arsov C, et al. 3-T in-bore MR-guided prostate biopsy based on a scoring system for target lesions characterization. *Acta Radiol*. 2013;54(10):1224–1229. doi: 10.1177/0284185113492972
24. Hoeks CM, Schouten MG, Bomers JG, et al. Three-Tesla magnetic resonance-guided prostate biopsy in men with increased prostate-specific antigen and repeated, negative, random, systematic, transrectal ultrasound biopsies: detection of clinically significant prostate cancers. *Eur Urol*. 2012;62(5):902–909. doi: 10.1016/j.eururo.2012.01.047

25. Marks L, Young S, Natarajan S. MRI-ultrasound fusion for guidance of targeted prostate biopsy. *Curr Opin Urol*. 2013;23(1):43–50. doi: 10.1097/MOU.0b013e32835ad3ee
26. Monni F, Fontanella P, Grasso A, et al. Magnetic resonance imaging in prostate cancer detection and management: a systematic review. *Minerva Urol Nefrol*. 2017;69(6):567–578. doi: 10.23736/S0393-2249.17.02819-3
27. Schlaier JR, Warnat J, Dorenbeck U, et al. Image fusion of MR images and real-time ultrasonography: evaluation of fusion accuracy combining two commercial instruments, a neuronavigation system and a ultrasound system. *Acta Neurochir (Wien)*. 2004;146(3):271–276. doi: 10.1007/s00701-003-0155-6
28. Pokorný MR, de Rooij M, Duncan E, et al. Prospective study of diagnostic accuracy comparing prostate cancer detection by transrectal ultrasound-guided biopsy versus magnetic resonance (MR) imaging with subsequent MR-guided biopsy in men without previous prostate biopsies. *Eur Urol*. 2014;66(1):22–29. doi: 10.1016/j.eururo.2014.03.002
29. Kuru TH, Roethke MC, Seidenader J, et al. Critical evaluation of magnetic resonance imaging targeted, transrectal ultrasound guided transperineal fusion biopsy for detection of prostate cancer. *J Urol*. 2013;190(4):1380–1386. doi: 10.1016/j.juro.2013.04.043
30. Serefoglu EC, Altinova S, Ugras NS, et al. How reliable is 12-core prostate biopsy procedure in the detection of prostate cancer. *Can Urol Assoc J*. 2013;7(5-6):E293–E298. doi: 10.5489/cuaj.11224
31. Baco E, Ukimura O, Rud E, et al. Magnetic resonance imaging-transectal ultrasound image-fusion biopsies accurately characterize the index tumor: correlation with step-sectioned radical prostatectomy specimens in 135 patients. *Eur Urol*. 2015;67(4):787–794. doi: 10.1016/j.eururo.2014.08.077
32. Cerantola Y, Dragomir A, Tanguay S, et al. Cost-effectiveness of multiparametric magnetic resonance imaging and targeted biopsy in diagnosing prostate cancer. *Urol Oncol*. 2016;34(3):119.e1–119.e9. doi: 10.1016/j.urolonc.2015.09.010
33. Delongchamps NB, Peyromaure M, Schull A, et al. Prebiopsy magnetic resonance imaging and prostate cancer detection: comparison of random and targeted biopsies. *J Urol*. 2013;189(2):493–499. doi: 10.1016/j.juro.2012.08.195
34. Bax J, Cool D, Gardi L, et al. Mechanically assisted 3D ultrasound guided prostate biopsy system. *Med Phys*. 2008;35(12):5397–5410. doi: 10.1118/1.3002415
35. US Preventive Services Task Force; Grossman DC, Curry SJ, et al. Screening for Prostate Cancer: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement. *JAMA*. 2018;319(18):1901–1913. Erratum in: *JAMA*. 2018;319(23):2443. doi: 10.1001/jama.2018.3710
36. Arnsrud Godtman R, Holmberg E, Lilja H, Stranne J, Hugosson J. Opportunistic testing versus organized prostate-specific antigen screening: outcome after 18 years in the Göteborg randomized population-based prostate cancer screening trial. *Eur Urol*. 2015;68(3):354–360. doi: 10.1016/j.eururo.2014.12.006
37. Engler J, Dahlhaus A, Gütthlin C. The readiness of German GPs to recommend and conduct cancer screening is associated with patient-physician gender concordance. Results of a survey. *Eur J Gen Pract*. 2017;23(1):11–19. doi: 10.1080/13814788.2016.1240166
38. Nordström T, Aly M, Clements MS, et al. Prostate-specific antigen (PSA) testing is prevalent and increasing in Stockholm County, Sweden, Despite no recommendations for PSA screening: results from a population-based study, 2003–2011. *Eur Urol*. 2013;63(3):419–425. doi: 10.1016/j.eururo.2012.10.001
39. Van Poppel H, Roobol MJ, Chapple CR, et al. Prostate-specific Antigen Testing as Part of a Risk-Adapted Early Detection Strategy for Prostate Cancer: European Association of Urology Position and Recommendations for 2021. *Eur Urol*. 2021;80(6):703–711. doi: 10.1016/j.eururo.2021.07.024
40. Mottet N, van den Bergh RCN, Briers E, et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-SIOG Guidelines on Prostate Cancer-2020 Update. Part 1: Screening, Diagnosis, and Local Treatment with Curative Intent. *Eur Urol*. 2021;79(2):243–262. doi: 10.1016/j.eururo.2020.09.042
41. Collen S, Van Poppel H. Early detection and diagnosis of prostate cancer in well informed men: the way forward for Europe. *Belg J Med Oncol*. 2020;14:321–326.
42. Louie KS, Seigneurin A, Cathcart P, Sasieni P. Do prostate cancer risk models improve the predictive accuracy of PSA screening? A meta-analysis. *Ann Oncol*. 2015;26(5):848–864. doi: 10.1093/annonc/mdl525
43. Ahmed HU, El-Shater Bosaily A, Brown LC, et al. Diagnostic accuracy of multi-parametric MRI and TRUS biopsy in prostate cancer (PROMIS): a paired validating confirmatory study. *Lancet*. 2017;389(10071):815–822. doi: 10.1016/S0140-6736(16)32401-1
44. Alberts AR, Schoots IG, Bokhorst LP, et al. Characteristics of Prostate Cancer Found at Fifth Screening in the European Randomized Study of Screening for Prostate Cancer Rotterdam: Can We Selectively Detect High-grade Prostate Cancer with Upfront Multivariable Risk Stratification and Magnetic Resonance Imaging. *Eur Urol*. 2018;73(3):343–350. doi: 10.1016/j.eururo.2017.06.019
45. Palsdottir T, Nordstrom T, Karlsson A, et al. The impact of different prostate-specific antigen (PSA) testing intervals on Gleason score at diagnosis and the risk of experiencing false-positive biopsy recommendations: a population-based cohort study. *BMJ Open*. 2019;9(3):e027958. doi: 10.1136/bmjopen-2018-027958
46. Wynants L, van Smeden M, McLernon DJ, et al. Three myths about risk thresholds for prediction models. *BMC Med*. 2019;17(1):192. doi: 10.1186/s12916-019-1425-3
47. Sonn GA, Margolis DJ, Marks LS. Target detection: magnetic resonance imaging-ultrasound fusion-guided prostate biopsy. *Urol Oncol*. 2014;32(6):903–911. doi: 10.1016/j.urolonc.2013.08.006
48. Sonn GA, Natarajan S, Margolis DJ, et al. Targeted biopsy in the detection of prostate cancer using an office based magnetic resonance ultrasound fusion device. *J Urol*. 2013;189(1):86–91. doi: 10.1016/j.juro.2012.08.095
49. Robertson NL, Hu Y, Ahmed HU, et al. Prostate cancer risk inflation as a consequence of image-targeted biopsy of the prostate: a computer simulation study. *Eur Urol*. 2014;65(3):628–634. doi: 10.1016/j.eururo.2012.12.057
50. Radtke JP, Schwab C, Wolf MB, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging (MRI) and MRI — transrectal ultrasound fusion biopsy for index tumor detection: correlation

- with radical prostatectomy specimen. *Eur Urol.* 2016;70:846–853. doi: 10.1016/j.eururo.2015.12.052
- 51.** Schröder FH, Hugosson J, Roobol MJ, et al. Screening and prostate cancer mortality: results of the European Randomised Study of Screening for Prostate Cancer (ERSPC) at 13 years of follow-up. *Lancet.* 2014;384(9959):2027–2035. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60525-0
- 52.** Roobol MJ, Steyerberg EW, Kranse R, et al. A risk-based strategy improves prostate-specific antigen-driven detection of prostate cancer. *Eur Urol.* 2010;57(1):79–85. doi: 10.1016/j.eururo.2009.08.025
- 53.** Meng X, Rosenkrantz AB, Mendhiratta N, et al. Relationship Between Prebiopsy Multiparametric Magnetic Resonance Imaging (MRI), Biopsy Indication, and MRI-ultrasound Fusion-targeted Prostate Biopsy Outcomes. *Eur Urol.* 2016;69(3):512–517. doi: 10.1016/j.eururo.2015.06.005
- 54.** Vargas HA, Hötter AM, Goldman DA, et al. Updated prostate imaging reporting and data system (PIRADS v2) recommendations for the detection of clinically significant prostate cancer using multiparametric MRI: critical evaluation using whole-mount pathology as standard of reference. *Eur Radiol.* 2016;26(6):1606–1612. doi: 10.1007/s00330-015-4015-6
- 55.** Radtke JP, Wiesenfarth M, Kesch C, et al. Combined Clinical Parameters and Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for Advanced Risk Modeling of Prostate Cancer-Patient-tailored Risk Stratification Can Reduce Unnecessary Biopsies. *Eur Urol.* 2017;72(6):888–896. doi: 10.1016/j.eururo.2017.03.039
- 56.** van Leeuwen PJ, Hayen A, Thompson JE, et al. A multiparametric magnetic resonance imaging-based risk model to determine the risk of significant prostate cancer prior to biopsy. *BJU Int.* 2017;120(6):774–781. doi: 10.1111/bju.13814
- 57.** Muthigi A, George AK, Sidana A, et al. Missing the Mark: Prostate Cancer Upgrading by Systematic Biopsy over Magnetic Resonance Imaging/Transrectal Ultrasound Fusion Biopsy. *J Urol.* 2017;197(2):327–334. doi: 10.1016/j.juro.2016.08.097
- 58.** Cash H, Günzel K, Maxeiner A, et al. Prostate cancer detection on transrectal ultrasonography-guided random biopsy despite negative real-time magnetic resonance imaging/ultrasonography fusion-guided targeted biopsy: reasons for targeted biopsy failure. *BJU Int.* 2016;118(1):35–43. doi: 10.1111/bju.13327
- 59.** Bryk DJ, Llukani E, Taneja SS, et al. The Role of Ipsilateral and Contralateral Transrectal Ultrasound-guided Systematic Prostate Biopsy in Men With Unilateral Magnetic Resonance Imaging Lesion Undergoing Magnetic Resonance Imaging-ultrasound Fusion-targeted Prostate Biopsy. *Urology.* 2017;102:178–182. doi: 10.1016/j.urology.2016.11.017
- 60.** Porpiglia F, De Luca S, Passera R, et al. Multiparametric Magnetic Resonance/Ultrasound Fusion Prostate Biopsy: Number and Spatial Distribution of Cores for Better Index Tumor Detection and Characterization. *J Urol.* 2017;198(1):58–64. doi: 10.1016/j.juro.2017.01.036
- 61.** Fütterer JJ, Briganti A, De Visschere P, et al. Can Clinically Significant Prostate Cancer Be Detected with Multiparametric Magnetic Resonance Imaging? A Systematic Review of the Literature. *Eur Urol.* 2015;68(6):1045–1053. doi: 10.1016/j.eururo.2015.01.013
- 62.** Thompson JE, Moses D, Shnier R, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging guided diagnostic biopsy detects significant prostate cancer and could reduce unnecessary biopsies and over detection: a prospective study. *J Urol.* 2014;192(1):67–74. doi: 10.1016/j.juro.2014.01.014
- 63.** Delongchamps NB, Portalez D, Bruguière E, et al. Are Magnetic Resonance Imaging-Transrectal Ultrasound Guided Targeted Biopsies Noninferior to Transrectal Ultrasound Guided Systematic Biopsies for the Detection of Prostate Cancer. *J Urol.* 2016;196(4):1069–1075. doi: 10.1016/j.juro.2016.04.003
- 64.** Filson CP, Natarajan S, Margolis DJ, et al. Prostate cancer detection with magnetic resonance-ultrasound fusion biopsy: The role of systematic and targeted biopsies. *Cancer.* 2016;122(6):884–892. doi: 10.1002/cncr.29874
- 65.** Rosenkrantz AB, Verma S, Choyke P, et al. Prostate Magnetic Resonance Imaging and Magnetic Resonance Imaging Targeted Biopsy in Patients with a Prior Negative Biopsy: A Consensus Statement by AUA and SAR. *J Urol.* 2016;196(6):1613–1618. doi: 10.1016/j.juro.2016.06.079
- 66.** Simmons LAM, Kanthabalan A, Arya M, et al. The PICTURE study: diagnostic accuracy of multiparametric MRI in men requiring a repeat prostate biopsy. *Br J Cancer.* 2017;116(9):1159–1165. doi: 10.1038/bjc.2017.57
- 67.** Hansen NL, Kesch C, Barrett T, et al. Multicentre evaluation of targeted and systematic biopsies using magnetic resonance and ultrasound image-fusion guided transperineal prostate biopsy in patients with a previous negative biopsy. *BJU Int.* 2017;120(5):631–638. doi: 10.1111/bju.13711
- 68.** Radtke JP, Kuru TH, Bonekamp D, et al. Further reduction of disqualification rates by additional MRI-targeted biopsy with transperineal saturation biopsy compared with standard 12-core systematic biopsies for the selection of prostate cancer patients for active surveillance. *Prostate Cancer Prostatic Dis.* 2016;19(3):283–291. doi: 10.1038/pcan.2016.16
- 69.** Henderson DR, de Souza NM, Thomas K, et al. Nine-year Follow-up for a Study of Diffusion-weighted Magnetic Resonance Imaging in a Prospective Prostate Cancer Active Surveillance Cohort. *Eur Urol.* 2016;69(6):1028–1033. doi: 10.1016/j.eururo.2015.10.010
- 70.** Frye TP, George AK, Kilchevsky A, et al. Magnetic Resonance Imaging-Transrectal Ultrasound Guided Fusion Biopsy to Detect Progression in Patients with Existing Lesions on Active Surveillance for Low and Intermediate Risk Prostate Cancer. *J Urol.* 2017;197(3 Pt 1):640–646. doi: 10.1016/j.juro.2016.08.109
- 71.** Recabal P, Assel M, Sjöberg DD, et al. The Efficacy of Multiparametric Magnetic Resonance Imaging and Magnetic Resonance Imaging Targeted Biopsy in Risk Classification for Patients with Prostate Cancer on Active Surveillance. *J Urol.* 2016;196(2):374–381. doi: 10.1016/j.juro.2016.02.084
- 72.** Tran GN, Leapman MS, Nguyen HG, et al. Magnetic Resonance Imaging-Ultrasound Fusion Biopsy During Prostate Cancer Active Surveillance. *Eur Urol.* 2017;72(2):275–281. doi: 10.1016/j.eururo.2016.08.023

ОБ АВТОРАХ

*** Giuseppe Guglielmi**, MD, Professor;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Valentina Testini, MD;
ORCID: 0000-0003-1231-5213;
e-mail: testinivalentina@gmail.com

Laura Eusebi, MD;
ORCID: 0000-0002-4172-5126;
e-mail: lauraeu@virgilio.it

Francesco Saverio Guerra, MD;
ORCID: 0000-0003-3923-3429;
e-mail: francesco.rino@gmail.com

Willy Giannubilo, MD;
e-mail: willygiannubilo@virgilio.it

Manuel Di Biase, MD;
e-mail: manuel.dibiase@ospedale.perugia.it

Annunziata Russo, MD;
ORCID: 0000-0002-4643-4280;
e-mail: tittyrosso-23@libero.it

AUTHORS' INFO

*** Giuseppe Guglielmi**, MD, Professor;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Valentina Testini, MD;
ORCID: 0000-0003-1231-5213;
e-mail: testinivalentina@gmail.com

Laura Eusebi, MD;
ORCID: 0000-0002-4172-5126;
e-mail: lauraeu@virgilio.it

Francesco Saverio Guerra, MD;
ORCID: 0000-0003-3923-3429;
e-mail: francesco.rino@gmail.com

Willy Giannubilo, MD;
e-mail: willygiannubilo@virgilio.it

Manuel Di Biase, MD;
e-mail: manuel.dibiase@ospedale.perugia.it

Annunziata Russo, MD;
ORCID: 0000-0002-4643-4280;
e-mail: tittyrosso-23@libero.it

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568899>

SWOT-анализ: дистанционный мониторинг артериального давления

А.Е. Демкина¹, А.Н. Коробейникова², А.Н. Рогоза³, А.В. Владзимирский¹

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия;

² Центр кардиологии и неврологии, Киров, Россия;

³ Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В связи с глобальными политическими и социально-экономическими изменениями система здравоохранения испытывает огромную нагрузку. Переход на новый уровень оказания медицинской помощи требует внедрения современных технологических решений. Ускоренное развитие инноваций в медицине и формирование персонализированного подхода позволит повысить качество и доступность медицинских услуг.

Одним из направлений развития здравоохранения является использование цифровых технологий и применение дистанционного мониторинга для оценки показателей здоровья граждан. В настоящее время на территории Российской Федерации реализуется Федеральный проект дистанционного наблюдения за пациентами с артериальной гипертензией «Персональные медицинские помощники». Как и любая новая технология, дистанционное мониторирование имеет свои преимущества и недостатки. В данной статье проведён стратегический анализ (SWOT-анализ), а также рассмотрены медицинские, экономические, социальные и политические аспекты, которые могут оказать влияние конечный результат федерального проекта. Для эффективного внедрения в практику технологии дистанционного мониторинга требуется акцентуация сильных и проработка слабых сторон как в системе здравоохранения, так и в государстве в целом. Проведённый SWOT-анализ может быть использован для построения дальнейшей стратегии широкого использования в клинической практике новых цифровых технологий.

Ключевые слова: SWOT-анализ; дистанционное мониторирование; артериальное давление; федеральные проекты; персональные медицинские помощники; здравоохранение.

Как цитировать:

Демкина А.Е., Коробейникова А.Н., Рогоза А.Н., Владзимирский А.В. SWOT-анализ: дистанционный мониторинг артериального давления // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 303–317. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568899>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568899>

SWOT-analysis: Remote monitoring of blood pressure

Alexandra E. Demkina¹, Anna N. Korobeynikova², Anatoliy N. Rogoza³,
Anton V. Vladzimirskyy¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia;

² Center of Cardiology and Neurology, Kirov, Russia;

³ National Medical Research Centre of Cardiology Named After Academician E.I. Chazov, Moscow, Russia

ABSTRACT

Global political and socioeconomic changes have caused a huge strain on the healthcare system. To transition into a new level of medical care, modern technological solutions are needed. Accelerated development of innovations in medicine and the formation of a personalized approach will improve the quality and accessibility of medical services. One of the directions of healthcare development is the use of digital technologies and remote monitoring in assessing the health indicators of citizens. Currently, the federal project of remote monitoring of patients with arterial hypertension, named, "Personal Medical Assistants," is being implemented in the Russian Federation. Similar to any new technology, remote monitoring has advantages and disadvantages. In this article, a strategic analysis (SWOT-analysis) was performed, considering medical, economic, social, and political aspects that may affect the results of the federal project. For effective implementation of remote monitoring technology in clinical practice, the strengths and weaknesses in the healthcare system and the state as a whole must be emphasized. SWOT-analysis can be used in formulating strategies for the widespread use of new digital technologies in clinical practice.

Keywords: SWOT-analysis; remote monitoring; blood pressure; federal projects; personal medical assistants; healthcare.

To cite this article:

Demkina AE, Korobeynikova AN, Rogoza AN, Vladzimirskyy AV. SWOT-analysis: Remote monitoring of blood pressure. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):303–317. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568899>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568899>

SWOT 分析：远程血压监控

Alexandra E. Demkina¹, Anna N. Korobeynikova², Anatoliy N. Rogoza³,
Anton V. Vladzemyrskyy¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia;

² Center of Cardiology and Neurology, Kirov, Russia;

³ National Medical Research Centre of Cardiology Named After Academician E.I. Chazov, Moscow, Russia

摘要

由于全球政治和社会经济的变化，医疗保健系统面临着巨大的压力。向新的医疗水平过渡需要引入现代技术解决方案。医学创新的加速发展和个性化方法的形成将提高医疗服务的质量和可及性。

保健发展的一个领域是使用数字技术和应用远程监控来评估公民的健康指标。目前，俄罗斯联邦正在实施对动脉高血压患者进行远程监控的联邦项目《个人医疗助理》。与任何新技术一样，远程监控也有其优缺点。本文进行了战略分析（SWOT 分析），并考虑了可能影响联邦项目最终结果的医疗、经济、社会和政治方面。要有效实施远程监控技术，就必须强调医疗保健系统和整个国家的优势并克服其不足。所进行的 SWOT 分析可用于制定进一步的战略，以便在临床实践中广泛使用新的数字技术。

关键词：SWOT 分析；远程监控；血压；联邦项目；个人医疗助理；医疗保健。

引用本文：

Demkina AE, Korobeynikova AN, Rogoza AN, Vladzemyrskyy AV. SWOT 分析：远程血压监控. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):303–317.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568899>

收到：28.08.2023

接受：12.12.2024

发布日期：20.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

Современная система здравоохранения на настоящий момент испытывает колоссальную нагрузку. Это обусловлено как социально-демографическими факторами (сокращение количества лиц трудоспособного возраста, старение популяции, рост числа граждан с факторами риска хронических неинфекционных заболеваний), так и экономическими аспектами (экономическая нестабильность, дефицит кадрового состава в медицинских учреждениях) [1–4].

Поиск решений, которые могут нивелировать часть современных вызовов, связан с научно-техническим прогрессом в медицинской науке и системе здравоохранения. Цифровая трансформация отрасли требует принципиально новых подходов к организации медицинской помощи [5]. Дистанционный мониторинг, в основе которого лежит автоматическая передача данных о состоянии здоровья пациента, является одним из ключевых технических решений, способных обеспечить задачу персонализированной медицины [6]. Реализация на практике широкого внедрения новых технологий удалённого мониторинга относится к стратегическим задачам системы здравоохранения, так как позволяет влиять на факторы риска хронических неинфекционных заболеваний [7–11].

SWOT-анализ (Strengths — сильные стороны, Weaknesses — слабые стороны, Opportunities — возможности, Threats — угрозы) — универсальный инструмент для проведения стратегического анализа. Метод применяется во всех секторах экономики (предпринимательские, некоммерческие и государственные организации) для оценки брендов, продуктов или проектов. Одним из главных преимуществ SWOT-анализа является возможность совместного изучения внешней и внутренней среды, установления связи между сильной и слабой сторонами, а также оценки существующих внешних угроз и возможностей [12].

Артериальная гипертензия (АГ) хорошо известна и как одна из распространённых патологий, и как один из важных модифицируемых факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний [4]. Распространённость АГ в Российской Федерации остаётся на стабильно высоком уровне и составляет, по данным исследований, 40–45%. Наблюдаемое в настоящее время демографическое старение российской популяции может способствовать ещё большему увеличению числа больных АГ [3]. Эпидемиологические исследования по изучению АГ в России, проведённые в период 2010–2020 гг., выявили ряд не решённых до сегодняшнего дня организационно-медицинских проблем: отказ пациентов от приёма лекарственных препаратов, отсутствие достижения целевого уровня

артериального давления (АД) на фоне лечения антигипертензивными препаратами, низкий уровень мотивации и контроля уровня АД в сельской местности [2].

При этом успешный контроль за показателями АД признан одной из наиболее эффективных профилактических стратегий по борьбе с сердечно-сосудистыми заболеваниями¹. Данные метаанализа 61 рандомизированного клинического исследования продемонстрировали, что снижение АД даже на 2 мм рт.ст. сопровождается уменьшением смертности от инсульта и ишемической болезни сердца, а при эффективном и своевременном лечении АГ можно было бы сохранить около 30% жизней людей [13].

Проблема эффективного контроля уровня АД со стороны пациентов является общемировой [14]. В большинстве стран мира предполагают, что основными причинами неполноценного контролирования заболевания являются низкая приверженность больных к лечению, а также нерегулярность или полное отсутствие контактов с медицинскими работниками по вопросам терапии АГ [15]. Низкая приверженность антигипертензивной терапии не только не позволяет достичь целевых уровней АД, но и приводит к увеличению частоты госпитализаций, их длительности и, следовательно, увеличению расходов системы здравоохранения [8].

В связи с реализацией на территории Российской Федерации масштабных проектов по внедрению дистанционного мониторинга АД авторами статьи представляется важным проведение SWOT-анализа данной стратегической задачи.

S — СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ

Целесообразность дистанционного мониторинга пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями с помощью портативных устройств объясняется их практичностью и доступностью, компактностью и удобством при пролонгированном использовании. Помимо этого, удалённое отслеживание состояния пациентов осуществляется в комфортных для них условиях (домашних), при этом обеспечивает незамедлительное оповещение о событиях, требующих срочной медицинской помощи или госпитализации [7]. Некоторые портативные устройства не требуют очного визита пациента для обслуживания: контролировать функционирование изделий можно дистанционно, что важно при их использовании лицами, проживающими в регионах, отдалённых от крупных городов с развитой кардиологической службой, в том числе в сельской местности [9]. Применение телемедицинских технологий даёт ряд преимуществ: простота планирования наблюдения, мониторинга и лечения заболеваний [16], а также более

¹ ВОЗ. Глобальное резюме по гипертонии. Безмолвный убийца, глобальный кризис общественного здравоохранения. Женева; 2013. Доступ по ссылке: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/79059/WHO_DCO_WHD_2013.2_rus.pdf [Дата обращения: 13.02.2023]

непосредственное общение между врачом и пациентом [17].

Пациенты, прибегающие к использованию дистанционных технологий, лучше видят и понимают взаимосвязь между своими ежедневными действиями — рационом, режимом сна, приверженностью к назначенному лечению — и состоянием собственного здоровья. Применение телемедицинских технологий позволяет пациентам отслеживать и фиксировать показатели своего состояния. Это, в свою очередь, помогает повысить осознанность человека и привлечь его к заботе о собственном здоровье [18, 19]. Возможность длительного наблюдения, долгосрочный контроль со стороны медицинского персонала, повышение уровня грамотности пациентов в медицинских вопросах, удобный способ коммуникации, не требующий очного визита — всё это говорит о преимуществах использования телемедицинских технологий для граждан [20, 21].

Помимо этого, внедрение удалённого мониторинга делает медицинскую помощь более доступной для жителей отдалённых районов [22]. Специалист системы здравоохранения (врач, фельдшер) получает достоверное представление о ежедневной активности и поведении пациента, что позволяет оперативно вносить корректировки в выбранный режим лечения [23]. Исследователи также отмечают, что показания АД в домашних условиях более приближены к реальным: исключается стресс от нахождения в медицинском учреждении и синдром белого халата [24].

Медицинские учреждения, работающие с дистанционными технологиями, имеют ряд преимуществ: они демонстрируют более высокие показатели по количеству пациентов, которым оказана помощь; по уровню удовлетворённости качеством помощи; по количеству площадей в организации, освобождённых в результате налаживания процессов удалённого консультирования. Хотя прямой краткосрочной экономической связи доказано не было, однако в долгосрочной перспективе рентабельность таких решений очевидна [19, 24, 25].

В ряде зарубежных исследований показана экономическая целесообразность телеметрической передачи результатов самоконтроля уровня АД [26–29]. Отечественными авторами проведена попытка оценки потенциального моделирования социально-экономического эффекта от внедрения дистанционных технологий у пациентов с повышенным АД. Результаты математических расчётов продемонстрировали, что, условно, в регионе с численностью населения 1 млн при 30% охвате таким мониторингом за 5 лет удалось бы спасти более 600 жизней, а при 90% охвате — уже порядка 2000 жизней [30].

Имеются данные и об экономической выгоде для самих пациентов: как для мужчин, так и для женщин самоконтроль АД более эффективен, чем обычное лечение (при условии, что эффект снижения сохранялся не менее 2 лет

для мужчин и 5 лет для женщин) [20]. Важно, что длительное мониторирование не было связано с неблагоприятным воздействием на качество жизни [31]. Другие исследования также показывают, что при краткосрочном использовании экономический эффект от дистанционных технологий может варьировать, но становится очевидным на временном горизонте от 2 лет [19, 20].

Таким образом, преимуществами дистанционного мониторинга при АД являются возможности тщательного контроля АД и повышение доступности медицинской помощи для жителей отдалённых районов, что экономически выгодно как для пациентов, так и для медицинских учреждений в долгосрочной перспективе.

W — СЛАБЫЕ СТОРОНЫ

Несмотря на все преимущества применения дистанционного мониторинга, накопленный опыт реальной практики использования цифровых технологий для контроля уровня АД выявил слабые стороны, что необходимо учитывать при масштабировании уже реализуемых и будущих проектов.

Значимую ограничивающую роль в применении методик дистанционного наблюдения оказывает низкий уровень технологической грамотности пациентов. Многие больные недостаточно знакомы с современными возможностями, чтобы использовать их в повседневной жизни [32]. Особенно это актуально для лиц пожилого возраста, что подразумевает необходимость обучающих тренингов для расширения когорты пациентов, понимающих цель использования технологий дистанционного мониторинга и активно их применяющих [31].

Во многом эффективность внедрения новых технологий определяется личностными характеристиками пациентов и их эмоциональным профилем [33]. Так, в университете Пенсильвании было проведено исследование, в ходе которого были выделены фенотипы взаимодействия пациента с системой дистанционного мониторинга АД. Было выделено 3 основных стиля поведения пациентов:

- «энтузиаст», который, как правило, отправлял без подсказки сообщения с большим количеством слов (10,9%);
- «студент», который взаимодействовал с системой дистанционного мониторинга периодически (22,6%);
- «минималист», который включался только тогда, когда ему напоминали (66,5%).

Статистическая взаимосвязь между стилем взаимодействия и достижением целевого уровня АД наблюдалась только в группе «минималистов» ($p < 0,001$) [34].

Бельгийское исследование, изучающее приверженность беременных женщин с артериальной гипертензией к дистанционному мониторингу, показало влияние уровня тревоги и депрессии на комплаенс пациентов (использовались опросники PHQ-9 и ECR-R). Женщины со средним

уровнем приверженности показали более высокие уровни тревоги и депрессии, тогда как в группах с хорошей и чрезмерной приверженностью таких взаимосвязей найдено не было [35].

Для многих пациентов оказывается важным вопрос безопасности персональных данных. Отдельные категории людей отказываются от технологий отслеживания биометрических данных, опасаясь за сохранность личной информации. В некоторых случаях у пациентов, всё же решившихся на применение трекеров, отмечаются признаки повышенной тревожности и депрессии [36].

Ряд авторов полагают, что потеря межличностного контакта может являться ограничением для широкого распространения дистанционного мониторинга [37]. В ранее проведённых исследованиях пациенты высказывались о важности для себя таких элементов коммуникации, как возможность прийти на приём, обратиться непосредственно к врачу, задать вопросы [38]. Пассивная роль пациента в процессе дистанционного мониторинга также является одним из рисков, что хорошо заметно при отсутствии адекватной и своевременной реакции со стороны медицинских работников на плохой контроль за уровнем АД [39].

Большую роль в приверженности пациентов к мониторингу играет время дистанционного наблюдения. В коротких программах практически 80% из 1662 пациентов демонстрировали значительную приверженность к мониторингу, а 87% из них посчитали такой вариант наблюдения полезным и удобным [40]. При длительном наблюдении количество активных пациентов уменьшается: в обсервационном клиническом исследовании с программой Hello Heart начиная с 3 месяцев до года около половины пациентов прекратили вносить данные в электронный дневник [41]. В отечественных работах была выявлена похожая зависимость: использование ручных способов передачи результатов измерений ассоциируется с низкой приверженностью пациентов к дистанционному наблюдению [42, 43]. Доля отказов от мониторинга в вышеуказанных исследованиях превысила 50%, а наибольшее их количество пришлось на первые 1,5–3 месяца мониторинга.

Исследования демонстрируют, что пациентам требуется серьёзная поддержка со стороны медицинского персонала, чтобы они могли самостоятельно и стабильно использовать телемедицинские технологии [16]. Кроме того, среди пациентов возникают проблемы, связанные с пониманием и применением правил дистанционного мониторинга [44], выявляется самолечение, что влечёт за собой значительные угрозы здоровью [24].

Помимо ограничений в использовании технологий удалённого наблюдения со стороны пациента, существуют слабые стороны управления процессами в системе здравоохранения и управления человеческим капиталом.

По данным отечественных исследований, врачи амбулаторно-поликлинического звена здравоохранения

с недоверием относятся к широкому внедрению дистанционного мониторинга, что в первую очередь связано с отсутствием практического опыта в данной области. Так, в исследовании А.М. Калининой и соавт. приняло участие 93 врача из 6 поликлиник г. Брянска [45]. Проведённый опрос показал, что наиболее сложными для врачей оказались вопросы, касающиеся организационной структуры дистанционного наблюдения — более 1/3 (34,4%) врачей не смогли выразить своего отношения к целесообразности создания отдельной структуры для осуществления дистанционного диспансерного наблюдения, в то время как этот вопрос в настоящее время обсуждается. Неудивительно, что практическим врачам пока неясны функции такой организационной структуры. Опрос позволил выявить барьеры и препятствия, которые, по мнению врачей, могут возникнуть, если встанет вопрос о широком внедрении диспансерного наблюдения с дистанционным контролем. Так, большинство респондентов (80,6%) в качестве таких барьеров назвали нехватку времени для проведения наблюдения, 44,1% — экономические причины (стоимость оборудования), 45,2% — технические трудности, 39,8% — сложности обучения пациентов и неуверенность в надёжности способа сбора и передачи информации.

Низкая цифровая грамотность и готовность медицинских кадров была выявлена и в ряде зарубежных стран. В исследовании R.J. Shaw и соавт. были названы факторы, снижающие готовность к принятию технологии среди медицинских сестёр: дополнительная рабочая нагрузка, необходимость интеграции в существующие рабочие процессы, дополнительные контакты с пациентами, нехватка кадров [25]. Кроме того, врачи предполагают, что использование телемедицины приведёт к увеличению нагрузки в долгосрочной перспективе [19, 24, 46]. Практикующие специалисты высказывают опасение, что стоимость предоставления услуг удалённого наблюдения будет превышать возмещение со стороны страховых компаний [46] и экономическая выгода будет нивелироваться [21]. Существует также угроза, что внедрение такой технологии приведёт к размыванию профессиональных ролей в лечебной среде [18].

Помимо ограничений в области человеческих ресурсов, значительным ограничивающим фактором, мешающим дальнейшему развитию информационных технологий в области диспансерного наблюдения, является экономический блок.

В частности, проблемой при внедрении дистанционных технологий в клиническую практику могут быть высокая стоимость девайсов и необходимость обучения медицинского персонала работе с данными устройствами. Кроме того, важно акцентировать внимание на несовершенстве регламентирующих документов, отсутствии обобщённых рекомендаций по использованию удалённых методов наблюдения [10]. Слабой стороной также является низкая активность страховых компаний в оплате телемедицинских услуг по мониторингу АД [39].

Для развития технологии дистанционного мониторинга необходимо учитывать ещё одну слабо проработанную область — время и трудозатраты врача на регулярный просмотр результатов анализов, выполняемых пациентами на дому, и на дистанционное общение врача с пациентом в рамках мониторинга. Кроме того, увеличение трудозатрат врача происходит и за счёт обучения пациентов пользованию мобильными приложениями. Этот вопрос требует изменений со стороны организации рабочего времени, изменения системы обязательного/добровольного медицинского страхования или проработки новых форм финансирования со стороны лечебного учреждения [22].

Третья группа слабых сторон дистанционного мониторинга АГ включает проблемы методологического характера. Самым сложным вопросом, который не решён до сих пор, является диагностика АГ «белого халата» и маскированной АГ методами офисного или домашнего измерения АД. Исследование PAMELA показало согласованность в показателях домашнего и амбулаторного (24-часового) измерения АД [47]. При этом в другом исследовании различия в диагностике АГ «белого халата» при домашнем и амбулаторном мониторинговании были выявлены у 13% участников [48]. Что касается маскированной гипертензии, то только 57% и 45% пациентов с АГ, установленной на основании повышенного систолического и диастолического уровней АД соответственно, имели такие же показатели по результатам домашнего мониторингования АД. Тем не менее было выявлено расхождение в уровнях систолического и диастолического АД в 23% и 30% соответственно [49]. Исследователи делают вывод, что домашнее мониторингование АД будет подтверждающим при повышении «офисного» АД, а в диагностике маскированной АГ или АГ «белого халата» наибольшую пользу принесёт амбулаторное мониторингование [49]. Выявленные случаи несогласованности в результатах не говорят о том, что один метод уступает другому. При кажущемся сходстве они оценивают разные аспекты профиля АД [50, 51]. По данным J. Barochiner и соавт., диагностика маскированной АГ по данным домашнего мониторингования минимальна из-за невоспроизводимости «офисных» измерений (коэффициент каппа Козна составил $k=0,19$; 95% доверительный интервал 0,0002–0,38; $p=0,02$) [52].

Пока нет чётких рекомендаций, как поступить врачу при расхождении показателей «офисного» и «домашнего» АД: здесь возможно назначение как избыточной, так и недостаточной терапии, это не столько ограничение телемедицинских технологий, а методологический аспект диагностики АГ. Необходима стандартизация методики домашнего мониторингования АД и отчётности для предотвращения предвзятости в оценке данных и искажения информации [53].

Важным условием для принятия решения о назначении терапии является уверенность в том, что в домашних условиях производится достоверная оценка АД. Существуют риски некорректного измерения АД из-за

технических погрешностей и неисправности тонометра. Именно поэтому требуется его обязательная валидизация и проверка точности, а также сопоставление показаний прибора и данных измерений, выполненных обученным медицинским работником. Помимо важности технической исправности самого тонометра, необходимо использовать манжету соответствующего размера. По данным NHANES, 51% взрослого населения в США, в том числе 65% лиц в возрасте 18–34 лет и 84% лиц с ожирением, нуждались в больших и очень больших манжетах [54–56].

Таким образом, технология дистанционного мониторинга АГ имеет свои слабые стороны. Низкий уровень цифровой грамотности, недоверие новым технологиям и желание остаться в прежней системе отношений с врачом ограничивают широкое внедрение данной методики среди пациентов. Кроме того, существует сопротивление со стороны медицинских работников: опасения по поводу повышения временных и трудовых затрат на дополнительный объём работы заставляют их с недоверием относиться к возможности широкого применения дистанционного мониторинга. Методологические и технические трудности применения удалённого наблюдения за пациентами с АГ заставляют медицинское сообщество пока сдержанно относиться к данной технологии.

0 — ВОЗМОЖНОСТИ

Несмотря на все слабые стороны, удалённый мониторинг показателей АД у пациентов с сердечно-сосудистой патологией показал обнадеживающие результаты: значимое сокращение частоты и длительности госпитализаций, снижение смертности, улучшение показателей контроля АД по сравнению с обычным лечением и наблюдением. В исследовании TEN-HMS (Великобритания, Германия и Нидерланды) смертность пациентов в контрольной группе в течение одного года составила 45%, в то время как в группе удалённого мониторинга данный показатель оказался равным 29%, а в группе структурированной телефонной поддержки — 27% [10]. Целью метаанализа 46 рандомизированных клинических исследований было изучение эффективности дистанционного мониторинга АД по сравнению с обычной практикой ведения АГ. Результаты работы показали, при дистанционном мониторинге уровни «офисного» систолического и диастолического АД снижались на 3,99 мм рт.ст. ($p < 0,001$) [11]. Достижение лучшего контроля систолического АД при использовании системы удалённого мониторинга было показано в рамках исследования Home BP (Великобритания). Средняя разница в систолическом давлении составила 3,4 мм рт.ст. (95% доверительный интервал 6,1–0,8; $p < 0,05$) [57].

В исследовании М.Г. Бубновой и соавт., включавшем 342 пациента с АГ, в группах больных с использованием дистанционного наблюдения определялись статистически значимые преимущества по количеству вызовов скорой и неотложной помощи, количеству госпитализаций,

времени нахождения на больничном листе. Через 12 мес в основной группе целевой уровень АД был достигнут у 92,2% пациентов, в контрольной группе — лишь у 43,3% [58].

Использование методов удалённого мониторинга позволит накопить большие массивы информации о пациентах. Использование больших данных и интеллектуальных компьютерных систем будет оказывать всё большее влияние на устоявшиеся подходы в медицине [59, 60]: сбор информации, обобщение данных и обратная связь с клиницистом будут автоматизированы. Сбор больших данных с разных гаджетов, формирование трендов за счёт машинного обучения и анализа витальных и географических характеристик на протяжении длительного времени будут способствовать более чёткому пониманию развития сердечно-сосудистых заболеваний в популяционном масштабе [61].

В перспективе возможно совершенствование систем дистанционного мониторинга: они станут более адаптивными и гибкими. Например, если у пациента выявлены какие-либо проблемы с исполнением схемы дистанционного наблюдения, то активируется поведенческий модуль, который подстраивается под пациента и помогает ему преодолеть трудности. Алгоритмы медикаментозных назначений также могут быть автоматизированы: большой массив информации позволит анализировать ситуацию и принимать решение здесь и сейчас [62].

Широкое внедрение удалённого мониторинга в систему здравоохранения Соединённых Штатов Америки и стран Европы позволяет говорить о его эффективности (как экономической, так и клинической) в долгосрочной перспективе. Применение телемедицинских технологий даёт возможность более качественно управлять здоровьем и рационально тратить ограниченные медицинские ресурсы:

- сокращение времени на повторные визиты к врачу и сроков подбора эффективной антигипертензивной терапии;
- повышение эффективности контроля АД при АГ и связанное с этим снижение числа осложнений;
- сокращение сроков пребывания в стационаре при госпитализациях, связанных с осложнениями АГ;
- внедрение технологии в отдалённых регионах России и в условиях хронического дефицита медицинских кадров;
- повышение доступности и качества оказания медицинской помощи маломобильной и немобильной группам населения [40].

Т — УГРОЗЫ

В процессе внедрения дистанционного мониторинга были выявлены угрозы, ограничивающие его широкое использование в медицинской практике.

Развитие дистанционного мониторинга подразумевает насыщение системы здравоохранения передовыми решениями, современными технологическими разработками. Однако нынешняя геополитическая ситуация диктует свои условия. Ранее большое количество продуктов информационных технологий (IT) и их комплектующих поставлялось из-за рубежа, что было гораздо выгоднее, чем развитие собственных производств с длительным периодом окупаемости. Именно поэтому в условиях санкций Россия оказалась в крайне невыгодном положении из-за неразвитой собственной IT-инфраструктуры. Крупнейшие западные гиганты сферы информационных технологий, такие как Microsoft, Oracle, Cisco, IBM, Adobe, SAP, Intel, AMD² ограничили или полностью прекратили деятельность в нашей стране. По мнению преподавателя школы IT-менеджмента Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» Дмитрия Пшиченко, основные риски сейчас находятся в области информационной безопасности и ремонта: большинство западного программного обеспечения носит облачный характер, а покупка комплектующих для ремонта сильно затруднена. Безусловно, данная ситуация скажется на развитии цифровых технологий в медицине³.

Помимо проблем с программным обеспечением, в России есть и кадровый дефицит в сфере IT. Вице-премьером Дмитрием Чернышенко озвучено, что нехватка IT-специалистов составляет 1 млн человек⁴, а по прогнозам к 2027 году может достичь 2 млн человек. Это обуславливает определённые препятствия для быстрого развития IT-индустрии, в частности в системе здравоохранения.

Экономические проблемы и нехватка ресурсов также могут обуславливать задержки в темпах развития цифровизации. По оценке Высшей школы экономики, внутренние затраты отрасли здравоохранения на создание, распространение и использование цифровых технологий и связанных с ними продуктов и услуг составили в 2019 г. 39,5 млрд руб., что представляет 1,6% валовой добавленной стоимости отрасли. Сопоставление с объёмом затрат показывает, что доля расходов на цифровизацию отрасли не превышает 0,6–0,7% [63].

² Ушёл и не вернулся: какие IT-компании покинули Россию. Доступ по ссылке: <https://hightech.fm/2022/05/26/it-companies-went-away> [Дата обращения: 1.03.2023]

³ Основные риски в IT связана с нехваткой специалистов. Доступ по ссылке: <https://rg.ru/2023/02/17/vitaiut-v-oblakah.html> [Дата обращения: 1.03.2023]

⁴ В этом году аккредитованных IT-компаний в России стало в семь раз больше. Доступ по ссылке: <https://www.ixbt.com/news/2022/10/24/v-jetom-godu-akkreditovannyh-itkompanij-v-rossii-stalo-v-sem-raz-bolshe.html> [Дата обращения: 1.03.2023]

В структуре затрат расходы на цифровизацию здравоохранения, среди всех видов экономической деятельности, в 2021 году занимали 2,6%. Доля сектора здравоохранения в затратах организаций России на цифровизацию увеличилась за последние два года незначительно: в 2019 году она составляла всего 1,6%, в 2020-м — 2,2%.

Определённую степень дискредитации технологии дистанционного мониторинга вносят вопросы кибербезопасности. Телемедицина подразумевает накопление больших массивов данных, которые нужно определённым образом хранить, не допуская попадания этой информации в открытые источники. Данные пациентов могут попадать в руки мошенников и использоваться в преступных целях⁵.

По данным «Лаборатории Касперского», 54% медицинских учреждений используют устаревшее программное обеспечение. Данная ситуация связана с высокой стоимостью обновлений и проблемами совместимости старых и новых систем. Без обновлений повышается уязвимость системы перед кибератаками, злоумышленники могут попадать в корпоративную структуру и использовать полученные базы данных в своих целях. Согласно статистике, из-за повышенной уязвимости медицинских систем в России сталкивались с утечками данных 32%, 32% — с DDoS-атаками, 30% — с атаками программ-вымогателей⁶. Возможные угрозы информационной безопасности подробно приведены в работе Т.И. Булдаковой и соавт. [64]: утечка информации может происходить практически на любом этапе — от собственно датчика и облачной медицинской информационной системы до медицинского персонала и пациента. Кроме того, лавинообразное развитие мобильных технологий и m-health привело к появлению огромного количества приложений для телефонов и готовых беспроводных устройств, подавляющее большинство которых не прошли сертификацию [65, 66], поэтому не могут использоваться как медицинские устройства, в том числе и из-за несоблюдения правил кибербезопасности (возможно использование таких приложений только со стороны пациента) [67].

Определённые сложности при использовании дистанционного мониторинга возникают при удалённой идентификации пациента. Точное и надёжное определение личности пациента, у которого действительно проводится мониторинг показателей, представляет определённые затруднения. Именно поэтому удалённое наблюдение не может быть использовано в экспертных и сомнительных ситуациях, а ответственное использование приборов становится обязанностью самого пациента [68].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для широкого внедрения технологий дистанционного мониторинга в нашей стране требуется масштабная проработка угроз, и это касается не только отрасли здравоохранения. Развитие медицины идёт в ногу с развитием IT-технологий в нашей стране. Невозможно отделить цифровизацию в медицине в какую-то отдельную отрасль, она неразрывно связана с внешними и внутренними факторами, испытывает на себе влияние политических, экономических и социальных аспектов. Хотя, безусловно, специфика медицинской отрасли (персональные данные, медицинская тайна) накладывает индивидуальный отпечаток, однако база для развития IT-технологий в России едина.

Проведение SWOT-анализа предполагает построение дальнейшей стратегии, для чего, согласно модели Вайхриха, прогнозируется взаимодействие факторов из разных квадратов:

- сильные стороны — возможности;
- силы — угрозы;
- слабости — возможности;
- слабости — угрозы.

Комплексный подход позволит более органично встроить технологии дистанционного наблюдения в систему здравоохранения и позволит широко использовать все преимущества цифровой медицины.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научное обоснование моделей и способов организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий» (№ ЕГИ-СУ: 123031400008-4) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счёт средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи,

⁵ О рисках, угрозах и отсутствии системности в цифровизации. URL: <https://www.infowatch.ru/resources/blog/tochka-zreniya-kasperskoy/oriskakh-ugrozakh-i-otsutstvii-sistemnosti-v-tsifrovizatsii> [Дата обращения: 1.03.2023]

⁶ Исследование: каждое второе медучреждение из РФ использует оборудование с устаревшей ОС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/13143911> [Дата обращения: 1.03.2023]

прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.Е. Демкина — концепция статьи, написание текста, редактирование текста; А.Н. Коробейникова — набор материала, написание статьи; А.Н. Рогоза — написание статьи, редактирование текста; А.В. Владимирский — редактирование текста.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled “Scientific evidence for using telemedicine-based models and methods for organization and delivery of medical care” (USIS No.: 123031400008-4) in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 “On approval of state assignments funded by means of allocations from

the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025” issued by the Moscow Health Care Department.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. А.Е. Демкина — the concept of the study, writing the text of the manuscript, manuscript's text editing; А.Н. Коробейникова — collection of materials, writing the text of the manuscript; А.Н. Рогоза — writing the text of the manuscript, manuscript's text editing; А.В. Владимировский — manuscript's text editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зудин А.Б., Щепин В.О. Глобальные вызовы для российского здравоохранения // Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н.А. Семашко. 2016. № 5. С. 41–45. EDN: XWOKVJ
2. Бойцов С.А., Демкина А.Е., Ощепкова Е.В., Долгушева Ю.А. Достижения и проблемы практической кардиологии в России на современном этапе // Кардиология. 2019. Т. 59, № 3. С. 53–59. EDN: CJGQF doi: 10.18087/cardio.2019.3.10242
3. Бойцов С.А., Погосова Н.В., Бубнова М.Г., и др. Кардиоваскулярная профилактика 2017. Российские национальные рекомендации // Российский кардиологический журнал. 2018. Т. 23, № 6. С. 7–122. EDN: XSLTF doi: 10.15829/1560-4071-2018-6-7-122
4. Баланова Ю.А., Шальнова С.А., Имаева А.Э., и др. Распространенность артериальной гипертензии, охват лечением и его эффективность в Российской Федерации (данные наблюдательного исследования ЭССЕ-РФ-2) // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2019. Т. 15, № 4. С. 450–466. EDN: ZRWESV doi: 10.20996/1819-6446-2019-15-4-450-466
5. Лебедев Г.С., Владимирский А.В., Шадеркин И.А., Дударева В.П. Комплекс дистанционного мониторинга при хронических неинфекционных заболеваниях // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2020. Т. 8, № 1. С. 7–14. EDN: NMFKN doi: 10.29188/2712-9217-2022-8-1-7-14
6. Николаев В.А. Инновационные технологии персонализированной медицины // Forcipe. 2019. Т. 2, № S3. С. 40–41. EDN: UEPRRX
7. Bautista L.E. Predictors of persistence with antihypertensive therapy: Results from the NHANES // Am J Hypertens. 2008. Vol. 21, N 2. P. 183–188. doi: 10.1038/ajh.2007.33
8. Paramore L.C., Halpern M.T., Lapuerta P., et al. Impact of poorly controlled hypertension on health care resource utilization and cost // Am J Manag Care. 2001. Vol. 7, N 4. P. 89–98.
9. Varma N., Epstein A.E., Irimpen A., et al. TRUST investigators. Efficacy and safety of automatic remote monitoring for implantable cardioverter-defibrillator follow-up: the lumos-t safely reduces routine office device follow-up (TRUST) Trial // Circulation. 2010. Vol. 122, N 4. P. 325–332. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.937409
10. Sana F., Isselbacher E.M., Singh J.P., et al. Wearable Devices for Ambulatory Cardiac Monitoring: JACC State-of-the-Art Review // J Am CollCardiol. 2020. Vol. 75, N 13. P. 1582–1592. doi: 10.1016/j.jacc.2020.01.046
11. Cleland J.G.F., Louis A.A., Rigby A.S., et al. Noninvasive home telemonitoring for patients with heart failure at high risk of recurrent admission and death: the Trans-European Network-Home-Care Management System (TEN-HMS) study // Journal of the American College of Cardiology. 2005. Vol. 45, N 10. P. 1654–1664. doi: 10.1016/j.jacc.2005.01.050
12. Пыжлаков Д.С. Сила и возможности. Концепция динамического SWOT-анализа // Российское предпринимательство. 2008. № 6-1. С. 133–138. EDN: JKONSZ
13. Lewington S., Clarke R., Qizilbash N., et al. Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality // The Lancet. 2003. Vol. 361, N 9366. P. 1391–1392. doi: 10.1016/S0140-6736(03)13061-9
14. Slimko M.L., Mensah G.A. The role of diets, food, and nutrients in the prevention and control of hypertension and prehypertension // Clinical Cardiology. 2010. Vol. 4, N 28. P. 665–674. doi: 10.1016/j.ccl.2010.08.001
15. Чазова И.Е., Ощепкова Е.В. Итоги реализации Федеральной целевой программы по профилактике и лечению артериальной гипертензии в России в 2002–2012 гг. // Вестник Российской академии медицинских наук. 2013. Т. 68, № 2. С. 4–11. EDN: PWEBNT doi: 10.15690/vramn.v68i2.542
16. McKoy J., Fitzner K., Margetts M., et al. Are telehealth technologies for hypertension care and self-management effective or simply risky and costly? // Popul Health Manag. 2015. Vol. 18, N 3. P. 192–202. doi: 10.1089/pop.2014.0073
17. Fitzner K., Moss G. Telehealth—an effective delivery method for diabetes self-management education? // Popul Health Manag. 2013. Vol. 16, N 3. P. 169–177. doi: 10.1089/pop.2012.0054
18. Flodgren G., Rachas A., Farmer A.J., Inzitari M., Shepperd S. Interactive telemedicine: effects on professional practice and health care outcomes // Cochrane Database Syst Rev. 2015. Vol. 2015, N 9. P. CD002098. doi: 10.1002/14651858.CD002098.pub2
19. Piette J.D., Marinec N., Gallegos-Cabriaes E.C., et al. Spanish-speaking patients' engagement in interactive voice response (IVR) support calls for chronic disease self-management: data from three countries // Telemed Telecare. 2013. Vol. 19, N 2. P. 89–94. doi: 10.1177/1357633x13476234

20. Kaambwa B., Bryan S., Jowett S., et al. Telemonitoring and self-management in the control of hypertension (TASMINH2): a cost-effectiveness analysis // *Eur J Prev Cardiol.* 2014. Vol. 21, N 12. P. 1517–1530. doi: 10.1177/2047487313501886
21. Maciejewski M.L., Bosworth H.B., Olsen M.K., et al. Do the benefits of participation in a hypertension self-management trial persist after patients resume usual care? // *Circ Cardiovasc Qual Outcomes.* 2014. Vol. 7, N 2. P. 269–275. doi: 10.1161/CIRCOUTCOMES.113.000309
22. Шадеркин И.А., Шадеркина В.А. Удаленный мониторинг здоровья: мотивация пациентов // *Журнал телемедицины и электронного здравоохранения.* 2020. Т. 6, № 3. С. 37–43. EDN: PBHKKX doi: 10.29188/2542-2413-2020-6-3-37-43
23. Wise J. Activity trackers, even with cash incentives, do not improve health // *BMJ.* 2016. Vol. 355. P. i5392. doi: 10.1136/bmj.i5392
24. Jones M.I., Greenfield S.M., Bray E.P., et al. Patients' experiences of self-monitoring blood pressure and self-titration of medication: the TASMINH2 trial qualitative study // *Br J Gen Pract.* 2012. Vol. 65, N 595. P. e135–e142. doi: 10.3399/bjgp12X625201
25. Shaw R.J., Kaufman M.A., Bosworth H.B., et al. Organizational factors associated with readiness to implement and translate a primary care-based telemedicine behavioral program to improve blood pressure control: the HTN-IMPROVE study // *Implement Sci.* 2013. Vol. 8. doi: 10.1186/1748-5908-8-106
26. AbuDagga A., Resnick H.E., Alwan M. Impact of Blood Pressure Telemonitoring on Hypertension Outcomes: A Literature Review // *Telemedicine and eHealth.* 2010. Vol. 16, N 7. P. 830–838. doi: 10.1089/tmj.2010.0015
27. Chandak A., Joshi A. Self-management of hypertension using technology enabled interventions in primary care settings // *Technology and Health Care.* 2015. Vol. 23, N 2. P. 119–128. doi: 10.3233/thc-140886
28. McKinstry B., Hanley J., Lewis S. Telemonitoring in the management of high blood pressure // *Curr Pharm Des.* 2015. Vol. 21, N 6. P. 823–827. doi: 10.2174/1381612820666141024154232
29. Sivakumaran D., Earle K. Telemonitoring: use in the management of hypertension // *Vascular Health and Risk Management.* 2014. Vol. 10. P. 217–224. doi: 10.2147/vhrm.s36749
30. Концевая А.В., Комков Д.С., Бойцов С.А. Моделирование как метод оценки экономической целесообразности дистанционного мониторинга артериального давления на региональном уровне // *Здравоохранение Российской Федерации.* 2017. Т. 61, № 1. С. 10–16. EDN: YFOKVP doi: 10.18821/0044-197X-2017-61-1-10-16
31. Но К. Health-e-Apps: A project to encourage effective use of mobile health applications // *BCM J.* 2013. Vol. 55, N 10. P. 458–460.
32. Исаева А.В., Краснова К.С., Тагоев Ю.Ш., и др. Изучение цифровой готовности пациентов с хронической сердечной недостаточностью // *Профилактическая медицина.* 2023. Т. 26, № 3. С. 101–108. EDN: DGKTAU doi: 10.17116/profmed202326031101
33. Байсангуров А.Ф., Арутюнова Н.Н., Байсангурова М.М. Анализ факторов демотивации, снижающих эффективность работы сотрудников // *Digital Diagnostics.* 2021. Т. 2, № 2S. С. 10–11. EDN: VGEGJF doi: 10.17816/DD83175
34. Davoudi A., Lee N.S., Chivers C., et al. Patient interaction phenotypes with an automated remote hypertension monitoring program and their association with blood pressure control: observational study // *J Med Internet Res.* 2020. Vol. 22, N 12. P. e22493. doi: 10.2196/22493
35. Vandenberk T., Lanssens D., Storms V., et al. Relationship Between Adherence to Remote Monitoring and Patient Characteristics: observational study in women with pregnancy-induced hypertension // *JMIR MhealthUhealth.* 2019. Vol. 7, N 8. P. e12574. doi: 10.2196/12574
36. Case M.A., Burwick H.A., Volpp K.G., et al. Accuracy of smartphone applications and wearable devices for tracking physical activity data // *JAMA.* 2015. Vol. 313, N 6. P. 625–626. doi: 10.1001/jama.2014.17841
37. O'Kane M.J. Efficacy of self-monitoring of blood glucose in patients with newly diagnosed type 2 diabetes (ESMON study): randomised controlled trial // *BMJ.* 2008. Vol. 336, N 7654. P. 1174–1180. doi: 10.1136/bmj.39534.571644.BE
38. Walker R.C., Tong A., Howard K., et al. Patient expectations and experiences of remote monitoring for chronic diseases: Systematic review and thematic synthesis of qualitative studies // *Int J Med Inform.* 2019. Vol. 124. P. 78–85. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2019.01.013
39. Мареев Ю.В., Зинченко А.О., Мясников Р.П., и др. Применение телеметрии у больных с хронической сердечной недостаточностью // *Кардиология.* 2019. Т. 59, № S9. С. 4–15. EDN: ISWIAY doi: 10.18087/cardio.n530
40. Omboni S., Ferrari R. The role of telemedicine in hypertension management: focus on blood pressure telemonitoring // *Curr Hypertens Rep.* 2015. Vol. 17. doi: 10.1007/s11906-015-0535-3
41. Gazit T., Gutman M., Beatty A.L. Assessment of hypertension control among adults participating in a mobile technology blood pressure self-management program // *JAMA Netw Open.* 2021. Vol. 4, N 10. P. e2127008. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2021.27008
42. Комков Д.С., Батурин Д.И., Куликов А.А., и др. Роль SMS-информирования в диспансерном наблюдении пациентов с артериальной гипертензией // *Артериальная Гипертензия.* 2015. Т. 21, № S1. С. 91. EDN: WEPXLT
43. Комков Д.С., Горячкин Е.А., Корсунский Д.В., и др. Клиническая эффективность различных моделей телемедицинских технологий у больных с артериальной гипертензией // *Профилактическая медицина.* 2020. Т. 23, № 4. С. 27–35. EDN: PMROKX doi: 10.17116/profmed20202304127
44. Melnyk S.D., Zullig L.L., McCant F., et al. Telemedicine cardiovascular risk reduction in veterans // *Am Heart J.* 2013. Vol. 165, N 4. P. 501–508. doi: 10.1016/j.ahj.2012.08.005
45. Калинина А.М., Горный Б.Э., Дубовой И.И., и др. Отношение врачей первичного звена к применению телемедицинских технологий при диспансерном наблюдении больных с хроническими заболеваниями (медико-социологическое исследование) // *Профилактическая медицина.* 2020. Т. 23, № 6. С. 8–13. EDN: TIADWK doi: 10.17116/profmed2020230628
46. Wang V., Smith V.A., Bosworth H.B., et al. Economic evaluation of telephone self-management interventions for blood pressure control // *Am Heart J.* 2012. Vol. 163, N 6. P. 980–986. doi: 10.1016/j.ahj.2012.03.016
47. Cuspidi C., Facchetti R., Dell'Oro R., et al. Office and out-of-office blood pressure changes over a quarter of century: findings from the PAMELA Study // *Hypertension.* 2020. Vol. 76, N 3. P. 759–765. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.15434
48. Mancia G., Facchetti R., Bombelli M., et al. Long-term risk of mortality associated with selective and combined elevation in office, home, and ambulatory blood pressure // *Hypertension.* 2006. Vol. 47, N 5. P. 846–853. doi: 10.1161/01.HYP.0000215363.69793.bb
49. Stergiou G.S., Salgami E.V., Tzamouranis D.G., Roussias L.G. Masked hypertension assessed by ambulatory blood pressure

versus home blood pressure monitoring: is it the same phenomenon? // *Am J Hypertens*. 2005. Vol. 18, N 6. P. 772–778. doi: 10.1016/j.amjhyper.2005.01.003

50. Pickering T.G. Self-monitoring of blood pressure. In: *Ambulatory Monitoring and Blood Pressure Variability (Part 1)*. London : Science Press, 1990.

51. Pickering T. Recommendations for the use of home (self) and ambulatory blood pressure monitoring. American Society of Hypertension Ad Hoc Panel // *Am J Hypertens*. 1996. Vol. 9, N 1. P. 1–11. doi: 10.1016/0895-7061(95)00341-x

52. Barochiner J., Posadas Martínez M.L., Martínez R. Reproducibility of masked uncontrolled hypertension detected through home blood pressure monitoring // *J Clin Hypertens (Greenwich)*. 2019. Vol. 21, N 7. P. 877–883. doi: 10.1111/jch.13596

53. Myers M.G. Reporting bias in self-measurement of blood pressure // *Blood Press Monit*. 2001. № 6. P. 181–183.

54. Miao H., Liu Y., Tsai T.C., Schwartz J., Ji J.S. Association between blood lead level and uncontrolled hypertension in the US population (NHANES 1999–2016) // *J Am Heart Assoc*. 2020. Vol. 9, N 13. P. e015533. doi: 10.1161/JAHA.119.015533

55. Jackson S.L., Gillespie C., Shimbo D., Rakotz M., Wall H.K. Blood Pressure Cuff Sizes for Adults in the United States: National Health and Nutrition Examination Survey, 2015–2020 // *Am J Hypertens*. 2022. Vol. 35, N 11. P. 923–928. doi: 10.1093/ajh/hpac104

56. Cepeda M., Pham P., Shimbo D. Status of ambulatory blood pressure monitoring and home blood pressure monitoring for the diagnosis and management of hypertension in the US: an up-to-date review // *Hypertens Res*. 2023. Vol. 46. P. 620–629. doi: 10.1038/s41440-022-01137-2

57. Duan Y., Xie Z., Dong F., et al. Effectiveness of home blood pressure telemonitoring: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled studies // *Journal of Human Hypertension*. 2017. Vol. 31. P. 427–437. doi: 10.1038/jhh.2016.99

58. Бубнова М.Г., Трибунцева Л.В., Остроушко Н.И., и др. Влияние дистанционного диспансерного наблюдения на течение артериальной гипертензии // *Профилактическая медицина*. 2018. Т. 21, № 5. С. 77–82. EDN: YPHZJZ doi: 10.17116/profmed20182105177

59. Schoenhagen P., Mehta N. Big data, smart computer systems, and doctor-patient relationship // *European Heart Journal*. 2017. Vol. 38, N 7. P. 508–510. doi: 10.1093/eurheartj/ehw217

60. Шарова Д.Е., Зинченко В.В., Ахмад Е.С., и др. К вопросу об этических аспектах внедрения систем искусственного интеллекта в здравоохранении // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 3. С. 356–368. EDN: TGZGZZ doi: 10.17816/DD77446

61. Kario K., Tomitani N., Kanegae H., et al. The further development of out-of-office BP monitoring: Japan's ImPACT Program Project's achievements, impact, and direction // *J Clin Hypertens (Greenwich)*. 2019. Vol. 21, N 3. P. 344–349. doi: 10.1111/jch.13495

62. Стародубцева И.А., Шарапова Ю.А. Дистанционный мониторинг артериального давления как инструмент повышения качества диспансерного наблюдения пациентов с артериальной гипертензией // *Архив внутренней медицины*. 2021. Т. 11, № 4. С. 255–263. EDN: FTKKTE doi: 10.20514/2226-6704-2021-11-4-255-263

63. Карпов О.З., Храмов А.Е. Информационные технологии, вычислительные системы и искусственный интеллект в медицине. Москва : ДПК Пресс, 2022.

64. Булдакова Т.И., Миков Д.А., Соколова А.В. Защита данных при дистанционном мониторинге состояния человека // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение»*. 2020. № 4. С. 42–57. EDN: QHBUUF doi: 10.18698/0236-3933-2020-4-42-57

65. Alessa T., Hawley M.S., Hock E.S., de Witte L. Smartphone apps to support self-management of hypertension: review and content analysis // *JMIR MhealthUhealth*. 2019. Vol. 7, N 5. P. e13645. doi: 10.2196/13645

66. Picone D.S., Deshpande R.A., Schultz M.G., et al. Nonvalidated home blood pressure devices dominate the online marketplace in Australia // *Hypertension*. 2020. Vol. 75, N 6. P. 1593–1599. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.14719

67. Jalali M.S., Russell B., Razak S., et al. EARS to cyber incidents in health care // *J Am Med Inform Assoc*. 2019. Vol. 26, N 1. P. 81–90. doi: 10.1093/jamia/ocy148

68. Владзимирский А.В. Систематический обзор применения мессенджеров «Whatsapp» и «Viber» в клинической медицине // *Журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. 2017. № 1. С. 30–41. EDN: YPTUYR

REFERENCES

1. Zudin AB, Chepin VO. Global Challenges for Russian Healthcare. *Byulleten' Natsional'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta obshchestvennogo zdorov'ya imeni N.A. Semashko*. 2016;(5):41–45. (In Russ). EDN: XWOKVJ

2. Boytsov SA, Demkina AE, Oshchepkova EV, Dolgusheva YuA. Progress and Problems of Practical Cardiology in Russia at the Present Stage. *Kardiologiya*. 2019;59(3):53–59. EDN: CJGCQF doi: 10.18087/cardio.2019.3.10242

3. Boytsov SA, Pogosova NV, Bubnova MG, et al. Cardiovascular prevention 2017. National Guidelines. *Russian Journal of Cardiology*. 2018;23(6):7–122. EDN: XSLTTF doi: 10.15829/1560-4071-2018-6-7-122

4. Balanova YuA, Shalnova SA, Imaeva AE, et al. Prevalence, Awareness, Treatment and Control of Hypertension in Russian Federation (Data of Observational ESSERF-2 Study). *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2019;15(4):450–466. EDN: ZRWESV doi: 10.20996/1819-6446-2019-15-4-450-466

5. Lebedev GS, Vladzimirsky AV, Shaderkin IA, Dudareva VP. Remote monitoring complex for chronic noncommunicable diseases. *Russian Journal of Telemedicine and E-Health*. 2020;8(1):7–14. EDN: NMFKNG doi: 10.29188/2712-9217-2022-8-1-7-14

6. Nikolaev VA. Innovative technologies for personalized medicine. *Forcipe*. 2019;2(S3):40–41. EDN: UEPRRX

7. Bautista LE. Predictors of persistence with antihypertensive therapy: Results from the NHANES. *Am J Hypertens*. 2008;21(2):183–188. doi: 10.1038/ajh.2007.33

8. Paramore LC, Halpern MT, Lapuerta P, et al. Impact of poorly controlled hypertension on health care resource utilization and cost. *Am J Manag Care*. 2001;7(4):89–98.

9. Varma N, Epstein AE, Irimpen A, et al. TRUST investigators. Efficacy and safety of automatic remote monitoring for implantable cardioverter-defibrillator follow-up: the lumos-t safely reduces routine office device follow-up (TRUST) Trial. *Circulation*. 2010;122(4):325–332. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.937409

10. Sana F, Isselbacher EM, Singh JP, et al. Wearable Devices for Ambulatory Cardiac Monitoring: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*. 2020;75(13):1582–1592. doi: 10.1016/j.jacc.2020.01.046
11. Cleland JGF, Louis AA, Rigby AS, et al. Noninvasive home telemonitoring for patients with heart failure at high risk of recurrent admission and death: the Trans-European Network-Home-Care Management System (TEN-HMS) study. *Journal of the American College of Cardiology*. 2005;45(10):1654–1664. doi: 10.1016/j.jacc.2005.01.050
12. Pyzhakov DS. Strengths and Opportunities. The concept of dynamic SWOT analysis. *Russian Journal of Entrepreneurship*. 2008;(6-1):133–138. (In Russ). EDN: JKONSZ
13. Lewington S, Clarke R, Qizilbash N, et al. Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality. *The Lancet*. 2003;361(9366):1391–1392. doi: 10.1016/S0140-6736(03)13061-9
14. Slimko ML, Mensah GA. The role of diets, food, and nutrients in the prevention and control of hypertension and prehypertension. *Clinical Cardiology*. 2010;4(28):665–674. doi: 10.1016/j.ccl.2010.08.001
15. Chazova IE, Oshchepkova EV. Results of the federal (national) project for prevention and treatment essential hypertension patients in Russia from 2002–2012 years. *Annals of the Russian academy of medical sciences*. 2013;68(2):4–11. EDN: PWEBNT doi: 10.15690/vramn.v68i2.542
16. McKoy J, Fitzner K, Margetts M, et al. Are telehealth technologies for hypertension care and self-management effective or simply risky and costly. *Popul Health Manag*. 2015;18(3):192–202. doi: 10.1089/pop.2014.0073
17. Fitzner K, Moss G. Telehealth—an effective delivery method for diabetes self-management education. *Popul Health Manag*. 2013;16(3):169–177. doi: 10.1089/pop.2012.0054
18. Flodgren G, Rachas A, Farmer AJ, Inzitari M, Shepperd S. Interactive telemedicine: effects on professional practice and health care outcomes. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;2015(9):CD002098. doi: 10.1002/14651858.CD002098.pub2
19. Piette JD, Marinec N, Gallegos-Cabriaes EC, et al. Spanish-speaking patients' engagement in interactive voice response (IVR) support calls for chronic disease self-management: data from three countries. *Telemed Telecare*. 2013;19(2):89–94. doi: 10.1177/1357633x13476234
20. Kaambwa B, Bryan S, Jowett S, et al. Telemonitoring and self-management in the control of hypertension (TASMINH2): a cost-effectiveness analysis. *Eur J Prev Cardiol*. 2014;21(12):1517–1530. doi: 10.1177/2047487313501886
21. Maciejewski ML, Bosworth HB, Olsen MK, et al. Do the benefits of participation in a hypertension self-management trial persist after patients resume usual care. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2014;7(2):269–275. doi: 10.1161/CIRCOUTCOMES.113.000309
22. Shaderkin IA, Shaderkina VA. Remote health monitoring: motivating patients. *Journal of Telemedicine and E-Health*. 2020;6(3):37–43. EDN: PBHHKX doi: 10.29188/2542-2413-2020-6-3-37-43
23. Wise J. Activity trackers, even with cash incentives, do not improve health. *BMJ*. 2016;355:i5392. doi: 10.1136/bmj.i5392
24. Jones MI, Greenfield SM, Bray EP, et al. Patients' experiences of self-monitoring blood pressure and self-titration of medication: the TASMINH2 trial qualitative study. *Br J Gen Pract*. 2012;65(595):e135–e142. doi: 10.3399/bjgp12X625201
25. Shaw RJ, Kaufman MA, Bosworth HB, et al. Organizational factors associated with readiness to implement and translate a primary care-based telemedicine behavioral program to improve blood pressure control: the HTN-IMPROVE study. *Implement Sci*. 2013;8. doi: 10.1186/1748-5908-8-106
26. AbuDagga A, Resnick HE, Alwan M. Impact of Blood Pressure Telemonitoring on Hypertension Outcomes: A Literature Review. *Telemedicine and eHealth*. 2010;16(7):830–838. doi: 10.1089/tmj.2010.0015
27. Chandak A, Joshi A. Self-management of hypertension using technology enabled interventions in primary care settings. *Technology and Health Care*. 2015;23(2):119–128. doi: 10.3233/thc-140886
28. McKinsty B, Hanley J, Lewis S. Telemonitoring in the management of high blood pressure. *Curr Pharm Des*. 2015;21(6):823–827. doi: 10.2174/1381612820666141024154232
29. Sivakumaran D, Earle K. Telemonitoring: use in the management of hypertension. *Vascular Health and Risk Management*. 2014;10:217–224. doi: 10.2147/vhrm.s36749
30. Kontsevaya AV, Komkov DS, Boytsov SA. The modeling as a technique of evaluation of expediency of remote monitoring of arterial tension at the regional level. *Health Care of the Russian Federation*. 2017;61(1):10–16. EDN: YF0KVP doi: 10.18821/0044-197X-2017-61-1-10-16
31. Ho K. Health-e-Apps: A project to encourage effective use of mobile health applications. *BCM J*. 2013;55(10):458–460.
32. Isaeva AV, Krasnova KS, Tagoev YuSh, et al. A study of the digital readiness of patients with chronic heart failure. *Russian Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 2023;26(3):101–108. EDN: DGKTAU doi: 10.17116/profmed202326031101
33. Baysangurov AF, Arutyunova NN, Baysangurova MM. Analysis of the demotivation factors that reduce the efficiency of employees. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2S):10–11. EDN: VEGEJF doi: 10.17816/DD83175
34. Davoudi A, Lee NS, Chivers C, et al. Patient interaction phenotypes with an automated remote hypertension monitoring program and their association with blood pressure control: observational study. *J Med Internet Res*. 2020;22(12):e22493. doi: 10.2196/22493
35. Vandenberk T, Lanssens D, Storms V, et al. Relationship Between Adherence to Remote Monitoring and Patient Characteristics: observational study in women with pregnancy-induced hypertension. *JMIR mHealth and uHealth*. 2019;7(8):e12574. doi: 10.2196/12574
36. Case MA, Burwick HA, Volpp KG, et al. Accuracy of smartphone applications and wearable devices for tracking physical activity data. *JAMA*. 2015;313(6):625–626. doi: 10.1001/jama.2014.17841
37. O'Kane MJ. Efficacy of self-monitoring of blood glucose in patients with newly diagnosed type 2 diabetes (ESMON study): randomised controlled trial. *BMJ*. 2008;336(7654):1174–1180. doi: 10.1136/bmj.39534.571644.BE
38. Walker RC, Tong A, Howard K, et al. Patient expectations and experiences of remote monitoring for chronic diseases: Systematic review and thematic synthesis of qualitative studies. *Int J Med Inform*. 2019;124:78–85. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2019.01.013
39. Mareev YuV, Zinchenko AO, Myasnikov RP, et al. Telemonitoring in patients with chronic heart failure. *Kardiologiya*. 2019;59(59):4–15. EDN: ISWIAY doi: 10.18087/cardio.n530
40. Omboni S, Ferrari R. The role of telemedicine in hypertension management: focus on blood pressure telemonitoring. *Curr Hypertens Rep*. 2015;17. doi: 10.1007/s11906-015-0535-3
41. Gazit T, Gutman M, Beatty AL. Assessment of hypertension control among adults participating in a mobile technology blood pressure self-management program. *JAMA Netw Open*. 2021;4(10):e2127008. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2021.27008

42. Komkov DS, Baturin DI, Kulikov AA, et al. The role of SMS-informing in the dispensary monitoring of patients with arterial hypertension. *Arterial'naya Gipertenziya*. 2015;21(S1):91. (In Russ). EDN: WEPXLT
43. Komkov DS, Goryachkin EA, Korsunsky DV, et al. Clinical effectiveness of various models of telemedicine technologies in patients with arterial hypertension. *Russian Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 2020;23(4):27–35. EDN: PMROKX doi: 10.17116/profmed20202304127
44. Melnyk SD, Zullig LL, McCant F, et al. Telemedicine cardiovascular risk reduction in veterans. *Am Heart J*. 2013;165(4):501–508. doi: 10.1016/j.ahj.2012.08.005
45. Kalinina AM, Gornyy BE, Dubovoy II, et al. The attitude of primary care physicians to the use of telemedicine technologies in dispensary observation of patients with chronic diseases (medical and sociological research). *Russian Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 2020;23(6):8–13. EDN: TIADWK doi: 10.17116/profmed2020230628
46. Wang V, Smith VA, Bosworth HB, et al. Economic evaluation of telephone self-management interventions for blood pressure control. *Am Heart J*. 2012;163(6):980–986. doi: 10.1016/j.ahj.2012.03.016
47. Cuspidi C, Facchetti R, Dell'Oro R, et al. Office and out-of-office blood pressure changes over a quarter of century: findings from the PAMELA Study. *Hypertension*. 2020;76(3):759–765. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.15434
48. Mancia G, Facchetti R, Bombelli M, et al. Long-term risk of mortality associated with selective and combined elevation in office, home, and ambulatory blood pressure. *Hypertension*. 2006;47(5):846–853. doi: 10.1161/01.HYP.0000215363.69793.bb
49. Stergiou GS, Salgami EV, Tzamouranis DG, Roussias LG. Masked hypertension assessed by ambulatory blood pressure versus home blood pressure monitoring: is it the same phenomenon. *Am J Hypertens*. 2005;18(6):772–778. doi: 10.1016/j.amjhyper.2005.01.003
50. Pickering TG. Self-monitoring of blood pressure. In: *Ambulatory Monitoring and Blood Pressure Variability (Part 1)*. London: Science Press; 1990.
51. Pickering T. Recommendations for the use of home (self) and ambulatory blood pressure monitoring. American Society of Hypertension Ad Hoc Panel. *Am J Hypertens*. 1996;9(1):1–11. doi: 10.1016/0895-7061(95)00341-x
52. Barochiner J, Posadas Martínez ML, Martínez R. Reproducibility of masked uncontrolled hypertension detected through home blood pressure monitoring. *J Clin Hypertens (Greenwich)*. 2019;21(7):877–883. doi: 10.1111/jch.13596
53. Myers MG. Reporting bias in self-measurement of blood pressure. *Blood Press Monit*. 2001;(6):181–183.
54. Miao H, Liu Y, Tsai TC, Schwartz J, Ji JS. Association between blood lead level and uncontrolled hypertension in the US population (NHANES 1999–2016). *J Am Heart Assoc*. 2020;9(13):e015533. doi: 10.1161/JAHA.119.015533
55. Jackson SL, Gillespie C, Shimbo D, Rakotz M, Wall HK. Blood Pressure Cuff Sizes for Adults in the United States: National Health and Nutrition Examination Survey, 2015–2020. *Am J Hypertens*. 2022;35(11):923–928. doi: 10.1093/ajh/hpac104
56. Cepeda M, Pham P, Shimbo D. Status of ambulatory blood pressure monitoring and home blood pressure monitoring for the diagnosis and management of hypertension in the US: an up-to-date review. *Hypertens Res*. 2023;46:620–629. doi: 10.1038/s41440-022-01137-2
57. Duan Y, Xie Z, Dong F, et al. Effectiveness of home blood pressure telemonitoring: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled studies. *Journal of Human Hypertension*. 2017;31:427–437. doi: 10.1038/jhh.2016.99
58. Bubnova MG, Tribuntseva LV, Ostroshko NI, et al. Impact of remote follow-up on the course of hypertension. *The Russian Journal of Preventive Medicine*. 2018;21(5):77–82. EDN: YPHTZJ doi: 10.17116/profmed20182105177
59. Schoenhagen P, Mehta N. Big data, smart computer systems, and doctor-patient relationship. *European Heart Journal*. 2017;38(7):508–510. doi: 10.1093/eurheartj/ehw217
60. Sharova DE, Zinchenko VV, Akhmad ES, et al. On the issue of ethical aspects of the artificial intelligence systems implementation in healthcare. *Digital Diagnostics*. 2021;2(3):356–368. EDN: TGZGZZ doi: 10.17816/DD77446
61. Kario K, Tomitani N, Kanegae H, et al. The further development of out-of-office BP monitoring: Japan's IMPACT Program Project's achievements, impact, and direction. *J Clin Hypertens (Greenwich)*. 2019;21(3):344–349. doi: 10.1111/jch.13495
62. Starodubtseva IA, Sharapova YuA. The Distance Monitoring of Blood Pressure as a Tool for Improving of the Quality of Follow-Up Observation of Patients with Arterial Hypertension. *The Russian Archives of Internal Medicine*. 2021;11(4):255–263. EDN: FTKKTE doi: 10.20514/2226-6704-2021-11-4-255-263
63. Karpov OE, Khramov AE. *Information Technology, Computing and Artificial Intelligence in Medicine*. Moscow: DPK Press; 2022. (In Russ).
64. Buldakova TI, Mikov DA, Sokolova AV. Data Security at Remote Monitoring of Human State. *Herald of the Bauman Moscow state technical university. Series Instrument engineering*. 2020;(4):42–57. EDN: QHBUUF doi: 10.18698/0236-3933-2020-4-42-57
65. Alessa T, Hawley MS, Hock ES, de Witte L. Smartphone apps to support self-management of hypertension: review and content analysis. *JMIR mHealth and uHealth*. 2019;7(5):e13645. doi: 10.2196/13645
66. Picone DS, Deshpande RA, Schultz MG, et al. Nonvalidated home blood pressure devices dominate the online marketplace in Australia. *Hypertension*. 2020;75(6):1593–1599. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.14719
67. Jalali MS, Russell B, Razak S, et al. EARS to cyber incidents in health care. *J Am Med Inform Assoc*. 2019;26(1):81–90. doi: 10.1093/jamia/ocy148
68. Vladzimirsky AV. Systematic review: the messengers «WhatsApp» and «Viber» in a clinical routine. *Zhurnal teleditsiny i elektronnoho zdravookhraneniya*. 2017;(1):30–41. EDN: YPTUYR

ОБ АВТОРАХ

* **Коробейникова Анна Николаевна**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 610008, г. Киров, ул. Советская, 93;
ORCID: 0000-0002-8934-7021;
eLibrary SPIN: 9728-9583;
e-mail: anna_best2004@mail.ru

Демкина Александра Евгеньевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-8004-9725;
eLibrary SPIN: 4657-5501;
e-mail: ademkina@bk.ru

Рогоза Анатолий Николаевич, д-р биол. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-4829-0954;
eLibrary SPIN: 9362-3496;
e-mail anrogoza@gmail.com

Владимирский Антон Вячеславович, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-2990-7736;
eLibrary SPIN: 3602-7120;
e-mail: a.vladzimirskiy@npcmr.ru

AUTHORS' INFO

* **Anna N. Korobeynikova**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 93 Sovetskaya street, 610008, Kirov, Russia;
ORCID: 0000-0002-8934-7021;
eLibrary SPIN: 9728-9583;
e-mail: anna_best2004@mail.ru

Alexandra E. Demkina, MD, Cand. Sci (Medicine);
ORCID: 0000-0001-8004-9725;
eLibrary SPIN: 4657-5501;
e-mail: ademkina@bk.ru

Anatoliy N. Rogoza, Dr. Sci. (Biology), Professor;
ORCID: 0000-0002-4829-0954;
eLibrary SPIN: 9362-3496;
e-mail anrogoza@gmail.com

Anton V. Vladzimirskyy, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-2990-7736;
eLibrary SPIN: 3602-7120;
e-mail: a.vladzimirskiy@npcmr.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623889>

Традиционные и инновационные методы визуализации при раке мочевого пузыря: технология выполнения и применение

F. Masino¹, L. Eusebi², G. Muscatella¹, M. Montatore¹, G. Sortino²,
W. Giannubilo³, G. Guglielmi^{1,4,5}

¹ Foggia University School of Medicine, Фоджа, Италия;

² Carlo Urbani Hospital, Ези, Италия;

³ Civitanova Marche Hospital, Чивитанова-Марке, Италия;

⁴ Dimiccoli Hospital, Барлетта, Италия;

⁵ IRCCS Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, San Giovanni Rotondo, Италия

АННОТАЦИЯ

В статье описаны современные методы визуализации при оценке рака мочевого пузыря с учётом традиционных технологий (ультразвуковое исследование, компьютерно-томографическая урография и магнитно-резонансная томография), а также новых технологий, таких как ультразвуковое исследование с контрастным усилением и двухэнергетическая компьютерная томография.

В начале статьи представлены общие данные об анатомии мочевого пузыря для понимания его нормального внешнего вида при визуализации, а также основные особенности рака мочевого пузыря с учётом эпидемиологии, клинической картины, классификации и лечения. Затем обсуждается роль каждого метода визуализации с объяснением техники выполнения процедуры и применения в оценке рака мочевого пузыря.

Визуализация играет важнейшую роль в выявлении и стадировании рака мочевого пузыря. В частности, в последнее время возрастает роль магнитно-резонансной томографии, которая, дополняя результаты компьютерно-томографической урографии и ультразвукового исследования, позволяет дифференцировать мышечно-инвазивный рак мочевого пузыря от немышечно-инвазивного с помощью системы отчётности и данных о визуализации (VI-RADS). Ультразвуковое исследование с контрастным усилением и двухэнергетическая компьютерная томография — новые методы визуализации, которые обладают особыми преимуществами и обеспечивают правильный подход к пациенту с онкологическими заболеваниями. В конце обзора представлены комбинированные методы визуализации, включающие позитронно-эмиссионную томографию, совмещённую с компьютерной или магнитно-резонансной томографией, которые также перспективны при стадировании рака мочевого пузыря.

Ключевые слова: новообразования мочевого пузыря; ультразвуковое исследование; мультипараметрическая магнитно-резонансная томография; диагностическая визуализация.

Как цитировать:

Masino F., Eusebi L., Muscatella G., Montatore M., Sortino G., Giannubilo W., Guglielmi G. Традиционные и инновационные методы визуализации при раке мочевого пузыря: технология выполнения и применение // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 318–333. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623889>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623889>

Conventional and innovative imaging modalities in bladder cancer: Techniques and applications

Federica Masino¹, Laura Eusebi², Gianmichele Muscatella¹, Manuela Montatore¹, Giuseppe Sortino³, Willy Giannubilo⁴, Giuseppe Guglielmi^{1,5,6}

¹ Department of Clinical and Experimental Medicine, Foggia University School of Medicine, Foggia, Italy;

² Radiology Unit, Carlo Urbani Hospital, Jesi, Italy;

³ Urology Unit, Carlo Urbani Hospital, Jesi, Italy;

⁴ Urology Unit, Civitanova Marche Hospital, Civitanova Marche, Italy;

⁵ Radiology Unit, Dimiccoli Hospital, Barletta, Italy;

⁶ Radiology Unit, IRCCS Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, San Giovanni Rotondo, Italy

ABSTRACT

This narrative review describes the current status of imaging in the evaluation of bladder cancer, considering conventional technologies such as ultrasonography, computed tomography urography, and magnetic resonance imaging, as well as novel technologies such as contrast-enhanced ultrasonography and dual-energy computed tomography.

The article is organized by first presenting an introduction on both the anatomy of the bladder (to understand its normal appearance on imaging) and the main features of bladder cancer with reference to epidemiology, clinical picture, classification, and treatment. Subsequently, the role of imaging is discussed, with an explanation of the technique and applications in bladder cancer assessment for each modality.

Imaging plays a critical role in the detection and staging of bladder cancer. In particular, the role of magnetic resonance imaging is expanding because it enables differentiating muscle-invasive bladder cancer from non-muscle-invasive bladder cancer using the Vesical Imaging-Reporting and Data System (VI-RADS), along with conventional technologies, such as computed tomography urography and ultrasonography. Contrast-enhanced ultrasound and dual-energy computed tomography are new imaging modalities that offer special advantages and provide the right approach to patients with oncological conditions. This review ends with the presentation of integrated imaging modalities such as positron emission tomography combined with computed tomography or magnetic resonance imaging, which are promising methods for bladder cancer staging.

Keywords: urinary bladder neoplasms; ultrasonography; multiparametric magnetic resonance imaging; diagnostic imaging.

To cite this article:

Masino F, Eusebi L, Muscatella G, Montatore M, Sortino G, Giannubilo W, Guglielmi G. Conventional and innovative imaging modalities in bladder cancer: Techniques and applications. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):318–333. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623889>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623889>

膀胱癌的传统和创新成像技术：技术与应用

Federica Masino¹, Laura Eusebi², Gianmichele Muscatella¹, Manuela Montatore¹,
Giuseppe Sortino³, Willy Giannubilo⁴, Giuseppe Guglielmi^{1,5,6}

¹ Department of Clinical and Experimental Medicine, Foggia University School of Medicine, Foggia, Italy;

² Radiology Unit, Carlo Urbani Hospital, Jesi, Italy;

³ Urology Unit, Carlo Urbani Hospital, Jesi, Italy;

⁴ Urology Unit, Civitanova Marche Hospital, Civitanova Marche, Italy;

⁵ Radiology Unit, Dimiccoli Hospital, Barletta, Italy;

⁶ Radiology Unit, IRCCS Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, San Giovanni Rotondo, Italy

摘要

这篇叙述性综述旨在描述成像技术在膀胱癌评估中的现状，其中考虑到了超声检查 (US)、计算机断层扫描尿路造影 (CTU) 和磁共振成像 (MRI) 等传统技术，以及对比增强超声检查 (CEUS) 和双能量计算机断层扫描 (DECT) 等新型技术。文章首先介绍了膀胱的解剖结构，以了解正常的影像学表现，并结合流行病学、临床、分类和治疗介绍了膀胱癌的主要特征。随后，文章讨论了成像技术的作用，并解释了每种成像方式在膀胱癌评估中的技术和应用。影像学在膀胱癌的检测和分期中起着至关重要的作用。尤其是磁共振成像的作用正在不断扩大，因为它能利用膀胱成像报告和数据系统 (VI-RADS) 以及 CTU 和 US 等传统技术区分肌层浸润性膀胱癌和非肌层浸润性膀胱癌。为确保对肿瘤患者采取正确的治疗方法，CEUS 和 DECT 代表了具有特殊优势的新兴模式。本综述最后介绍了正电子发射断层扫描 (PET)/CT 和 PET/MRI 等综合成像模式，它们是膀胱癌分期的理想方法。

关键词：膀胱肿瘤；超声检查；多参数磁共振成像；诊断成像。

引用本文：

Masino F, Eusebi L, Muscatella G, Montatore M, Sortino G, Giannubilo W, Guglielmi G. 膀胱癌的传统和创新成像技术：技术与应用. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):318–333. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623889>

收到: 27.11.2023

接受: 06.02.2024

发布日期: 19.07.2024

АНАТОМИЯ МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ

Мочевой пузырь — расположенный в малом тазу полый мышечный орган, который служит резервуаром для мочи и обеспечивает её отток. Этот легко деформируемый орган находится в полости таза, позади лобкового симфиза, под париетальной брюшиной. Размер и форма мочевого пузыря меняются в зависимости от количества мочи, которое он вмещает (общий объём до 500 мл), и давления, оказываемого другими органами. В частности, в наполненном состоянии мочевой пузырь приобретает круглую или овальную форму [1].

Анатомическое строение мочевого пузыря сложное. Макроскопически он делится на четыре части: верхушку или купол (обращённые вперёд и вверх), тело, дно и шейку (расположенную ниже). Дно мочевого пузыря имеет три отверстия, образуя тригон. Два отверстия принадлежат мочеточникам, которые в косом направлении проходят через стенки мочевого пузыря. Третье отверстие — уретральное — расположено у шейки мочевого пузыря, точно у нижнего угла тригона. Через него моча выводится из мочевого пузыря [2, 3].

Микроскопически мочевой пузырь имеет слоистую структуру, подобную мочеточникам. Внутренняя выстилка состоит из переходного эпителия, известного как уротелий, образованного несколькими слоями клеток. В расслабленном состоянии толщина уротелия составляет 5–7 слоёв клеток, однако он может растягиваться, чтобы вместить больший объём мочи. Под уротелием располагается собственная пластинка или подслизистая оболочка, которая представляет собой подэпителиальную соединительную ткань, содержащую мышечные волокна с различным расположением. Далее следует мышечный слой, который состоит из детрузора (мышцы, включающей внутренний продольный, средний циркулярный и наружный продольный слои). Эта гладкая мышца отвечает за сокращение и выведение мочи из мочевого пузыря. Стенки мочевого пузыря покрыты серозой — тонким соединительнотканым слоем, который сообщается с брюшинным пространством и содержит кровеносные сосуды. В местах, где нет серозы, мочевой пузырь покрывает адвентиция — слой рыхлой соединительной ткани [4, 5].

РАК МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ

Рак мочевого пузыря (РМП) — агрессивная злокачественная опухоль, распространённая во всём мире, вторичная по отношению к раку предстательной железы и рассматриваемая как опухоль мочеполовой системы [6]. Международное агентство по изучению рака документально подтвердило, что с РМП связаны следующие факторы риска: табакокурение, определённые профессиональные воздействия (такие, как производство алюминия и резины, малярные работы, пожаротушение), воздействие различных красителей (например, фуксина

и аурамина) или промежуточных продуктов для красителей (например, 4-аминобифенила). На развитие РМП влияют и факторы окружающей среды, включая рентгеновское излучение, гамма-излучение и мышьяк, а также специфические лекарства (циклофосфамид), употребление опиия, а также инфекция, вызываемая трематодами рода *Schistosoma*. Другие факторы риска, в частности, элементы рациона питания, нарушения кишечной флоры, взаимодействие «ген–среда», воздействие выхлопных газов дизельных двигателей и лучевая терапия тазовых органов, также связаны с развитием РМП [7].

Наиболее частый признак РМП — бессимптомная макро- или микрогематурия, известная как «безболевая гематурия», которая встречается примерно у 85% пациентов. Чтобы определить происхождение кровотечения, гематурия должна быть тщательно охарактеризована как начальная, конечная и полная [8]. Другие частые симптомы РМП связаны с раздражительностью мочевого пузыря (частота мочеиспускания, urgenность и дизурия). При обструкции мочеточника появляется боль в боку. Менее распространённые симптомы — отёк нижних конечностей и пальпируемые образования в области таза. В запущенных случаях у пациентов наблюдается потеря массы тела и боли в животе или костях из-за отдалённых метастазов [9, 10].

Уротелиальная карцинома (УК) — наиболее распространённый подтип РМП, за которым следуют плоскоклеточная карцинома, саркома, лимфома и аденокарцинома. Две трети всех случаев составляют немышечно-инвазивный РМП, одна треть — мышечно-инвазивные РМП, которые связаны с повышенным риском метастазирования и значительно худшим прогнозом [7]. Морфология РМП может меняться в зависимости от роста и прогрессии опухоли. Например, горизонтальный рост характерен для карциномы *in situ* (CIS), тогда как экзофитные полипоидные образования или сидячие инфильтративные поражения типичны для инвазивных форм [6, 8].

РМП стадируется по стандартной системе классификации злокачественных опухолей TNM. Как и в случае с другими полыми органами, символом T фиксируется глубина инвазии слоёв мочевого пузыря. В частности, pT_a относится к папиллярной карциноме (тип немышечно-инвазивного РМП), которая проявляется в виде экзофитного массового поражения, pT_{is} — к плоскому CIS (немышечно-инвазивный РМП). На стадии T₁ опухоль поражает собственную пластинку и обычно лечится трансуретральной резекцией и адъювантной внутривезикулярной химиотерапией. На стадии T₂ опухоль проникает в мышцу детрузора (тип мышечно-инвазивного РМП), на стадии T₃ — в перивезикальную жировую клетчатку, на стадии T₄ поражает окружающие органы. Опухоли стадии T₂ и выше требуют более агрессивного лечения, например, радикальной цистэктомии [11].

Символом N обозначается поражение лимфатических узлов. На стадиях N₁ и N₂ наблюдается вовлечение

одного или нескольких узлов в малом тазу соответственно. На стадии N3 метастазы достигают общего подвздошного лимфатического узла.

Стадия M1 указывает на наличие метастазов: отсутствие поражения регионарных лимфатических узлов (M1a) и наличие других отдалённых метастазов (M1b) [5, 12].

МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Методы визуализации, включая ультразвуковое исследование (УЗИ), компьютерно-томографическую урографию (КТУ) и магнитно-резонансную томографию (МРТ), играют важную роль в диагностике и стадировании РМП. Эти методы имеют решающее значение для выявления РМП и дифференциации между опухолями T1 и T2, поскольку тактика лечения пациентов на этих двух стадиях значительно различается [13].

Чувствительность обнаружения РМП увеличивается от УЗИ к КТУ, достигая очень высокого показателя при МРТ. Последний метод находит всё более широкое применение, поскольку он необходим для дифференциации между немышечно-инвазивным и мышечно-инвазивным РМП.

Согласно международным рекомендациям, первым шагом в диагностике подозрительной опухоли, как и в случае безболевого гематурии, должно быть УЗИ, не исключая физикального обследования, а для постановки окончательного диагноза требуется цистоскопия и последующая биопсия [8].

Радионуклидная диагностика, включая позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ), совмещённую с компьютерной (ПЭТ/КТ) и магнитно-резонансной (ПЭТ/МРТ) томографией, также перспективна при стадировании РМП, особенно при выявлении поражённых лимфатических узлов и отдалённых метастазов. Гибридные методы визуализации обладают большей точностью, чем традиционная КТ.

Данный обзор также включает такие методы визуализации, как двухэнергетическая компьютерная томография (ДЭКТ) и ультразвуковое исследование с контрастным усилением (УЗИ+КУ), которые не включаются в протокол стандартного обследования, но могут быть полезны в определённых случаях.

Ультразвуковое исследование

Техника выполнения

Перед исследованием пациент должен выпить 300–500 мл воды, что обеспечит адекватное растяжение и наполнение мочевого пузыря. При недостаточном растяжении оценка состояния стенок мочевого пузыря будет затруднена, поскольку их утолщение или очаговое образование могут быть переоценены, а чрезмерное растяжение, напротив, может вызвать дискомфорт у пациента и снизить уровень сотрудничества между пациентом и врачом.

Чаще всего выполняется трансабдоминальное УЗИ, о котором и пойдёт речь в данном обзоре. У женщин

для улучшения пространственного разрешения при необходимости выполняется трансвагинальное УЗИ, у мужчин при ограниченности трансабдоминального подхода — трансректальное УЗИ. Исследование проводится в положении пациента лёжа на спине, при необходимости — в положении лёжа на боку.

УЗИ рекомендуется проводить выпуклым датчиком (4,5–6 МГц) и предварительно настроить его на исследование брюшной полости/почек. Для правильной оценки органа датчик должен располагаться чуть выше лобкового симфиза и под углом в каудальном направлении. Сканирование должно проводиться в двух ортогональных плоскостях, в косой проекции. Таким образом, во время исследования мочевого пузыря всегда будет находиться в центре поля зрения.

Стенка мочевого пузыря выглядит слоистой, с гипэхогенной мышцей между двумя гиперэхогенными слоями, соответствующими серозе и слизистой оболочке. Боковые и задние стенки хорошо визуализируются на УЗИ, а на переднюю стенку влияют реверберационные явления, которые можно регулировать с помощью компенсации усиления по времени. Для выборочного исследования передней стенки и купола мочевого пузыря можно использовать высокочастотный линейный датчик (>7,5 МГц). Для оценки мочеточникового выброса (нормальный и периодический отток мочи из мочеточника в мочевой пузырь) необходимо провести цветную доплерографию тригона со стороны задней стенки, чтобы исключить полную обструкцию мочеточника.

УЗИ позволяет оценить ёмкость мочевого пузыря и объём остаточной мочи. Объём мочи оценивается путём снятия трёх измерений в двух ортогональных плоскостях и применения автоматизированной формулы, включающей поправочный коэффициент (k), который учитывает сложную форму мочевого пузыря [11, 14].

Применение

На результативность трансабдоминального УЗИ влияют различные факторы, включая степень наполнения пузыря, телосложение пациента, размер и распространение опухоли, а также предшествующее лечение (радиотерапевтическое, химиотерапевтическое или хирургическое) [13]. Чувствительность УЗИ составляет 63%, но может снижаться при гипертрофии простаты, часто указывая на неровность стенок дна мочевого пузыря. И напротив, чувствительность может увеличиваться по сравнению с цистоскопией в случае локализации опухоли в дивертикуле, поскольку оценка узкой шейки мочевого пузыря при цистоскопии затруднительна [14].

Как правило, РМП легко обнаруживается в случае локализации на боковых и задних стенках мочевого пузыря. Так, зачастую УК локализуется на задних стенках и имеет большие размеры, что является наиболее важным фактором, влияющим на диагностическую чувствительность УЗИ. Опухоли могут быть обнаружены только в том случае, если их максимальный диаметр составляет

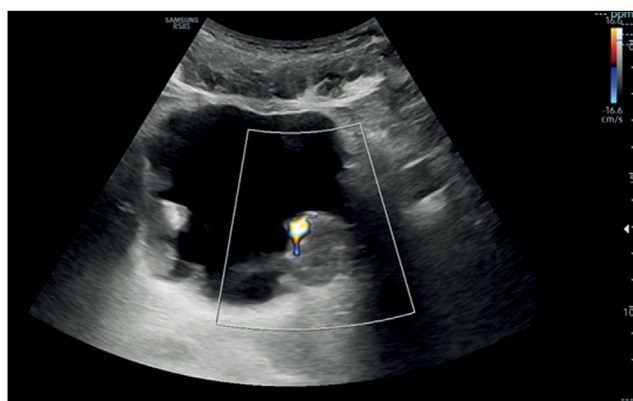


Рис. 1. Ультразвуковое изображение мочевого пузыря в поперечном срезе показывает диффузное неравномерное утолщение стенки с множественными образованиями и эндолуминальным развитием. Цветная доплерография самого крупного экзогенного образования, локализованного на задней стенке мочевого пузыря слева, выявила васкуляризацию внутри опухоли.

более 5 мм. Опухоль большего размера часто ассоциируется с другими признаками, такими как ригидность стенок и асимметричное растяжение мочевого пузыря. Место возникновения опухоли — менее важный фактор, влияющий на чувствительность, хотя некоторые области (купол, передняя стенка и дно мочевого пузыря) сложнее оценить по техническим причинам [11].

Образования в мочевом пузыре обычно экзогенны, имеют неправильную форму, например, напоминающую цветную капусту, и обнаруживаются либо на стенке мочевого пузыря, либо в участках стенок с неравномерно увеличенной толщиной. Однако при УЗИ признаки РМП могут отличаться в зависимости от морфологии опухоли и проявляться как папиллярные, инфильтрирующие или инвазивные, либо иметь смешанные признаки папиллярных и инфильтрирующих образований. Папиллярные формы выглядят как небольшие экзогенные образования, исходящие из стенки мочевого пузыря и выступающие в его просвет, которые легко обнаруживаются при размере более 2–3 мм. И наоборот, если опухоль является поверхностной карциномой, её можно распознать только по утолщению мягких тканей стенки, которая имеет нормальную экоструктуру без признаков инвазии. Инфильтрирующие опухоли имеют типичные мелкие папиллярные элементы. Они отличаются гипзоэкгенностью, в отличие от экзогенных стенок пузыря и перивезикальной жировой клетчатки [11, 13, 14].

При обнаружении очагового образования на ультразвуковом изображении необходимо проверить наличие дополнительных поражений, поскольку одна треть опухолей, как правило, мультифокальна. Кроме того, необходимо провести дополнительную оценку с помощью доплерографии, которая помогает выявить внутренние сосуды с выраженным сигналом кровотока или звёздчатой морфологией и дифференцировать потенциальную опухоль от тромба. Последний вариант можно исключить, попросив пациента изменить положение с лежащего

на боковое, чтобы оценить подвижность поражения, характерную для тромба, или провести орошение мочевого пузыря и затем повторить УЗИ [11] (рис. 1).

Ультразвуковое исследование с контрастным усилением

Техника выполнения

УЗИ+КУ — новая технология, которая объективно отображает перфузию тканей с помощью ультразвукового контрастного вещества (УКВ). При обычном УЗИ мочевой пузырь должен быть умеренно растянут. Изначально перед проведением УЗИ+КУ необходимо провести полное базовое УЗИ. Наиболее часто используемое УКВ — гексафторид серы (SonoVue; Bracco, Италия), который представляет собой трассирующее вещество, не выходящее за пределы кровеносного сосуда, и может использоваться для динамической визуализации перфузии микроциркуляции крови в режиме реального времени. Это вещество вводится внутривенно в объёме 2,4 мл с помощью периферической канюли 21-G, после чего вводится около 5 мл физиологического раствора. УКВ остаётся в крови в течение периода, достаточного для достижения целевого органа и обеспечения адекватной интерпретации артериальной и венозной фаз. Исследование проводится в базальном В-режиме с низким механическим индексом, чтобы снизить частоту разрыва микропузырьков.

Нормально растянутый мочевой пузырь имеет тонкую стенку около 2 мм, с незначительным сигналом кругового диастолизма, и практически незаметен в начальной фазе введения контрастного вещества. Усиление сигнала происходит постепенно примерно в течение 2 мин [15].

Применение

В основе УЗИ+КУ лежит биологический принцип, согласно которому опухоли характеризуются выраженной неоваскуляризацией, что приводит к изменению времени вымывания и введения контрастного вещества по сравнению с неопухолевыми состояниями. Ключевое преимущество УЗИ+КУ — возможность проведения исследования в режиме реального времени. В отличие от КТ или МРТ, где необходимо точно определять оптимальное время получения изображения для лучшей дифференциации опухолей от окружающей стенки мочевого пузыря, при УЗИ+КУ нет такой необходимости, поскольку картина усиления может варьировать у разных пациентов из-за таких факторов, как состояние сердечно-сосудистой системы или степень микровакуляризации при РМП. С помощью УЗИ+КУ можно непрерывно проводить динамическую оценку усиления в режиме реального времени.

Более того, длительное контрастное усиление при РМП позволяет всесторонне исследовать стенки мочевого пузыря с помощью всего одной дозы УКВ, что делает его полезным для выявления множественных очагов при мультицентрическом раке. При артериальной неоваскуляризации, являющейся общей особенностью РМП, усиление сигнала в папиллярных и сидячих опухолях

или небольших очаговых утолщениях становится заметным сразу. Этот процесс аналогичен тому, который наблюдается в артериальной фазе уротомографии. Усиление сигнала, как правило, происходит равномерно, за исключением более обширных, высокозлокачественных инвазивных опухолей. В таких случаях усиление сигнала может быть неоднородным, особенно в некротических участках опухоли [16].

После быстрой артериальной фазы и накопления УКВ происходит медленное его вымывание в большинстве опухолей, хотя в венозную фазу этот процесс может варьировать в зависимости от размера опухоли и клеточной дифференцировки. УЗИ+КУ полезно для дифференциальной диагностики, позволяя отличить неопластические образования от других патологий стенки мочевого пузыря, которые могут имитировать опухоли. Это могут быть внутрипузырные сгустки, адгезивный литиаз, доброкачественное утолщение, связанное с гипертрофией предстательной железы, или утолщение стенки мочевого пузыря, вызванное воспалительными процессами. Усиление контраста в очаговом поражении или лимфатических узлах указывает на неоплазию.

Диагностика РМП с помощью УЗИ+КУ основана на выявлении участков очагового утолщения стенок мочевого пузыря или объёмных образований, выступающих в его просвет. Использование контрастного вещества при УЗИ повышает эффективность выявления РМП, особенно в тех случаях, когда традиционное УЗИ может быть недостаточно результативным из-за таких факторов, как недостаточное растяжение мочевого пузыря, операции на мочевом пузыре в анамнезе, ожирение или наличие внутрипузырного катетера.

Глубина поражения стенок мочевого пузыря, гистологическая степень злокачественности и распространение опухоли за пределы мочевого пузыря — основные факторы, определяющие прогноз и тактику лечения РМП. Хотя МРТ и КТ являются предпочтительными методами визуализации для локального стадирования, УЗИ+КУ может помочь в оценке поражения стенок мочевого пузыря путём изучения картины контрастного усиления в этой области. Этот метод позволяет отличить неинвазивную УК от инфильтрирующей карциномы на основании наличия или отсутствия гипоехогенного слоя и картины усиления после артериальной фазы [15].

Злокачественные опухоли мочевого пузыря отличаются от доброкачественных по характеру усиления контраста, что делает УЗИ+КУ ценным инструментом для их дифференциации и повышения точности диагностики. УЗИ+КУ позволяет в режиме реального времени наблюдать кровотоки в опухолях мочевого пузыря. Однако по сравнению с КТ и МРТ его польза в стадировании инфильтрирующих карцином ограничена, поскольку этот метод не позволяет оценить инфильтрацию перивезикальной жировой клетчатки и забрюшинных лимфатических узлов (рис. 2) [16].

Компьютерно-томографическая урография

Техника выполнения

КТУ — КТ-исследование мочевыводящих путей, которое представляет собой нативное сканирование. После внутривенного введения контрастного вещества проводится многофазное сканирование с целью получения набора изображений, на которых видны полностью затенённая и расширенная внутрипочечная собирательная

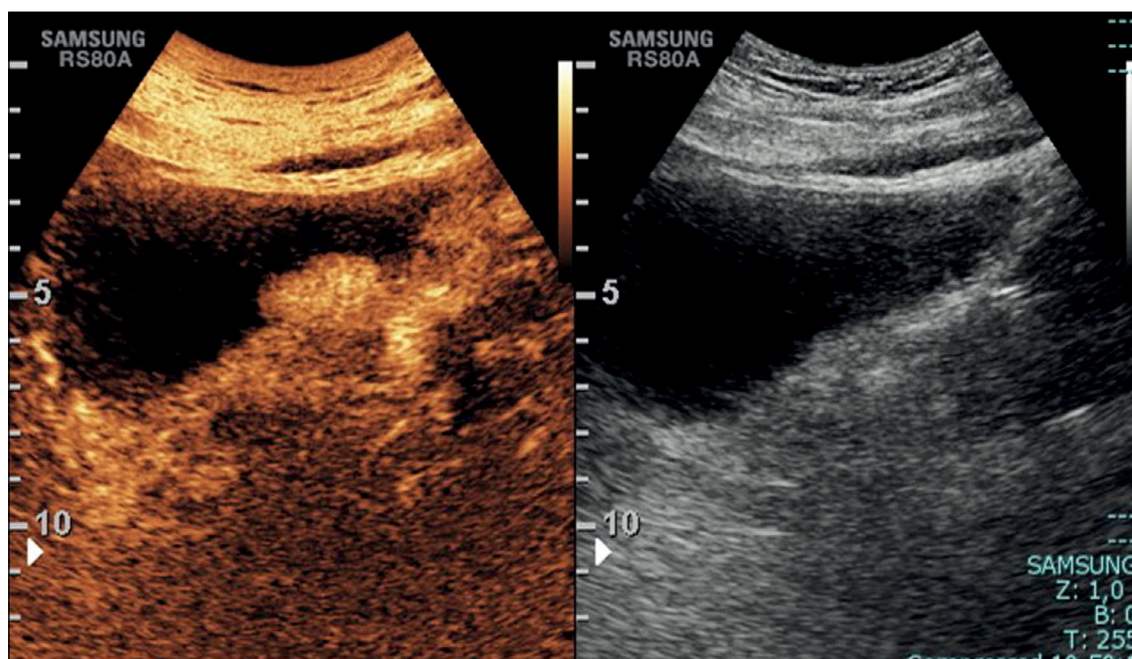


Рис. 2. Ультразвуковые изображения в сагиттальной проекции с контрастным усилением показывают объёмное образование в стенке мочевого пузыря слева, плохо определяемое в В-режиме, как видно на снимке с левой стороны.

система, мочеточники и мочевого пузыря [17]. Кроме того, протокол КТУ включает также нативное сканирование органов брюшной полости и таза. После внутривенного введения контрастного вещества различают следующие фазы усиления: кортико-медуллярная фаза наступает через 30–40 с после введения УКВ, что приводит к артериальной фазе, затем через 100 с наступает нефрографическая фаза, и через 8–12 мин — экскреторная фаза.

Однако основным ограничением многофазного протокола исследования является высокая лучевая нагрузка, составляющая от 25 до 35 мЗв. По этой причине молодым пациентам, в частности, предлагается раздельное болюсное введение контрастного вещества (сплит-болюс), который включает двухфазный протокол с неинтенсивным сканированием, за которым следуют две внутривенные инъекции контрастного вещества объёмом примерно 80 и 40 мл. После первого введения через 20 с выполняется кортико-медуллярное сканирование. После 8-минутной задержки вводится вторая порция УКВ, затем через 100 с выполняется сканирование для получения экскреторной фазы. Сканирование должно проводиться в краниокаудальном направлении, а расширение по оси Z должно начинаться от диафрагмального купола и достигать лобкового симфиза мочевого пузыря, особенно при сканировании без контрастного усиления и нефрографии, тогда как кортико-медуллярная фаза усиления может начинаться от верхнего полюса почки [18].

Оба протокола могут быть дополнены внутривенным введением 10 мг фуросемида за 2–3 мин до кортико-медуллярного сканирования, чтобы добиться адекватного растяжения верхних мочевых путей и мочевого пузыря. Недостаточно растянутый мочевой пузырь может выглядеть утолщённым, особенно по передней стенке, а в его просвете может наблюдаться неполное смешивание незатенённой мочи и контрастного вещества, что приведёт к повышению уровня контрастности мочи, поскольку её удельный вес выше, чем удельный вес контрастного вещества [17].

Применение

КТУ брюшной полости — наиболее часто используемый метод благодаря его многочисленным преимуществам, таким как широкая доступность, быстрое сканирование и создание мультипланарных трёхмерных реконструированных изображений с возможностью постпроцессинговой обработки. У пациентов с подозрением на РМП или с уже установленным диагнозом КТУ проводится для выявления и стадирования рака, а именно для оценки локорегионарного и отдалённого распространения опухоли.

Каждый этап протокола КТУ имеет свои преимущества. КТ без усиления используется для измерения базального ослабления сигнала в области опухоли, чтобы затем сравнить его с сигналом после контрастного усиления и определить наличие камней, кальцификатов, кровоизлияний и тромбов. Кортико-медуллярная фаза

используется для оценки предполагаемых сосудистых аномалий или артериального усиления. Нефрографическая фаза позволяет обнаружить и охарактеризовать почечные образования. Экскреторная фаза используется для оценки уротелия, поскольку при заполнении мочевого пузыря плотным контрастным веществом эндолуминальное поражение мягких тканей будет выглядеть как дефект заполнения [19].

РМП может проявляться как очаговое утолщение стенки мочевого пузыря или как образование, выступающее в просвет мочевого пузыря либо же распространяющееся на соседние ткани в запущенных случаях. Если растяжение мочевого пузыря недостаточное, необходимо исследовать асимметрию утолщения. Как правило, новообразования характеризуются ослаблением сигнала в мягких тканях и могут быть покрыты мелкими кальцификатами.

КТУ обладает наивысшей точностью. Так, при выявлении и стадировании РМП объединённая чувствительность составляет 92%, объединённая специфичность — 95%. Т-стадия не позволяет отличить немышечно-инвазивный РМП от мышечно-инвазивного, но позволяет различать опухоли Т3 и Т4. Стадия N свидетельствует о морфологии и размере лимфатических узлов. Подозрение на злокачественность возникает, если размер тазовых, брюшных и забрюшинных лимфатических узлов превышает 8–10 мм по короткой оси. Что касается морфологического критерия, то наличие сливающихся лимфатических узлов или узлов с некротическим центром считается явным признаком метастазирования. При исследовании лимфатических узлов для КТУ характерна как переоценка, так и недооценка серьёзности заболевания. Переоценка происходит примерно в 30% случаев при реактивных лимфаденопатиях, когда размер лимфатических узлов превышает 10 мм по короткой оси. Недооценка возможна в том случае, если лимфатические узлы злокачественны, но имеют размеры в пределах нормы. Что касается М-стадии, то РМП чаще всего метастазирует в тазовые и забрюшинные лимфоузлы. Наиболее частая локализация отдалённых метастазов при РМП — кости. Большинство поражений кости выглядят склеротическими, но могут быть также литическими или смешанными литико-склеротическими. В солидных органах метастазы обнаруживаются наиболее часто в печени и лёгких, другие органы поражаются гораздо реже [11].

После проведения диагностических процедур в случае выявления подозрительных образований, требующих дальнейшего обследования, может быть назначена эндоскопия + биопсия для подтверждения диагноза и определения количества, степени и локализации уротелиальных опухолей [18].

Двухэнергетическая компьютерная томография

Техника выполнения

ДЭКТ — это новая технология визуализации, в которой используются два типа рентгеновских лучей и две

рентгеновские трубки с разным напряжением (низкого и высокого энергетического уровня). Изображения ДЭКТ могут подвергаться вторичной реконструкции в процессе постобработки.

Учитывая цель исследования, а именно выявление РМП или его стадирование, наиболее полезными типами изображений будут виртуальные монохроматические (VMC) и виртуальные неконтрастные изображения (VNC), а также йодная и атомная карта.

VMC-изображения сходны по качеству с изображениями, получаемыми при обычной одноэнергетической КТ, однако позволяют получить более достоверные значения ослабления сигнала. Более низкое напряжение может повысить контрастность близлежащих структур благодаря высокому ослаблению сигнала при поглощении йодом. Следовательно, в таком случае легче распознать поражение париетальной области. При более высоком напряжении уменьшается чувствительность к шуму и артефактам от металлических конструкций. Сравнение двух различных режимов на основе VMC-изображений позволяет построить спектральную кривую ослабления сигнала, которая является функцией энергии. Последней приписываются свойства, которые полезны для улучшения характеристик поражения.

VNC-изображения — это бесконтрастные изображения, на которых подавляется поглощение йода, наблюдаемое на сканах, полученных после контрастирования. VNC-изображения также известны как изображения без йода. В этом случае степень облучения будет более низкой, поскольку пациент не подвергается предварительному сканированию.

Йодная карта — это материал-специфическое изображение, где отображаются все области с поглощением йода, в отличие от изображений с вычитанием йода. Это цветная карта, которая позволяет количественно оценить поглощение йода, выразив его в мг/мл. Более того, йодная карта позволяет отличить васкуляризированное поражение от неоваскуляризированного, исходя из количества йода, заполняющего аорту.

Оценка эффективных атомных чисел — это количественный метод дифференциации материалов и определения коэффициентов ослабления излучения в зависимости от его типа [3].

Применение

ДЭКТ помогает преодолеть основные недостатки КТ, такие как переоблучение ионизирующим излучением, характерное для пациентов с онкологическими заболеваниями, которые подвергаются многократным исследованиям и плотному наблюдению.

Кроме того, ДЭКТ позволяет лучше охарактеризовать очаг поражения благодаря постпроцессинговой обработке изображений.

VNC-снимки обеспечивают истинное бесконтрастное изображение, позволяя исключить наличие камней, кальцификатов и свежего кровотечения. Последнее

выглядит гиперденсивным при типичном базальном сканировании и при измерении референсного значения ослабления сигнала для последующих постконтрастных сканирований.

Спектральная кривая в случае утолщения стенки мочевого пузыря имеет тенденцию к увеличению от более низких значений напряжения.

VMC-изображения, полученные при низком напряжении, обеспечивают лучший контраст опухоли по сравнению с близлежащими структурами и обладают повышенной чувствительностью при обнаружении опухоли. Более того, при нормализации количественного содержания йода по отношению к аорте в нефрографической фазе этот тип изображения показывает повышенную специфичность при достижении порогового значения $\geq 3,0$ мг/мл и позволяет отличить васкуляризированное поражение от неоваскуляризированного с помощью следующей формулы: $|||$ нормализация = $|||$ очаг поражения/ $|||$ аорта [20, 21].

Преимущества ДЭКТ также касаются стадирования РМП, поскольку йодные карты позволяют быстрее обнаружить инфильтрацию стенки мочевого пузыря, в том числе мышечного слоя при дифференциации между немышечно-инвазивным и мышечно-инвазивным РМП, а также оценить поражение лимфатических узлов и наличие метастазов.

Применение этой технологии может иметь решающее значение при выборе тактики лечения, поскольку она позволяет лучше оценить взаимосвязь между опухолью и сосудистой структурой, при этом повышенный контраст, полученный с помощью VMC-изображений при более низком напряжении, является важным параметром (рис. 3 и рис. 4) [22].

Магнитно-резонансная томография

Техника выполнения

Для адекватного МРТ-обследования очень важна предварительная подготовка пациента. Мочевой пузырь должен быть умеренно растянут. Пациент должен помочиться и выпить 500 мл воды примерно за 2,5 часа до проведения МРТ.

Целенаправленное сканирование с помощью локализатора позволяет специалисту начать процедуру тогда, когда мочевой пузырь будет достаточно наполнен.

Как уже говорилось, растяжение мочевого пузыря имеет важное значение для оценки РМП. Стенка мочевого пузыря может казаться утолщенной, и недостаточное растяжение может привести к ошибочному диагнозу. И наоборот, чрезмерное растяжение может вызвать дискомфорт у пациентов, которые могут начать активно двигаться во время обнаружения артефактов или даже прервать исследование в случае невозможности удерживать большое количество мочи.

Как правило, само исследование проводится с использованием 1,5 Тл МРТ-сканера, пациент находится

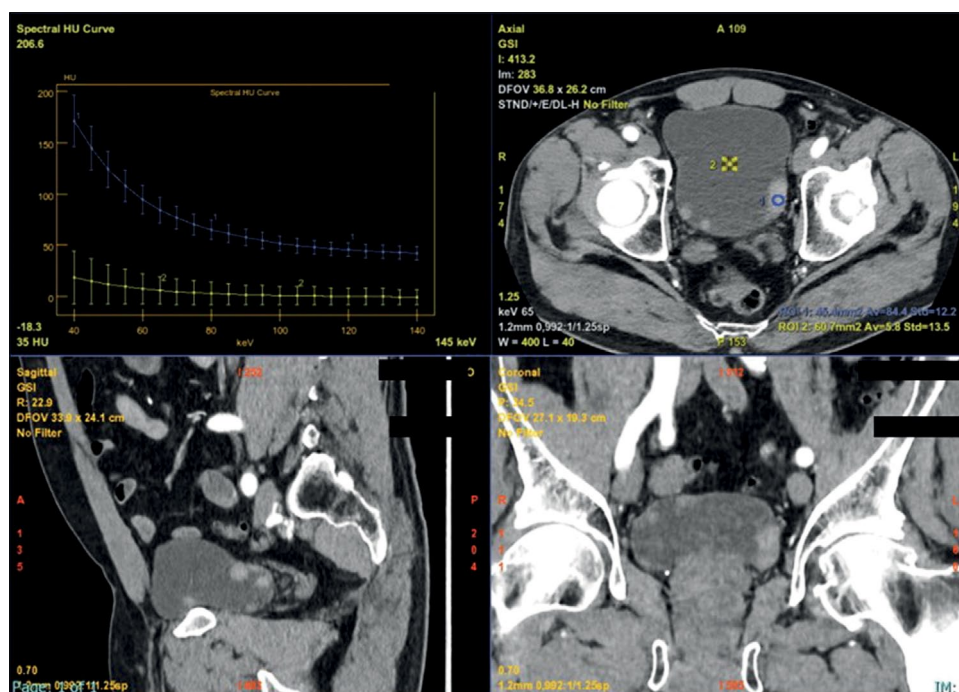


Рис. 3. Мультипланарные изображения йодной карты, показывающие различное ослабление сигнала в мультифокальных образованиях, основное из которых локализовано на левой задней стенке. Средние значения в очагах поражения отличаются от эндолюминальных значений. Спектральная кривая (вверху слева) позволила идентифицировать материалы, где каждый из них имеет свою кривую затухания.

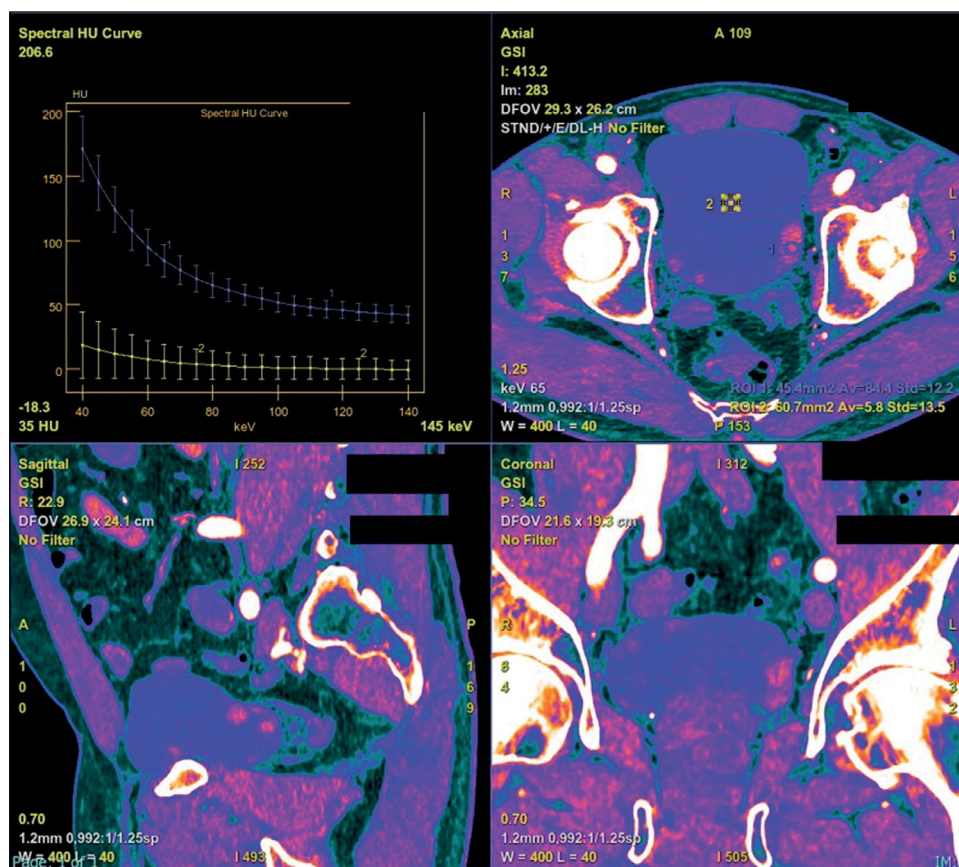


Рис. 4. Мультипланарные изображения цветной йодной карты, показывающие различное ослабление сигнала в мультифокальных образованиях, основное из которых локализовано на левой задней стенке. Средние значения в очагах поражения отличаются от эндолюминальных значений. Спектральная кривая (вверху слева) позволила идентифицировать материалы, где каждый из них имеет свою кривую затухания.

в положении лёжа. Для правильной оценки состояния мочевого пузыря применяются следующие последовательности:

- взвешенная по T1 (T1W) турбо спин-эхо в аксиальной плоскости;
- взвешенная по T2 (T2W) последовательность с высоким разрешением и узким полем зрения в аксиальной, сагиттальной или корональной плоскости и подавлением сигнала от жировой ткани;
- диффузионно-взвешенные изображения (DWI) и измеряемый коэффициент диффузии (ADC);
- МРТ с динамическим контрастированием, T1-W 3D градиентным эхо и трёхточечным методом Диксона.

У женщин изображения должны включать не только мочевой пузырь, но и матку, яичники и влагалище, а у мужчин — простату [5].

Применение

МРТ в основном применяется для локального стадирования опухоли при РМП, поскольку позволяет определить наличие или отсутствие мышечной инфильтрации, и, следовательно, провести дифференциацию между немышечно-инвазивным и мышечно-инвазивным РМП, а также стадиями T1 и T2.

Стенка мочевого пузыря имеет многослойную структуру, при этом уротелий и собственная пластинка визуализируются в виде гиперинтенсивной линии только после введения контрастного вещества в ранней фазе при МРТ с динамическим контрастированием. Мышечный слой выглядит как линия низкой интенсивности сигнала на T2-взвешенных изображениях, средней интенсивности на DWI-изображениях с коэффициентом ADC, а также линией с поздним и постепенным усилением сигнала при МРТ с динамическим контрастированием [5].

Система VI-RADS помогает стандартизировать подход к получению, интерпретации и представлению результатов МРТ у пациентов с диагнозом РМП в результате трансуретральной резекции мочевого пузыря. При оценке количество баллов варьирует от 1 до 5 и отражает возрастающий риск инвазии в мышцу детрузора [6]. Для более точной картины поражения используются последовательности T2W, DWI/ADC и DCE, каждая из которых оценивается в 1–5 баллов. T1-взвешенные изображения не представляют ценности для дифференциации между немышечно-инвазивным и мышечно-инвазивным РМП, поскольку в детрузоре наблюдается промежуточная интенсивность сигнала, что означает злокачественность процесса [23].

Вначале необходимо проанализировать структурные данные на T2W, оценив целостность мышечного слоя. Сигнал от мышечного слоя должен быть равномерно гипоинтенсивным в отличие от содержимого мочевого пузыря, которое даёт гиперинтенсивный сигнал. Затем необходимо оценить сигнал в последовательностях DWI/ADC и DCE. При опухолях сигнал будет гиперинтенсивным в режиме DWI и гипоинтенсивным на карте ADC, при этом наблюдается раннее усиление сигнала от внутреннего

слоя стенки мочевого пузыря. После получения информации по каждой последовательности различные комбинации баллов сравниваются и рассчитывается окончательная оценка по шкале VI-RADS.

Категория VI-RADS 1 присваивается при наличии прерывания линии интенсивного сигнала, соответствующего мышечному слою на T2W. Максимальный размер поражения (сидячего или вегетирующего) не должен превышать 1 см. VI-RADS 1 позволяет предположить наличие немышечно-инвазивного РМП. Категория VI-RADS 2 присваивается также при прерывании линии интенсивного сигнала, но при диаметре опухоли более 1 см. Поражение может быть связано с отёком, проявляться линией утолщения и быть связано с повышением вероятности опухолевой инвазии. VI-RADS 3 свидетельствует о подозрении на прорастание опухоли в мышечный слой: нет чёткого прерывания сигнала низкой интенсивности от мышечного слоя на T2W. Категория VI-RADS 4 присваивается при наличии инвазии в мышечную ткань, а VI-RADS 5 означает инвазию в мышечный слой с вовлечением перивезикальной жировой клетчатки.

В случае расхождений в результатах для понижения и повышения класса поражения используются карты DWI/ADC и DCE [5].

МРТ также имеет важное значение для оценки посттерапевтических изменений у пациентов с РМП. С помощью МРТ можно оценить состояние пациентов после неoadъювантной химиотерапии и иммунотерапии, которые являются революционными методами лечения РМП. После лечения состояние опухоли изучается с помощью последовательностей T2W, DWI/ADC и DCE. Кроме того, оценивается ответ на терапию, который может быть частичным, полным или вовсе отсутствовать. В этом контексте система VI-RADS показала многообещающие результаты [24].

В заключение следует отметить, что МРТ становится ведущим методом визуализации в диагностике РМП, оценке ответа на терапию и долгосрочном наблюдении. Кроме того, МРТ играет важную роль в планировании лечения при хирургическом вмешательстве и лучевой терапии. Тем не менее для определения степени злокачественности опухоли требуется проведение трансуретральной резекционной биопсии, которую МРТ заменить не может (рис. 5 и рис. 6).

Комбинированная гибридная радионуклидная визуализация

ПЭТ/КТ объединяет ПЭТ и КТ в единый метод визуализации. 2-фтор-18F-2-дезоксид-Д-глюкоза (ФДГ) — самый распространённый радиоактивный препарат в онкологии, поэтому ПЭТ/КТ с использованием ФДГ широко используется в клинической практике при многих видах рака [25, 26].

Являясь аналогом глюкозы, 18F-ФДГ попадает в опухолевые клетки через транспортёр GLUT и другие переносчики, где фосфорилируется затем гексокиназой, но не подвергается дальнейшему метаболизму, что приводит к внутриклеточному накоплению.

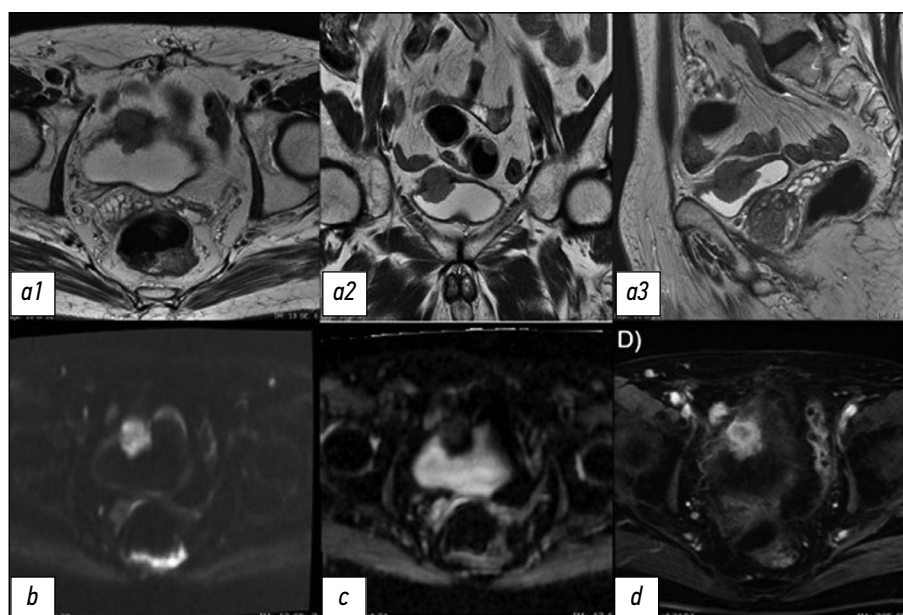


Рис. 5. Магнитно-резонансная томография мочевого пузыря: *a* — мультипланарные изображения в режиме T2W показывают образование на задней стенке мочевого пузыря слева, размером более 1 см, с промежуточным сигналом мышечного слоя (VI-RADS 4); *b* — последовательность DWI и карты ADC указывают на очаг поражения со значительно ограниченной диффузией и инвазией в мышечный слой, низкое значение коэффициента ADC $0,9 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$ указывает на злокачественность (VI-RADS 4); *c* — последовательность DCE демонстрирует раннее и неоднородное усиление сигнала от поражения с инвазией в мышечный слой (VI-RADS 4). Общая оценка по шкале VI-RADS составила четыре балла. Источник изображения: Eusebi Laura, Masino Federica, Gifuni Rossella, Fierro Davide, Michele Bertolotto, Cova Maria Assunta, Giuseppe Guglielmi. Role of Multiparametric-MRI in Bladder Cancer. Current Radiology Reports 11, 69–80 (2023). <https://doi.org/10.1007/s40134-023-00412-5>. Эта статья находится в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution (CC BY) 4.0. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

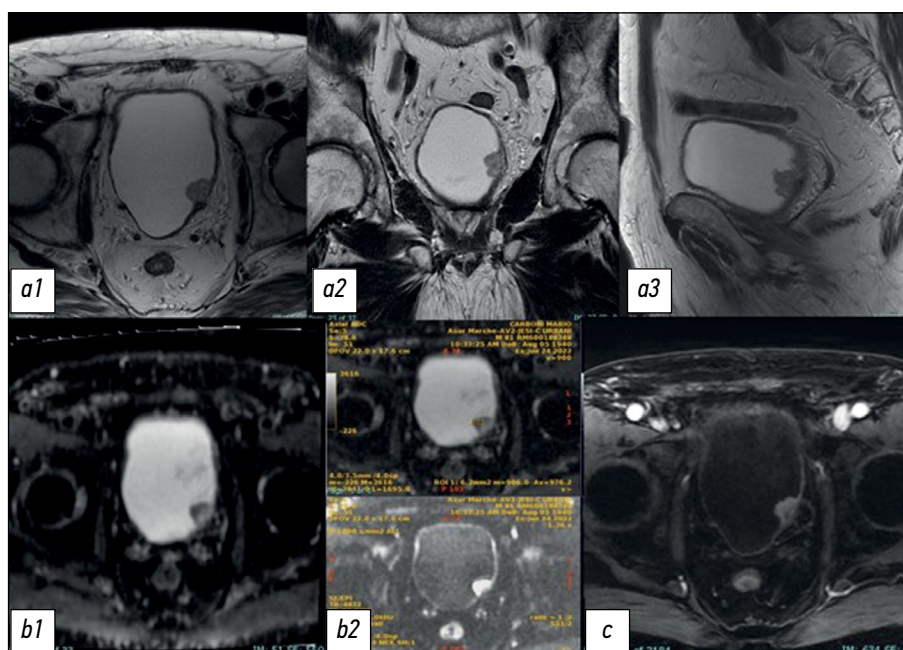


Рис. 6. Магнитно-резонансная томография мочевого пузыря: *a* — мультипланарные изображения в режиме T2W показывают образование размером более 1 см на латеральной стенке купола мочевого пузыря справа с промежуточным сигналом мышечного слоя и инвазией в перивезикальную жировую ткань (VI-RADS 5); *b* — в режиме DWI и на карте ADC визуализируется значительно ограниченное диффузное поражение с инвазией в мышечный слой и перивезикальную жировую ткань (VI-RADS 5); *c* — последовательность DCE демонстрирует раннее и неоднородное усиление сигнала от поражения с инвазией в мышечный слой и перивезикальную жировую ткань (VI-RADS 5). Общая оценка по шкале VI-RADS составила пять баллов. Источник изображения: Eusebi Laura, Masino Federica, Gifuni Rossella, Fierro Davide, Michele Bertolotto, Cova Maria Assunta, Giuseppe Guglielmi. Role of Multiparametric-MRI in Bladder Cancer. Current Radiology Reports 11, 69–80 (2023). <https://doi.org/10.1007/s40134-023-00412-5>. Эта статья находится в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution (CC BY) 4.0. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

ПЭТ/КТ обеспечивает высокочувствительное сканирование метаболической активности с точной анатомической локализацией опухоли [27].

В последние годы этот гибридный метод визуализации всё чаще используется для выявления рецидивов после радикальной цистэктомии у пациентов с РМП [25, 26].

Учитывая, что уротелиальные опухоли отличаются высоким поглощением ФДГ, выведение этого препарата с мочой может маскировать опухоли во всех отделах мочевыводящих путей, особенно в мочевом пузыре. В связи с этим было изучено и опробовано несколько способов снижения активности ФДГ в моче, в частности обильное поглощение воды, приём мочегонных средств и катетеризация. Однако катетеризация, включающая промывание и ретроградное наполнение мочевого пузыря, может повысить риск ятрогенной инфекции мочевыводящих путей и, соответственно, увеличить время госпитализации. Учитывая данное ограничение, оценку опухоли можно проводить с помощью динамических изображений в ранней фазе до выведения и накопления ФДГ в мочевом пузыре [25].

В настоящее время ПЭТ/КТ с использованием ФДГ не рекомендуется в качестве первоначального диагностического метода или первичного инструмента стадирования, поскольку предполагается, что эта технология не позволяет оценить степень инвазии в перивезикальную жировую ткань на микроскопическом уровне и поражение соседних органов. Тем не менее ПЭТ/КТ можно применять для оценки ответа на терапию, выявления остаточных или рецидивирующих явлений и дифференциации рубцовой ткани от активных опухолей [26].

ПЭТ/МРТ — это ещё один гибридный метод визуализации, сочетающий функциональную информацию, предоставляемую ПЭТ, и подробные анатомические изображения, получаемые с помощью МРТ. ПЭТ с использованием ФДГ в качестве трассера, позволяет выявить участки с повышенной метаболической активностью, что часто свидетельствует о наличии раковой ткани. МРТ в этом сочетании, напротив, обеспечивает высокую контрастность мягких тканей. Учитывая эти предпосылки, ПЭТ/МРТ может преодолеть внутреннее ограничение ПЭТ/КТ в оценке локальной распространённости опухоли, поскольку качественные МРТ-изображения позволяют оценить поражение перивезикальной жировой клетчатки и мышечного слоя [28]. Тем не менее чувствительность ПЭТ/МРТ в диагностике ранних стадий РМП остаётся крайне низкой из-за особенностей почечной экскреции ФДГ.

Следовательно, небольшие очаги в стенке мочевого пузыря могут остаться незамеченными [29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Визуализация имеет решающее значение для оценки РМП, особенно при выявлении и стадировании раковых опухолей. Традиционные ультразвуковые технологии, в частности КТУ, в настоящее время дополняются результатами МРТ. В свою очередь, МРТ приобретает всё большую популярность, поскольку позволяет дифференцировать немышечно-инвазивный РМП от мышечно-инвазивного по шкале VI-RADS. Комбинированные методы визуализации, такие как ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ, также являются перспективными инструментами стадирования РМП. Новые методы визуализации, такие как УЗИ+КУ и ДЭКТ, не входят в типичный протокол диагностики и стадирования, но находят применение при определённых состояниях и могут предоставить полезную информацию как клиницистам, так и радиологам, гарантируя правильный подход к пациентам с онкологическими заболеваниями, с прицелом на всё более персонализированную медицину в будущем.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hill W.G. Control of Urinary Drainage and Voiding // Clin J Am Soc Nephrol. 2015. Vol. 10, N 3. P. 480–492. doi: 10.2215/CJN.04520413
2. Glasscock R.J., Rule A.D. Aging and the Kidneys: Anatomy, Physiology and Consequences for Defining Chronic

Kidney Disease // Nephron. 2016. Vol. 134, N 1. P. 25–29. doi: 10.1159/000445450

3. Montatore M., Muscatella G., Eusebi L., et al. Current Status on New Technique and Protocol in Urinary Stone

- Disease // *Curr Radiol Rep.* 2023. Vol. 11, N 12. P. 1–16. doi: 10.1007/s40134-023-00420-5
4. Sam P., Nasserredin A., LaGrange C.A. Anatomy, Abdomen and Pelvis: Bladder Detrusor Muscle. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2023.
 5. Eusebi L., Masino F., Gifuni R., et al. Role of Multiparametric-MRI in Bladder Cancer // *Curr Radiol Rep.* 2023. Vol. 11, N 5. P. 69–80. doi: 10.1007/s40134-023-00412-5
 6. Nicola R., Pecoraro M., Lucciola S., et al. VI-RADS score system — A primer for urologists // *Int Braz J Urol.* 2022. Vol. 48, N 4. P. 609–622. doi: 10.1590/s1677-5538.ibju.2021.0560
 7. Jubber I., Ong S., Bukavina L., et al. Epidemiology of Bladder Cancer in 2023: A Systematic Review of Risk Factors // *Eur Urol.* 2023. Vol. 84, N 2. P. 176–190. doi: 10.1016/j.eururo.2023.03.029
 8. Messina E., Pecoraro M., Pisciotto M.L., et al. Seeing is Believing: State of the Art Imaging of Bladder Cancer // *Semin Radiat Oncol.* 2023. Vol. 33, N 1. P. 12–20. doi: 10.1016/j.semradiol.2022.10.002
 9. Compérat E., Amin M.B., Cathomas R., et al. Current best practice for bladder cancer: a narrative review of diagnostics and treatments // *Lancet.* 2022. Vol. 400, N 10364. P. 1712–1721. doi: 10.1016/S0140-6736(22)01188-6
 10. Ahmadi H., Duddalwar V., Daneshmand S. Diagnosis and Staging of Bladder Cancer // *Hematol Oncol Clin North Am.* 2021. Vol. 35, N 3. P. 531–541. doi: 10.1016/j.hoc.2021.02.004
 11. Wentland A.L., Desser T.S., Troxell M.L., Kamaya A. Bladder cancer and its mimics: a sonographic pictorial review with CT/MR and histologic correlation // *Abdom Radiol.* 2019. Vol. 44, N 12. P. 3827–3842. doi: 10.1007/s00261-019-02276-w
 12. Wong V.K., Ganeshan D., Jensen C.T., Devine C.E. Imaging and Management of Bladder Cancer // *Cancers.* 2021. Vol. 13, N 6. P. 1396. doi: 10.3390/cancers13061396
 13. Messina E., Pisciotto M.L., Pecoraro M., et al. The use of MRI in urothelial carcinoma // *Curr Opin Urol.* 2022. Vol. 32, N 5. P. 536–544. doi: 10.1097/MOU.0000000000001011
 14. Schallom M., Prentice D., Sona C., et al. Accuracy of Measuring Bladder Volumes With Ultrasound and Bladder Scanning // *Am J Crit Care.* 2020. Vol. 29, N 6. P. 458–467. doi: 10.4037/ajcc2020741
 15. Ahmadi H., Duddalwar V., Daneshmand S. Diagnosis and Staging of Bladder Cancer // *Hematol Oncol Clin North Am.* 2021. Vol. 35, N 3. P. 531–541. doi: 10.1016/j.hoc.2021.02.004
 16. Liu Q., Gong H., Zhu H., Yuan C., Hu B. Contrast-Enhanced Ultrasound in the Bladder: Critical Features to Differentiate Occupied Lesions // *Comput Math Methods Med.* 2021. Vol. 2021. P. 1–5. doi: 10.1155/2021/1047948
 17. Fouladi D.F., Shayesteh S., Fishman E.K., Chu L.C. Imaging of urinary bladder injury: the role of CT cystography // *Emerg Radiol.* 2020. Vol. 27, N 1. P. 87–95. doi: 10.1007/s10140-019-01739-3
 18. Renard-Penna R., Rocher L., Roy C., et al. Imaging protocols for CT urography: results of a consensus conference from the French Society of Genitourinary Imaging // *Eur Radiology.* 2020. Vol. 30, N 3. P. 1387–1396. doi: 10.1007/s00330-019-06529-6
 19. Abuhasanein S., Hansen C., Vojinovic D., et al. Computed tomography urography with corticomedullary phase can exclude urinary bladder cancer with high accuracy // *BMC Urol.* 2022. Vol. 22, N 1. P. 60. doi: 10.1186/s12894-022-01009-4
 20. Bicci E., Mastrorosato M., Danti G., et al. Dual-Energy CT applications in urinary tract cancers: an update // *Tumori.* 2023. Vol. 109, N 2. P. 148–156. doi: 10.1177/03008916221088883
 21. Parakh A., Lennartz S., An C., et al. Dual-Energy CT Images: Pearls and Pitfalls // *RadioGraphics.* 2021. Vol. 41, N 1. P. 98–119. doi: 10.1148/rq.2021200102
 22. Toia G.V., Mileto A., Wang C.L., Sahani D.V. Quantitative dual-energy CT techniques in the abdomen // *Abdom Radiol (NY).* 2022. Vol. 47, N 9. P. 3003–3018. doi: 10.1007/s00261-021-03266-723
 23. Lai A.L., Law Y.M. VI-RADS in bladder cancer: Overview, pearls and pitfalls // *Eur J Radiol.* 2023. Vol. 160. P. 110666. doi: 10.1016/j.ejrad.2022.110666
 24. Panebianco V., Pecoraro M., Del Giudice F., et al. VI-RADS for Bladder Cancer: Current Applications and Future Developments // *J Magn Reson Imaging.* 2022. Vol. 55, N 1. P. 23–36. doi: 10.1002/jmri.27361
 25. Bouchelouche K. PET/CT in Bladder Cancer: An Update // *Semin Nucl Med.* 2022. Vol. 52, N 4. P. 475–485. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2021.12.004
 26. Kim S.K. Role of PET/CT in muscle-invasive bladder cancer // *Transl Androl Urol.* 2020. Vol. 9, N 6. P. 2908–2919. doi: 10.21037/tau.2020.03.31
 27. Omorphos N.P., Ghose A., Hayes J.D.B., et al. The increasing indications of FDG-PET/CT in the staging and management of Invasive Bladder Cancer // *Urol Oncol.* 2022. Vol. 40, N 10. P. 434–441. doi: 10.1016/j.urolonc.2022.05.017
 28. Zhang-Yin J., Girard A., Marchal E., et al. PET Imaging in Bladder Cancer: An Update and Future Direction // *Pharmaceuticals (Basel).* 2023. Vol. 16, N 4. P. 606. doi: 10.3390/ph16040606
 29. Muin D., Laukhtina E., Hacker M., Shariat S.F. PET in bladder cancer imaging // *Curr Opin Urol.* 2023. Vol. 33, N 3. P. 206–210. doi: 10.1097/MOU.0000000000001090

REFERENCES

1. Hill WG. Control of Urinary Drainage and Voiding. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2015;10(3):480–492. doi: 10.2215/CJN.04520413
2. Glasscock RJ, Rule AD. Aging and the Kidneys: Anatomy, Physiology and Consequences for Defining Chronic Kidney Disease. *Nephron.* 2016;134(1):25–29. doi: 10.1159/000445450
3. Montatore M, Muscatella G, Eusebi L, et al. Current Status on New Technique and Protocol in Urinary Stone Disease. *Curr Radiol Rep.* 2023;11(12):1–16. doi: 10.1007/s40134-023-00420-5
4. Sam P, Nasserredin A, LaGrange CA. Anatomy, Abdomen and Pelvis: Bladder Detrusor Muscle. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
5. Eusebi L, Masino F, Gifuni R, et al. Role of Multiparametric-MRI in Bladder Cancer. *Curr Radiol Rep.* 2023;11(5):69–80. doi: 10.1007/s40134-023-00412-5
6. Nicola R, Pecoraro M, Lucciola S, et al. VI-RADS score system — A primer for urologists. *Int Braz J Urol.* 2022;48(4):609–622. doi: 10.1590/s1677-5538.ibju.2021.0560

7. Jubber I, Ong S, Bukavina L, et al. Epidemiology of Bladder Cancer in 2023: A Systematic Review of Risk Factors. *Eur Urol*. 2023;84(2):176–190. doi: 10.1016/j.eururo.2023.03.029
8. Messina E, Pecoraro M, Pisciotto ML, et al. Seeing is Believing: State of the Art Imaging of Bladder Cancer. *Semin Radiat Oncol*. 2023;33(1):12–20. doi: 10.1016/j.semradonc.2022.10.002
9. Comp  rat E, Amin MB, Cathomas R, et al. Current best practice for bladder cancer: a narrative review of diagnostics and treatments. *Lancet*. 2022;400(10364):1712–1721. doi: 10.1016/S0140-6736(22)01188-6
10. Ahmadi H, Duddalwar V, Daneshmand S. Diagnosis and Staging of Bladder Cancer. *Hematol Oncol Clin North Am*. 2021;35(3):531–541. doi: 10.1016/j.hoc.2021.02.004
11. Wentland AL, Desser TS, Troxell ML, Kamaya A. Bladder cancer and its mimics: a sonographic pictorial review with CT/MR and histologic correlation. *Abdom Radiol*. 2019;44(12):3827–3842. doi: 10.1007/s00261-019-02276-w
12. Wong VK, Ganeshan D, Jensen CT, Devine CE. Imaging and Management of Bladder Cancer. *Cancers*. 2021;13(6):1396. doi: 10.3390/cancers13061396
13. Messina E, Pisciotto ML, Pecoraro M, et al. The use of MRI in urothelial carcinoma. *Curr Opin Urol*. 2022;32(5):536–544. doi: 10.1097/MOU.0000000000001011
14. Schallom M, Prentice D, Sona C, et al. Accuracy of Measuring Bladder Volumes With Ultrasound and Bladder Scanning. *Am J Crit Care*. 2020;29(6):458–467. doi: 10.4037/ajcc2020741
15. Ahmadi H, Duddalwar V, Daneshmand S. Diagnosis and Staging of Bladder Cancer. *Hematol Oncol Clin North Am*. 2021;35(3):531–541. doi: 10.1016/j.hoc.2021.02.004
16. Liu Q, Gong H, Zhu H, Yuan C, Hu B. Contrast-Enhanced Ultrasound in the Bladder: Critical Features to Differentiate Occupied Lesions. *Comput Math Methods Med*. 2021;2021:1–5. doi: 10.1155/2021/1047948
17. Fouladi DF, Shayesteh S, Fishman EK, Chu LC. Imaging of urinary bladder injury: the role of CT cystography. *Emerg Radiol*. 2020;27(1):87–95. doi: 10.1007/s10140-019-01739-3
18. Renard-Penna R, Rocher L, Roy C, et al. Imaging protocols for CT urography: results of a consensus conference from the French Society of Genitourinary Imaging. *Eur Radiology*. 2020;30(3):1387–1396. doi: 10.1007/s00330-019-06529-6
19. Abuhasein S, Hansen C, Vojinovic D, et al. Computed tomography urography with corticomedullary phase can exclude urinary bladder cancer with high accuracy. *BMC Urol*. 2022;22(1):60. doi: 10.1186/s12894-022-01009-4
20. Bicci E, Mastrorosato M, Danti G, et al. Dual-Energy CT applications in urinary tract cancers: an update. *Tumori*. 2023;109(2):148–156. doi: 10.1177/03008916221088883
21. Parakh A, Lennartz S, An C, et al. Dual-Energy CT Images: Pearls and Pitfalls. *RadioGraphics*. 2021;41(1):98–119. doi: 10.1148/rg.2021200102
22. Toia GV, Mileto A, Wang CL, Sahani DV. Quantitative dual-energy CT techniques in the abdomen. *Abdom Radiol (NY)*. 2022;47(9):3003–3018. doi: 10.1007/s00261-021-03266-723
23. Lai AL, Law YM. VI-RADS in bladder cancer: Overview, pearls and pitfalls. *Eur J Radiol*. 2023;160:110666. doi: 10.1016/j.ejrad.2022.110666
24. Panebianco V, Pecoraro M, Del Giudice F, et al. VI-RADS for Bladder Cancer: Current Applications and Future Developments. *J Magn Reson Imaging*. 2022;55(1):23–36. doi: 10.1002/jmri.27361
25. Bouchelouche K. PET/CT in Bladder Cancer: An Update. *Semin Nucl Med*. 2022;52(4):475–485. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2021.12.004
26. Kim SK. Role of PET/CT in muscle-invasive bladder cancer. *Transl Androl Urol*. 2020;9(6):2908–2919. doi: 10.21037/tau.2020.03.31
27. Omorphos NP, Ghose A, Hayes JDB, et al. The increasing indications of FDG-PET/CT in the staging and management of Invasive Bladder Cancer. *Urol Oncol*. 2022;40(10):434–441. doi: 10.1016/j.urolonc.2022.05.017
28. Zhang-Yin J, Girard A, Marchal E, et al. PET Imaging in Bladder Cancer: An Update and Future Direction. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2023;16(4):606. doi: 10.3390/ph16040606
29. Muin D, Laukhtina E, Hacker M, Shariat SF. PET in bladder cancer imaging. *Curr Opin Urol*. 2023;33(3):206–210. doi: 10.1097/MOU.0000000000001090

05 ABTOPAX

* **Giuseppe Guglielmi**, Professor;
address: Viale L. Pinto 1, 71122 Foggia, Italy;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Federica Masino, MD;
ORCID: 0009-0004-4289-3289;
e-mail: federicamasino@gmail.com

Laura Eusebi, MD;
ORCID: 0000-0002-4172-5126;
e-mail: lauraeu@virgilio.it

Gianmichele Muscatella, MD;
ORCID: 0009-0004-3535-5802;
e-mail: muscatella94@gmail.com

AUTHORS' INFO

* **Giuseppe Guglielmi**, Professor;
address: Viale L. Pinto 1, 71122 Foggia, Italy;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Federica Masino, MD;
ORCID: 0009-0004-4289-3289;
e-mail: federicamasino@gmail.com

Laura Eusebi, MD;
ORCID: 0000-0002-4172-5126;
e-mail: lauraeu@virgilio.it

Gianmichele Muscatella, MD;
ORCID: 0009-0004-3535-5802;
e-mail: muscatella94@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Manuela Montatore, MD;
ORCID: 0009-0002-1526-5047;
e-mail: manuela.montatore@unifg.it

Giuseppe Sortino, MD;
ORCID: 0000-0002-8804-1805;
e-mail: giuseppesortino@live.it

Willy Giannubilo, MD;
e-mail: willygiannubilo@virgilio.it

Manuela Montatore, MD;
ORCID: 0009-0002-1526-5047;
e-mail: manuela.montatore@unifg.it

Giuseppe Sortino, MD;
ORCID: 0000-0002-8804-1805;
e-mail: giuseppesortino@live.it

Willy Giannubilo, MD;
e-mail: willygiannubilo@virgilio.it

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623322>

Множественные билиарные микрогамартомы, случайно диагностированные у пожилого пациента

M. Balbino¹, M. Montatore¹, G. Fascia¹, R. Tupputi², F. Masino¹, G. Muscatella¹,
D. Mannatrizio¹, G. Guglielmi^{1,2,3}

¹ Университет Фоджи, Фоджа, Италия;

² Dimiccoli Hospital, Барлетта, Италия;

³ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Фоджа, Италия

АННОТАЦИЯ

Множественные билиарные гамартомы, также называемые комплексами фон Мейенбурга — это доброкачественные новообразования печени, которые могут быть выявлены случайно. Их нелегко обнаружить, если ранее не доводилось с ними встречаться, а также если соответствующие методы визуализации на момент обследования недоступны. К тому же их сложно отличить от других поражений печени на основании визуализационных данных. Таким образом, описание данного клинического случая направлено на пополнение библиотеки цифровых изображений, что позволит радиологу быстро и точно провести дифференциальную диагностику. Кроме того, подчёркивается важность тщательной рентгенологической оценки этого заболевания и необходимость мультидисциплинарного подхода с участием радиологов, гепатологов и патологов для постановки точного диагноза.

Пациент поступил в больницу для проведения компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии брюшной полости по рекомендации терапевта для оценки состояния билиарного дерева (магнитно-резонансная холангио-панкреатография) в связи с постоянными болями в животе. Пациенту никогда ранее не проводили инструментальное обследование брюшной полости, поэтому новообразования печени оказались случайной и неожиданной находкой.

Магнитно-резонансная томография выявила множественные доброкачественные образования в обеих печёночных долях, сопоставимые с комплексами фон Мейенбурга. Эти поражения представляют собой множественные гамартомы и ведут себя по-разному во всех последовательностях сканирования.

В ходе исследования были тщательно изучены изображения, полученные с помощью различных последовательностей магнитно-резонансной томографии. В печени обнаружены множественные очаги поражения с признаками доброкачественности, которые соответствовали диагнозу «множественные билиарные гамартомы».

Практикующие специалисты должны уметь распознать это заболевание и учитывать его при дифференциальной диагностике у пациентов с патологиями печени. Это позволит предотвратить ненужные вмешательства и выбрать правильную тактику ведения пациентов.

Ключевые слова: печень; гамартомы; комплекс фон Мейенбурга; магнитно-резонансная томография; диагностическая визуализация; магнитно-резонансная холангиография; новообразования желчных протоков.

Как цитировать:

Balbino M., Montatore M., Fascia G., Tupputi R., Masino F., Muscatella G., Mannatrizio D., Guglielmi G. Множественные билиарные микрогамартомы, случайно диагностированные у пожилого пациента // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 334–341. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623322>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623322>

Multiple biliary microhamartomas diagnosed in an unsuspecting elderly patient

Marina Balbino¹, Manuela Montatore¹, Giacomo Fascia¹, Ruggiero Tupputi², Federica Masino¹, Gianmichele Muscatella¹, Domenico Mannatrizio¹, Giuseppe Guglielmi^{1,2,3}

¹ University of Foggia, Foggia, Italy;

² Dimiccoli Hospital, Barletta, Italy;

³ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Foggia, Italy

ABSTRACT

Multiple biliary hamartomas are a benign incidental finding in the liver. They are not easily detected if one has never seen them, and if appropriate imaging tests are unavailable, and also can be challenging to differentiate from other liver lesions based on imaging alone. Thus, this study aimed to expand the radiologist's digital image library, enabling a quick and precise differential diagnosis. This paper also highlights the importance of thorough radiological assessment and need for a multidisciplinary approach, involving radiologists, hepatologists, and pathologists, to ensure a precise diagnosis.

The patient presented at the hospital for a computed tomography scan and an abdominal magnetic resonance imaging recommended by his general practitioner to assess the biliary tree (magnetic resonance cholangiopancreatography), owing to persistent abdominal pain. The patient had never undergone an abdominal magnetic resonance imaging previously; hence, the discovery of hepatic lesions was incidental and unexpected.

Magnetic resonance imaging revealed multiple benign lesions in both the hepatic lobes comparable to the Von Meyenburg complex. These lesions are multiple hamartomas and behave differently in all magnetic resonance imaging sequences.

Images acquired with different magnetic resonance imaging sequences were carefully examined. Multiple lesions were found scattered throughout the liver; however, the lesions were benign and consistent with the diagnosis of multiple biliary hamartomas.

Medical practitioners should examine the presence of multiple biliary hamartomas and consider them in the differential diagnosis when patients present with hepatic abnormalities. This can prevent unnecessary interventions and guide appropriate patient management.

Keywords: liver; hamartomas; Von Meyenburg complex; magnetic resonance imaging; diagnostic imaging; magnetic resonance cholangiography; bile duct neoplasms.

To cite this article:

Balbino M, Montatore M, Fascia G, Tupputi R, Masino F, Muscatella G, Mannatrizio D, Guglielmi G. Multiple biliary microhamartomas diagnosed in an unsuspecting elderly patient. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):334–341. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623322>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623322>

一名老年患者偶然诊断出的多发性胆管微小错构瘤

Marina Balbino¹, Manuela Montatore¹, Giacomo Fascia¹, Ruggiero Tupputi²,
Federica Masino¹, Gianmichele Muscatella¹, Domenico Mannatrizio¹, Giuseppe Guglielmi^{1,2,3}

¹ University of Foggia, Foggia, Italy;

² Dimiccoli Hospital, Barletta, Italy;

³ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Foggia, Italy

摘要

多发性胆管错构瘤又称 von Meyenburg 复合体，是一种可能偶然发现的良性肝肿瘤。如果以前没有遇到过，而且在检查时没有适当的成像技术，就不容易被发现。根据影像学检查结果，它们也很难与其他肝脏病变区分开来。因此，本病例的描述旨在为数字图像库增添新的内容，使放射科医生能够做出快速准确的鉴别诊断。此外，该病例还强调了对该疾病进行全面放射学评估的重要性，以及放射科医生、肝病科医生和病理科医生多学科合作以做出准确诊断的必要性。

患者因持续腹痛，在全科医生的建议下入院进行腹腔计算机断层扫描和磁共振成像，以评估胆道树的状况（磁共振胰胆管造影）。患者以前从未接受过腹腔器械检查，因此肝脏肿瘤是一个偶然的意外发现。

磁共振成像显示了，两个肝叶都有多发性良性病变，与 von Meyenburg 复合体相似。这些病变代表多发性错构瘤，在所有扫描序列中表现不同。

研究仔细检查了不同磁共振成像序列获得的图像。在肝脏中发现了多个具有良性迹象的病灶，符合“多发性胆管错构瘤”的诊断。

医生应该能够识别这种疾病，并在肝脏病变患者的鉴别诊断中加以考虑。这将有助于避免不必要的干预，并能选择正确的治疗策略。

关键词：肝脏；错构瘤；von Meyenburg 复合体；磁共振成像；诊断成像；磁共振胰胆管造影；胆管肿瘤。

引用本文：

Balbino M, Montatore M, Fascia G, Tupputi R, Masino F, Muscatella G, Mannatrizio D, Guglielmi G. 一名老年患者偶然诊断出的多发性胆管微小错构瘤. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):334–341. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623322>

收到: 14.11.2023

接受: 19.12.2023

发布日期: 02.07.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ

Множественные билиарные гамартомы, также называемые комплексами фон Мейенбурга, встречаются относительно редко, и потому они часто становятся случайной находкой при диагностической визуализации. Выявление и точная диагностика этих образований крайне важны, поскольку они могут имитировать другие поражения печени, такие как кисты или опухоли, что приводит к потенциально ненужным инвазивным процедурам или лечению [1–4].

ОПИСАНИЕ СЛУЧАЯ

Анамнез

Мужчина, 82 года, поступил в больницу с первичными жалобами на боли в животе, сохраняющиеся более 6 недель. В личном/семейном анамнезе у пациента не было заболеваний печени. Было проведено тщательное медицинское обследование, включая физикальный осмотр и анализы крови. Однако они не дали убедительных результатов и не позволили поставить чёткий диагноз.

Диагностическая оценка

Пациенту была проведена компьютерная томография (КТ) с контрастным усилением, а затем магнитно-резонансная томография (МРТ) [5, 6].

На КТ в обеих печёночных долях были случайно выявлены множественные миллиметровые дезорганизованные гиподенсивные очаги, как субкапсулярные, так и интрапаренхимальные.

После введения контрастного вещества усиления очагов не наблюдалось (рис. 1).

Последующее МРТ-исследование выявило те же очаги поражения с различными характеристиками в разных последовательностях. На T2-взвешенных изображениях участки выглядят гомогенными и гиперинтенсивными (рис. 2).

На T1-взвешенных изображениях все очаги были гомогенно гипоинтенсивными.

На диффузионно-взвешенных изображениях очаги сохраняют гиперинтенсивность при низком b-факторе (50 с/мм²) и исчезают при высоком (800 с/мм²) (рис. 3).

На T2-взвешенных изображениях при МР-холангиографии печень имеет вид «звёздного неба» из-за наличия множества мелких гиперинтенсивных очагов, однако сообщение с желчным протоком обычно не визуализируется [7] (рис. 4).

Динамическое исследование после введения контраста не выявило усиления в артериальной и венозной фазах (рис. 5).

Дифференциальная диагностика

Рентгенографические данные могут быть неспецифичными и не позволяют отличить билиарные гамартомы от других поражений.

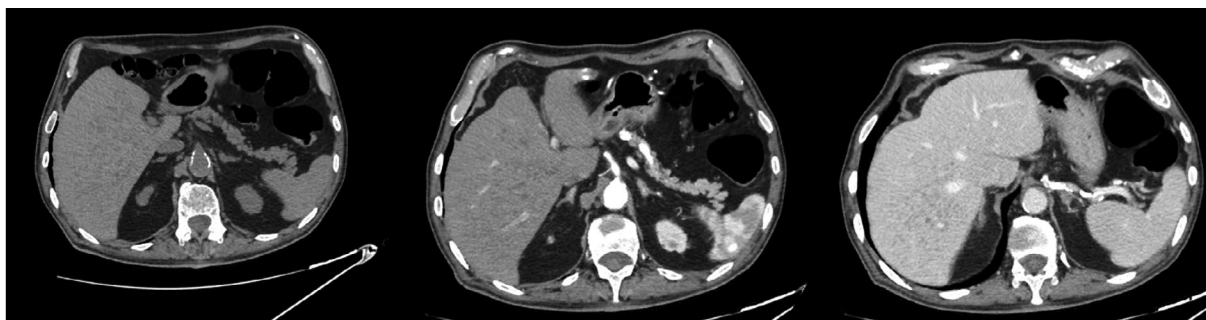


Рис. 1. Компьютерная томография (аксиальный срез): гиподенсивные очаги без значительного контрастного усиления в артериальной и венозной фазах.

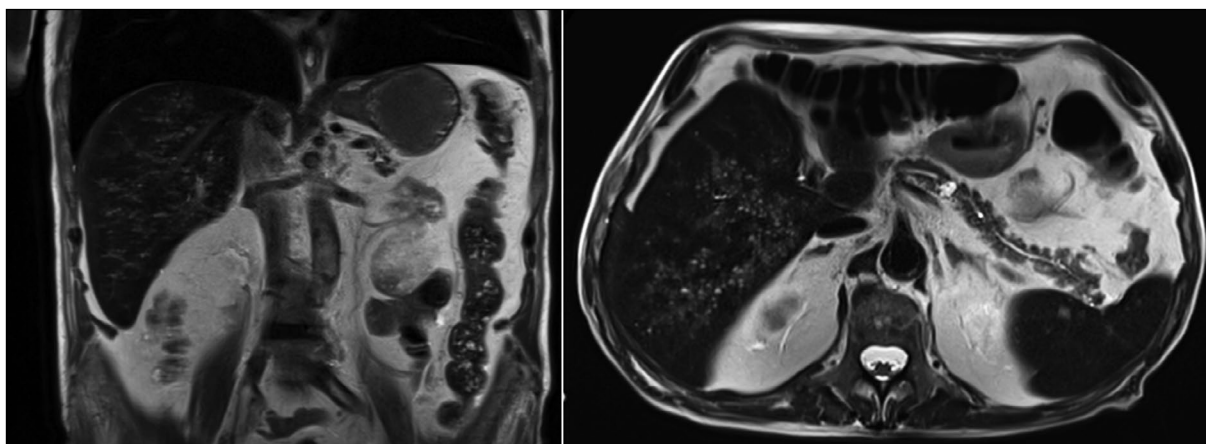


Рис. 2. Корональные и аксиальные изображения магнитно-резонансной томографии с последовательностью HASTE T2: множественные мелкие гиперинтенсивные очаги, рассеянные по всей печени.

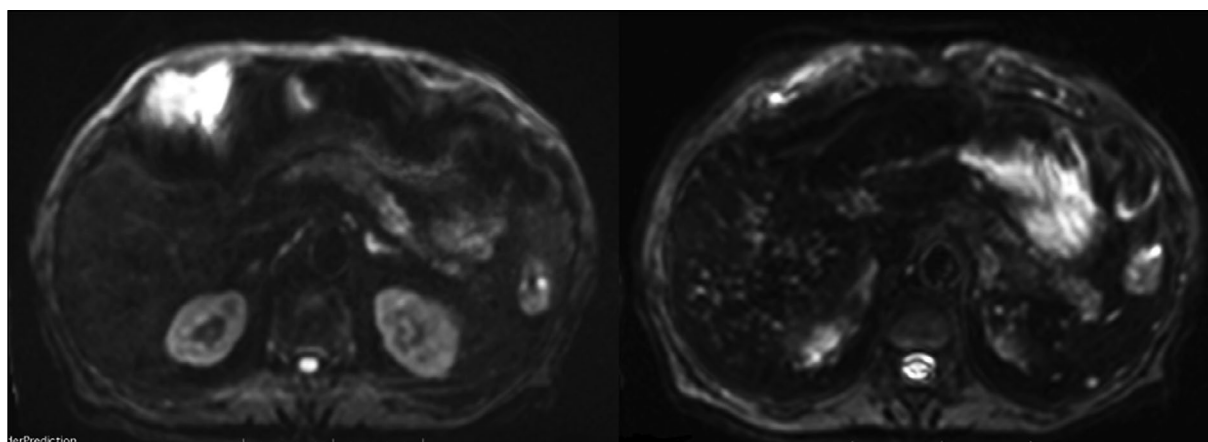


Рис. 3. Магнитно-резонансная томография (аксиальный срез) с последовательностью DWI: гиперинтенсивные очаги при низких значениях b-фактора (50 с/мм^2) справа, исчезающие при высоких значениях b-фактора (800 с/мм^2) слева.

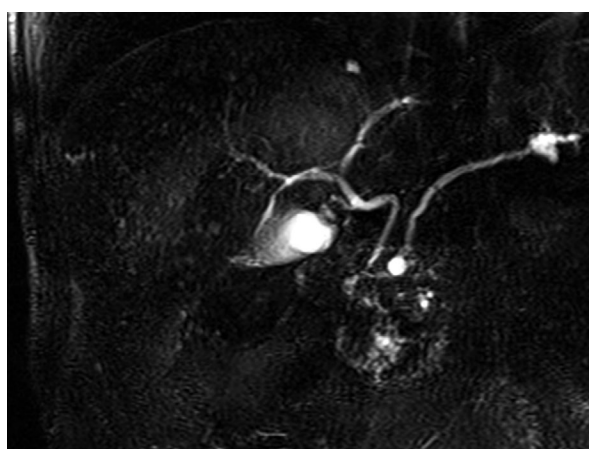


Рис. 4. Магнитно-резонансная холангиография с последовательностью T2: множественные мелкие гиперинтенсивные очаги, печень в виде «звёздного неба».

В качестве дифференциального диагноза следует рассматривать поликистоз печени, множественные простые кисты печени, метастазы, микроабсцессы и болезнь Кароли [8]. В последнем случае визуализируется более

гетерогенный вид поражения и сообщение с желчным протоком.

Вмешательства

В данном случае поражения не были напрямую связаны с какими-либо симптомами или осложнениями, поэтому хирургическое или фармакологическое лечение не требовалось.

Если комплексы фон Мейенбурга имеют определённую симптоматику или осложнения, лечение может включать хирургическое удаление поражённой ткани печени или дренирование крупных кист [9–11].

Лицам, у которых диагностированы комплексы фон Мейенбурга, крайне важно проконсультироваться с гепатологом, чтобы определить оптимальное лечение в зависимости от конкретного случая.

Наблюдение и исход

Ведение пациента основывалось на наблюдении и плановом мониторинге, что позволяло своевременно оценивать возможные изменения. Однако выявленные изменения не повлияли на выбор диагностических методов.

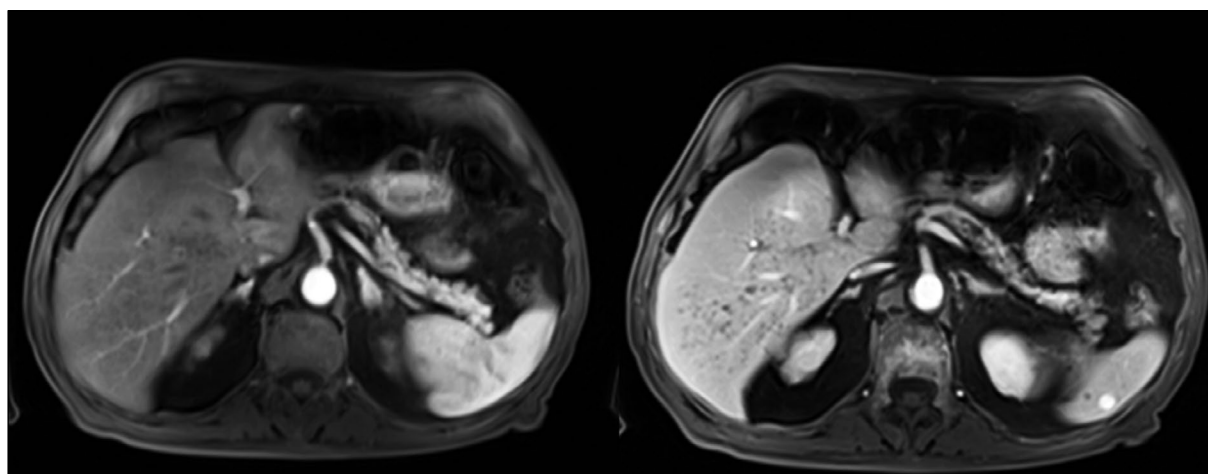


Рис. 5. Магнитно-резонансная томография (аксиальный срез) с последовательностью T1: гипоинтенсивные очаги без значительного контрастного усиления в артериальной и венозной фазах.

ОБСУЖДЕНИЕ

Множественные билиарные гамартомы, или комплексы фон Мейенбурга, — редкие доброкачественные поражения печени, характеризующиеся небольшими дезорганизованными кистозными структурами, поражающими обе печёночные доли, как правило, в субкапсулярной области [12, 13]. Это множественные небольшие круглые или неправильной формы образования, размер которых при визуализации обычно составляет 5–30 мм.

Гамартомы представляют собой дезорганизованные желчные протоки и обычно обнаруживаются случайно во время визуализационных исследований, таких как ультразвуковое исследование, КТ и МРТ, которые часто проводятся по другим причинам. Хотя гамартомы могут сообщаться с билиарным деревом, обычно этого не происходит. Считается, что они возникают из эмбриональных остатков желчных протоков, которые не успели инволюционировать.

Комплексы фон Мейенбурга считаются доброкачественными и в большинстве случаев асимптоматичными. Как правило, они не связаны с нарушением функций печени или клиническими симптомами. Данные лабораторных исследований обычно неспецифичны и находятся в пределах нормы. Большинство пациентов с такими поражениями не нуждаются в лечении. В некоторых случаях билиарные гамартомы могут быть связаны с различными заболеваниями печени, включая поликистоз печени, болезнь Кароли и врождённый печёночный фиброз [14].

Если эти заболевания присутствуют, они могут привести к более серьёзным проблемам с печенью и потребовать медицинского вмешательства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексы фон Мейенбурга — редкое заболевание, которое зачастую выявляется случайно. Описанный в данной статье клинический случай подчёркивает важность точной диагностики, а также трудности в дифференциации этих поражений от других заболеваний печени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zheng R.Q., Zhang B., Kudo M., Onda H., Inoue T. Imaging findings of biliary hamartomas // *World J Gastroenterol*. 2005. Vol. 11, N 40. P. 6354–6359. doi: 10.3748/wjg.v11.i40.6354
2. Gil-Bello D., Ballesteros E., Sanfeliu E., Andreu F.J. Calcification in biliary hamartomatosis // *Br J Radiol*. 2012. Vol. 85, N 1012. P. e099–e101. doi: 10.1259/bjr/95019559
3. Thommesen N. Biliary hamartomas (von Meyenburg complexes) in liver needle biopsies // *Acta Pathol Microbiol Scand A*. 1978. Vol. 86, N 2. P. 93–99. doi: 10.1111/j.1699-0463.1978.tb02019.x
4. Aguado I.C., Álvarez M.H., Hernández J.S., La Orden Izquierdo E. Hamartomatosis biliar en una lactante con colitis alérgica: revisión

Лечение, основанное на наблюдении и периодическом мониторинге, будет целесообразным, если заболевание протекает бессимптомно. Однако осведомлённость врача о множественных билиарных гамартомах имеет решающее значение для предотвращения ошибочного диагноза и ненужных инвазивных вмешательств. Будущие исследования могут способствовать более глубокому пониманию этой патологии и её клинических последствий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при написании статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и фотографий в журнале Digital Diagnostics.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript in Digital Diagnostics Journal.

a propósito de un caso // *Rev Pediatr Aten Primaria*. 2013. Vol. 15, N 59. P. e111–e114. doi: 10.4321/S1139-76322013000400014

5. Horton K.M., Bluemke D.A., Hruban R.H., Soyfer P., Fishman E.K. CT and MR imaging of benign hepatic and biliary tumors // *Radiographics*. 1999. Vol. 19, N 2. P. 431–451. doi: 10.1148/radiographics.19.2.g99mr0443

6. Brancatelli G., Federle M.P., Vilgrain V., et al. Fibropolycystic liver disease: CT and MR imaging findings // *RadioGraphics*. 2005. Vol. 25, N 3. P. 659–670. doi: 10.1148/rg.253045114

7. Bravo-Acosta M., Rosendo-Namías J., Martínez-Méndez D. Hamartomatosis biliar múltiple: “imagen en cielo estrellado” // *Rev*

Gastroenterol MEX. 2020. Vol. 86, N 2. doi: 10.1016/j.rgmx.2020.08.002

8. Choi B.I., Yeon K.M., Kim S.H., et al. Caroli disease: central dot sign in CT // *Radiology*. 1990. Vol. 174, N 1. P. 161–163. doi: 10.1148/radiology.174.1.2294544

9. Kin H.K., Jin S.Y. Cholangiocarcinoma arising in von Meyenburg complexes // *Korean J Hepatol*. 2011. Vol. 17, N 2. P. 161–164. doi: 10.3350/kjhep.2011.17.2.161

10. Song J.S., Lee Y.J., Kim K.W., et al. Cholangiocarcinoma arising in von Meyenburg complexes: report of four cases // *Pathol Int*. 2008. Vol. 58, N 8. P. 503–512. doi: 10.1111/j.1440-1827.2008.02264.x

11. Xu A.M., Xian Z.H., Zhang S.H., Chen X.F. Intrahepatic cholangiocarcinoma arising in multiple bile duct hamartomas: report of

two cases and review of the literature // *Eur J Gastroenterol Hepatol*. 2009. Vol. 21, N 5. P. 580–584. doi: 10.1097/MEG.0b013e3282fc73b1

12. Venkatanarasimha N., Thomas R., Armstrong E.M., et al. Imaging features of ductal plate malformations in adults // *Clin Radiol*. 2011. Vol. 66, N 11. P. 1086–1093. doi: 10.1016/j.crad.2011.05.008

13. Desmet V.J. Pathogenesis of ductal plate malformation // *J Gastroenterol Hepatol*. 2004. Vol. 19, N S7. P. S356–S360. doi: 10.1111/j.1440-1746.2004.03702.x

14. Soreide K., Korner H., Havnen J., et al. Bile duct cysts in adults // *Br J Surg*. 2004. Vol. 91, N 12. P. 1538–1548. doi: 10.1002/bjs.4815

REFERENCES

- Zheng RQ, Zhang B, Kudo M, Onda H, Inoue T. Imaging findings of biliary hamartomas. *World J Gastroenterol*. 2005;11(40):6354–6359. doi: 10.3748/wjg.v11.i40.6354
- Gil-Bello D, Ballesteros E, Sanfeliu E, Andreu FJ. Calcification in biliary hamartomatosis. *Br J Radiol*. 2012;85(1012):e099–e101. doi: 10.1259/bjr/95019559
- Thommesen N. Biliary hamartomas (von Meyenburg complexes) in liver needle biopsies. *Acta Pathol Microbiol Scand A*. 1978;86(2):93–99. doi: 10.1111/j.1699-0463.1978.tb02019.x
- Aguado IC, Álvarez MH, Hernández JS, La Orden Izquierdo E. Hamartomatosis biliar en una lactante con colitis alérgica: revisión a propósito de un caso. *Rev Pediatr Aten Primaria*. 2013;15(59):e111–e114. doi: 10.4321/S1139-76322013000400014
- Horton KM, Bluemke DA, Hruban RH, Soyer P, Fishman EK. CT and MR imaging of benign hepatic and biliary tumors. *Radiographics*. 1999;19(2):431–451. doi: 10.1148/radiographics.19.2.g99mr0443
- Brancatelli G, Federle MP, Vilgrain V, et al. Fibropolycystic liver disease: CT and MR imaging findings. *RadioGraphics*. 2005;25(3):659–670. doi: 10.1148/rg.253045114
- Bravo-Acosta M, Rosendo-Namías J, Martínez-Méndez D. Hamartomatosis biliar múltiple: “imagen en cielo estrellado”. *Rev Gastroenterol MEX*. 2020;86(2). doi: 10.1016/j.rgmx.2020.08.002
- Choi BI, Yeon KM, Kim SH, et al. Caroli disease: central dot sign in CT. *Radiology*. 1990;174(1):161–163. doi: 10.1148/radiology.174.1.2294544
- Kin HK, Jin SY. Cholangiocarcinoma arising in von Meyenburg complexes. *Korean J Hepatol*. 2011;17(2):161–164. doi: 10.3350/kjhep.2011.17.2.161
- Song JS, Lee YJ, Kim KW, et al. Cholangiocarcinoma arising in von Meyenburg complexes: report of four cases. *Pathol Int*. 2008;58(8):503–512. doi: 10.1111/j.1440-1827.2008.02264.x
- Xu AM, Xian ZH, Zhang SH, Chen XF. Intrahepatic cholangiocarcinoma arising in multiple bile duct hamartomas: report of two cases and review of the literature. *Eur J Gastroenterol Hepatol*. 2009;21(5):580–584. doi: 10.1097/MEG.0b013e3282fc73b1
- Venkatanarasimha N, Thomas R, Armstrong EM, et al. Imaging features of ductal plate malformations in adults. *Clin Radiol*. 2011;66(11):1086–1093. doi: 10.1016/j.crad.2011.05.008
- Desmet VJ. Pathogenesis of ductal plate malformation. *J Gastroenterol Hepatol*. 2004;19(S7):S356–S360. doi: 10.1111/j.1440-1746.2004.03702.x
- Soreide K, Korner H, Havnen J, et al. Bile duct cysts in adults. *Br J Surg*. 2004;91(12):1538–1548. doi: 10.1002/bjs.4815

ОБ АВТОРАХ

* **Giuseppe Guglielmi**, MD, Professor;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Marina Balbino, MD;
ORCID: 0009-0009-2808-5708;
e-mail: marinabalbino93@gmail.com

Manuela Montatore, MD;
ORCID: 0009-0002-1526-5047;
e-mail: manuela.montatore@unifg.it

Giacomo Fascia, MD;
ORCID: 0000-0001-5244-5093;
e-mail: giacomo.fascia@unifg.it

AUTHORS' INFO

* **Giuseppe Guglielmi**, MD, Professor;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Marina Balbino, MD;
ORCID: 0009-0009-2808-5708;
e-mail: marinabalbino93@gmail.com

Manuela Montatore, MD;
ORCID: 0009-0002-1526-5047;
e-mail: manuela.montatore@unifg.it

Giacomo Fascia, MD;
ORCID: 0000-0001-5244-5093;
e-mail: giacomo.fascia@unifg.it

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Ruggiero Tupputi, MD;
e-mail: rutudott@gmail.com

Federica Masino, MD;
ORCID: 0009-0004-4289-3289;
e-mail: federicamasino@gmail.com

Gianmichele Muscatella, MD;
ORCID: 0009-0004-3535-5802;
e-mail: muscatella94@gmail.com

Domenico Mannatrizio, MD;
ORCID: 0000-0003-3365-7132;
e-mail: dr.mannatrizio@gmail.com

Ruggiero Tupputi, MD;
e-mail: rutudott@gmail.com

Federica Masino, MD;
ORCID: 0009-0004-4289-3289;
e-mail: federicamasino@gmail.com

Gianmichele Muscatella, MD;
ORCID: 0009-0004-3535-5802;
e-mail: muscatella94@gmail.com

Domenico Mannatrizio, MD;
ORCID: 0000-0003-3365-7132;
e-mail: dr.mannatrizio@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568070>

Перспективная оценка показателей растяжимости стенки восходящей аорты и её сосудистого протеза у пациентки с аневризмой при технически безупречной хирургической коррекции и послеоперационном снижении функциональных показателей: клинический случай

А.В. Фридман¹, Т.А. Берген¹, Д.А. Сирота¹, Б.Н. Козлов², И.Ю. Журавлева¹, А.Р. Таркова¹, В.Ю. Усов¹, А.М. Чернявский¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина, Новосибирск, Россия;

² Научно-исследовательский институт кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук, Томск, Россия

АННОТАЦИЯ

Представлен и обсуждён клинический случай, когда у пациентки после выполнения хирургически безупречного протезирования восходящей аорты отмечалось выраженное снижение толерантности к физической нагрузке, снижение сократительной функции миокарда левого желудочка в покое и расширение лёгочной артерии вследствие усиления лёгочной артериальной гипертензии. Протезирование было выполнено в связи с инструментально выявленной при расширенном магнитно-резонансном томографическом исследовании аневризмой восходящей аорты с увеличением просвета в поперечном сечении аорты до 60 мм. Показано, что единственным и ведущим фактором к развитию негативных последствий протезирования явилось снижение объёма систолического расширения аорты до 5 мл, при исходных 13 мл, несмотря на заметное увеличение показателей растяжимости и снижения механической жёсткости по сравнению с показателями поражённой стенки аорты. Представлен обзор литературы и обсуждены в этой связи настоятельная необходимость и проблемы создания протезов аорты, эквивалентных по показателям механической растяжимости и упругости таковым для здоровых биологических тканей.

Ключевые слова: аневризма восходящей аорты; протезирование восходящей аорты; растяжимость; модуль Юнга; коронарное кровоснабжение миокарда; клинический случай.

Как цитировать:

Фридман А.В., Берген Т.А., Сирота Д.А., Козлов Б.Н., Журавлева И.Ю., Таркова А.Р., Усов В.Ю., Чернявский А.М. Перспективная оценка показателей растяжимости стенки восходящей аорты и её сосудистого протеза у пациентки с аневризмой при технически безупречной хирургической коррекции и послеоперационном снижении функциональных показателей: клинический случай // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 342–353. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568070>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568070>

Prospective evaluation of the extensibility of the ascending aorta wall and its vascular prosthesis in a patient with an aneurysm with technically flawless surgical correction and postoperative decrease in functional parameters: A case report

Alexander V. Friedman¹, Tatiana A. Bergen¹, Dmitry A. Sirota¹, Boris N. Kozlov², Irina Yu. Zhuravleva¹, Alexandra R. Tarkova¹, Wladimir Yu. Ussov¹, Alexander M. Chernyavskiy¹

¹ E. Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russia;

² Cardiology Research Institute of the Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russia

ABSTRACT

In this clinical case, a patient who had an instrumentally detected aneurysm with the lumen expanding up to 60 mm underwent a surgically flawless prosthetic replacement of the ascending aorta. This treatment led to decreased exercise tolerance, decreased contractile function of the left ventricular myocardium at rest, and enlarged pulmonary artery. The leading factor was a decrease in the volume of systolic expansion of the aorta down to 5 mL (at the initial 13 mL), despite a noticeable increase in the extensibility and a decrease in mechanical stiffness compared with initial indexes of the affected aortic wall. In the literature review, considering mechanical extensibility and elasticity, problems in creating aortic prostheses equivalent to those for healthy biological tissues were discussed.

Keywords: aneurysm of the ascending aorta; prosthetics of the ascending aorta; extensibility; Young's modulus; systolic stretching of the aorta; coronary blood supply to the myocardium; case report.

To cite this article:

Friedman AV, Bergen TA, Sirota DA, Kozlov BN, Zhuravleva IYu, Tarkova AR, Ussov WYu, Chernyavskiy AM. Prospective evaluation of the extensibility of the ascending aorta wall and its vascular prosthesis in a patient with an aneurysm with technically flawless surgical correction and postoperative decrease in functional parameters: A case report. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):342–353. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568070>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568070>

对一名动脉瘤患者升主动脉壁及其血管假体的伸展性参数进行前瞻性评估，手术矫正技术完美，但术后功能下降

Alexander V. Friedman¹, Tatiana A. Bergen¹, Dmitry A. Sirota¹, Boris N. Kozlov²,
Irina Yu. Zhuravleva¹, Alexandra R. Tarkova¹, Wladimir Yu. Ussov¹, Alexander M. Chernyavskiy¹

¹ E. Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russia;

² Cardiology Research Institute of the Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russia

摘要

本文介绍并讨论了一例临床病例，患者在对升主动脉进行无瘤假体修复手术后，运动耐力明显下降，左心室静息时心肌收缩功能减弱，肺动脉高压加重导致肺动脉扩张。通过增强磁共振成像器械检测到升主动脉瘤，主动脉横截面的管腔扩大到 60 毫米，在这种情况下进行了假体植入术。结果表明了，尽管与病变主动脉壁的指数相比，主动脉的伸展性指数明显增加，机械硬度指数下降，但假体造成不良后果的唯一和主要因素是主动脉收缩期的扩张量从最初的 13 毫升减少到 5 毫升。本文对文献进行了综述，并就此讨论了制作在机械延伸性和弹性方面与健康生物组织相当的主动脉假体的迫切性和问题。

关键词：升主动脉瘤；升主动脉假体；伸展性；Young 模块；冠状动脉心肌血流；临床病例。

引用本文：

Friedman AV, Bergen TA, Sirota DA, Kozlov BN, Zhuravleva IYu, Tarkova AR, Ussov WYu, Chernyavskiy AM. 对一名动脉瘤患者升主动脉壁及其血管假体的伸展性参数进行前瞻性评估，手术矫正技术完美，但术后功能下降. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):342–353.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD568070>

收到: 06.08.2023

接受: 06.12.2023

发布日期: 29.01.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ

Хирургическое лечение аневризматических поражений аорты с расширением поперечника её восходящего колена более 5 см [1] традиционно является методом выбора в спасении таких пациентов от практически неизбежного риска разрыва аневризмы, острые случаи которого приводят к почти 100%-ной смертности [2–4].

Разработан ряд кардиохирургических вмешательств, которые предполагают замену восходящей аорты протезом по типу полной или частичной дуги [5].

В оценке результатов таких протезирований, как правило, исходят из достигаемого кардинального снижения риска смертности у этих пациентов [2], в то время как количественная оценка физиологических и биомеханических параметров восходящей аорты, качества жизни пациентов после протезирования, наличия и тяжести стенокардии и других показателей коронарной ишемии отходят на второй план [3]. Это в целом обоснованно, ибо спасение жизни пациента всегда первично.

Однако достижение устойчивого эффекта снижения смертности при хирургическом лечении аневризмы восходящей аорты неизбежно порождает необходимость дальнейшего совершенствования патофизиологических критериев, определяющих функциональное состояние пациентов, возможность реабилитации и возвращения к труду, состояние миокарда и факторов, влияющих на коронарную доставку крови к нему.

Восходящая аорта — важная анатомическая и функциональная часть сосудистой системы, обеспечивающей кровоснабжение миокарда, так как приток крови к сердечной мышце происходит почти исключительно в диастолу и осуществляется в пределах объёма систолического растяжения восходящей аорты [6]. Исследование эластических свойств восходящей аорты именно в аспекте обеспечения миокарда достаточным притоком крови за счёт спадения в диастолу растянутой перед тем в систолу аорты давно привлекает внимание физиологов и спортивных врачей [6], а также специалистов по разработке клапанов и сосудистых протезов [7]. Однако клиническое применение биофизических и биомеханических оценок эластичности аорты, как в одноцентровых, так и в межцентровых исследованиях, минимально [4]. Ранее нам удалось показать, что падение эластичности и растяжимости и увеличение жёсткости восходящей аорты — важнейший патологический фактор, способствующий развитию острого инфаркта миокарда [8, 9]. Очевидно не меньшим по своему клиническому значению является и исследование эластичности восходящей аорты у кардиохирургических больных с аневризматической патологией. Недостаточная эластичность протеза может служить ограничивающим, а порой и патологическим фактором.

В этой связи мы приводим здесь случай наблюдения за пациенткой, у которой, несмотря на неосложнённое протезирование восходящей аорты, не удалось достичь

после операции достаточного уровня pO_2 , а также других показателей, необходимых для высоких функциональных свойств пациента, — например, толерантности к физической нагрузке. Эти показатели не только не увеличились, но, напротив, ухудшились, а сама пациентка на протяжении нескольких месяцев после операции продолжала и продолжает быть зависимой от использования концентратора кислорода для дыхания.

ОПИСАНИЕ СЛУЧАЯ

Представлен случай проспективного наблюдения динамики состояния биомеханических показателей аневризмы аорты в ходе хирургического лечения пациентки Б-К, 65 лет, ранее в течение 10 лет страдавшей артериальной гипертонией (под полным медикаментозным контролем артериального давления). У пациентки также диагностирован сахарный диабет 2-го типа, с компенсацией уровня глюкозы и гликозилированного гемоглобина до границ нормальных значений при приёме пероральных сахароснижающих препаратов. Других заболеваний в течение последних 15 лет не наблюдалось.

Первоначально пациентка обратилась к невропатологу в связи с учащением эпизодов головокружения и слабости, сопровождавшихся одышкой и преходящими краткосрочными эпизодами потери речи. В связи с подозрением на наличие критического стеноза внутренней сонной артерии или её ветвей, была направлена для проведения ультразвукового исследования и магнитно-резонансной (МР) ангиографии сонных артерий. При этих обследованиях предположение о наличии патологии сонных артерий не подтвердилось, степень сужения внутренних сонных артерий и их ветвей во всех локализациях не превышала 15–20%, но при каротидной МР-ангиографии было заподозрено патологическое расширение восходящей аорты до 57–60 мм в поперечнике. При МР-аортографии оно было полностью подтверждено (рис. 2, а), по поводу чего больная была направлена в Научно-исследовательский институт кардиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук» для консультации и кардиохирургического лечения.

Предоперационно было выполнено также коронароангиографическое и аортографическое исследование, подтвердившее полностью характер и протяжённость поражения аорты и исключившее коронарные стенозирующие поражения. Наибольшим стенозом был стеноз правой коронарной артерии в проксимальной трети, до 35% просвета артерии. В бассейне левой коронарной артерии стенозы ни в одной из её важнейших ветвей не превышали 25%.

Перед операцией протезирования аорты порог толерантности к физической нагрузке при велоэргометрическом тесте с контролем по данным ЭКГ составлял 25 Вт, при этом

причиной прекращения теста служила одышка и мышечная слабость. Электрокардиографических признаков коронарной недостаточности при тесте не выявлено.

Как отмечалось выше, у пациентки было проведено МР-томографическое исследование сердца и стенки аорты с ЭКГ-синхронизацией [8], в том числе и с охватом грудной аорты вплоть до уровня диафрагмы. В частности, срезы МР томографии (МРТ) сердца по короткой и длинной осям были получены в:

- T1-взвешенных изображениях (ВИ): время повторения (time of repetition, TR)=500 мс, время эхо (time of echo, TE)=12 мс;
- T2-ВИ: TR=4000 мс, TE=25 мс;
- SSFP-взвешенных режимах.

Толщина срезов — 5–8 мм, матрица 256×392 или 256×256. В качестве компонента ЭКГ-синхронизированной МРТ сердца и грудной клетки выполняли исследование органов грудной клетки в аксиальных срезах, в T1-ВИ, с дыхательной и ЭКГ-синхронизацией, с удлинёнными показателями TR (1850–1900 мс) и TE=32 мс (рис. 1). В этом режиме устойчиво визуализируются структуры крупных сосудов грудной полости, в частности их стенок. В связи с пограничной величиной показателя скорости клубочковой фильтрации — менее 30 мл/(мин×1,73 м²) — исследование выполнялось без дополнительного парамагнитного контрастного усиления.

Вслед за МРТ сердца проводилась ЭКГ-синхронизированная МРТ восходящей аорты на уровне её перекрёста с бифуркацией лёгочной артерии, в аксиальной плоскости, в кино-режиме, с записью 24 кадров на сердечный цикл, с определением изменений в ходе сердечного цикла толщины стенки аорты (рис. 2, *b*), диаметра и поперечной площади просвета аорты на уровне исследования (отмечено стрелкой на рис. 2, *a*). Проводилась стандартная

обработка результатов МРТ сердца, с расчётом показателей конечно-диастолического (КДОЛЖ, мл) и конечно-систолического (КСОЛЖ, мл) объёмов и фракции выброса (ФВ) левого желудочка. Кроме того, по полученным данным бесконтрастной кино-МРТ был выполнен расчёт биомеханических показателей растяжимости аорты.

На основе этих измерений и линейной биофизической модели [10, 11] рассчитывалась величина поперечной растяжимости аорты [12]:

$$\text{Растяжимость}_{\text{норм}} = S_{\text{сис}} - S_{\text{диаст}} / S_{\text{диаст}} \quad (1)$$

Кроме того, рассчитывалась растяжимость с нормировкой на пульсовое артериальное давление:

$$\text{Растяжимость}_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{сис}} - S_{\text{диаст}} / S_{\text{диаст}}}{AD_{\text{пульс}}} \quad (2),$$

где $S_{\text{сис}}$ и $S_{\text{диаст}}$ — площадь поперечного сечения аорты в систолу и диастолу соответственно, а $AD_{\text{пульс}}$ — артериальное пульсовое давление, как представлено на рис. 3.

Поперечный модуль Юнга для стенки восходящей аорты рассчитывался по данным ЭКГ-синхронизированной МРТ-аортографии по методике, детально изученной в биомеханических экспериментах [10, 11]:

$$E = \frac{d_{\text{диаст}}^2 \times (1 - 0,25) \times AD_{\text{пульс}}}{2 \times h \times \Delta d_{\text{пульс}}} \times 133,3 \quad (3),$$

где E — модуль Юнга (Па),
 $d_{\text{диаст}}$ — поперечный диаметр аорты в диастолу,
 $\Delta d_{\text{пульс}}$ — прирост диаметра аорты в систолу
 0,25 — квадрат коэффициента Пуассона для стенки аорты, о котором (о коэффициенте) известно, что он равен 0,5 [11],
 h — толщина стенки аорты в диастолу (см. рис. 2, *b*)
 $AD_{\text{пульс}}$ — пульсовое артериальное давление,
 133,3 — коэффициент перевода мм рт.ст. в Па.

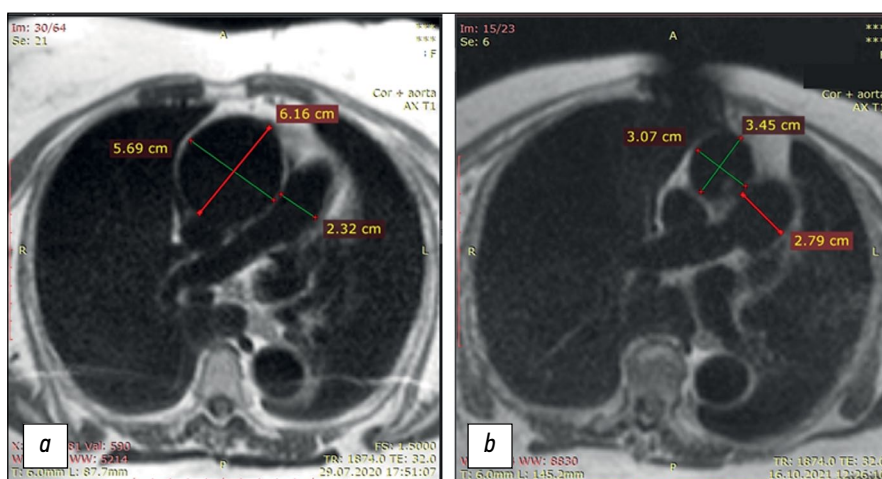


Рис. 1. Поперечные срезы T1-взвешенных изображений органов грудной клетки, в частности грудной аорты, на уровне бифуркации лёгочной артерии у пациентки Б-к: *a* — до протезирования аневризматически расширенной грудной аорты, видно критическое расширение аневризматической восходящей аорты до >6 см; *b* — после протезирования аневризматически расширенной грудной аорты, нормальные величины поперечника восходящей аорты. Нисходящая аорта в пределах нормы как до, так и после протезирования. Обращает внимание расширение лёгочной артерии после протезирования до 27 мм, при исходном поперечнике при поступлении 23 мм. На послеоперационной томограмме также присутствует артефакт в области грудины от проволоочного металлофиксатора.

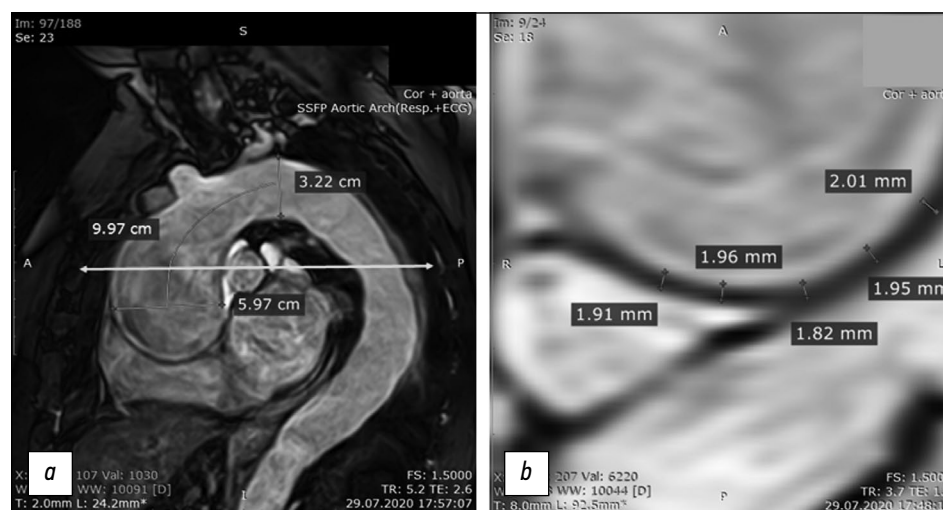


Рис. 2. Магнитно-резонансная томография пациентки Б-к, синхронизированная с электрокардиографией: *a* — магнитно-резонансное ангиографическое исследование грудной аорты. Представлены размеры поперечника на надклапанном уровне и на уровне дуги аорты, а также расстояния между ними, используемые для расчёта показателей объёма восходящей аорты в систолу и диастолу и объёма систолического растяжения. Горизонтальной бирюзовой линией со стрелками по концам отмечен уровень томографического среза; *b* — поперечный томографический срез восходящей аорты в области стенки, с измерениями толщины для последующего расчёта показателей модуля Юнга. Измерения представлены тонкими зелёными линиями с соответствующими значениями рядом.

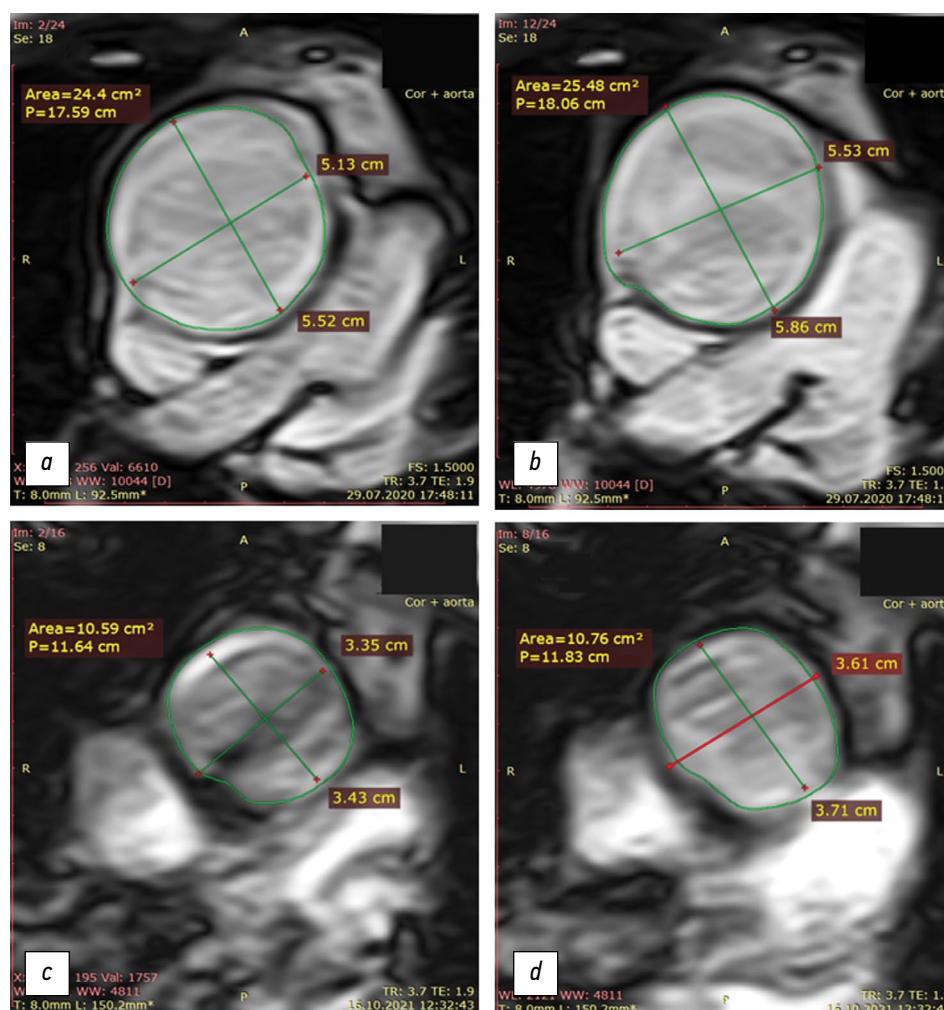


Рис. 3. Картина измерений поперечных размеров и площадей восходящей аорты в диастолу и систолу: верхний ряд — исходно, при поступлении (до операции протезирования аневризматически расширенной аорты); нижний ряд — после протезирования аорты синтетическим протезом; *a*, *c* — диастола; *b*, *d* — систола. Обращает внимание выраженное уменьшение поперечника аорты после хирургического вмешательства при относительно небольшой растяжимости поперечника просвета восходящей аорты.

Рассчитывался объём восходящей аорты, по протяжённости — от надклапанного уровня до середины дуги аорты (между брахиоцефальным стволом и устьем левой общей сонной артерии), в систолу и диастолу. Аорта в восходящем колене представлялась как деформированный, то есть равномерно несжимаемо изогнутый, усечённый конус протяжённостью l (длина участка «аортальный клапан–середина дуги аорты», как показано на рис. 1, а), с радиусом оснований, определяемым по поперечным срезам в кино-режиме: радиус нижнего основания — R , верхнего — r . Тогда объём усечённого деформированного конуса — восходящего колена аорты — с высокой точностью составляет [13]:

$$V = \frac{1}{3}\pi l (R^2 + Rr + r^2) \quad (4)$$

По разнице систолического и диастолического объёмов восходящей аорты определялась величина систолического объёмного расширения аорты $\Delta V_{\text{сис-т}}$ мл, которая определяет объём крови, доступный для коронарного кровоснабжения миокарда в диастолическую фазу сердечного цикла, когда как раз и осуществляется основное кровоснабжение миокарда [6, 14].

Пациентке в условиях искусственного кровообращения было выполнено протезирование восходящей аорты и половины дуги синтетическим протезом GORE-TEX (W.L. Gore & Associates, США) диаметром 35 мм, без замены при этом аортального клапана, поскольку его значимой недостаточности не отмечалось, а эффективный гемодинамический просвет аортального клапана в систолу по площади превышал 2,0 см². Устье брахиоцефального ствола было имплантировано в соответствующую браншу протеза, нарушений кровоснабжения в бассейне правой общей сонной артерии и подключичной артерии в послеоперационном периоде — не отмечено.

Послеоперационный период протекал без собственно хирургических осложнений, в том числе воспалительного характера, без каких бы то ни было признаков нарушения кровоснабжения жизненно важных органов. Наблюдалась синусовая тахикардия в покое (82–92 в минуту), выражено усиливавшаяся при малых нагрузках. Дооперационная величина скорости клубочковой фильтрации, составлявшая 57–65 мл/(мин×1,73 м²), оставалась в этих пределах и после протезирования. Пациентка длительное время

оставалась в условиях необходимости дыхания смесью с обогащённым содержанием кислорода, так как только в этом случае её состояние субъективно оценивалось как близкое к нормальному. При этом, по данным инструментального и клинико-биохимического исследования, признаков послеоперационного инфаркта миокарда не отмечалось. При отсутствии обогащения дыхательной смеси с помощью мембранного концентратора кислорода показатель рО₂ составлял 81–83%, а при его использовании поднимался до 93–95% и (эпизодически в покое) выше. При этом в ходе обследования средствами перфузионной однофотонной компьютерной томографии с ^{99m}Tc-мечеными микросферами признаков тромбоза или эмболии лёгочной артерии и её ветвей не было выявлено.

После хирургического вмешательства толерантность к физической нагрузке по сравнению с дооперационной резко снизилась и была минимальна как в госпитальный послеоперационный период, так и после выписки. Пациентка для подъёма на второй этаж, где она живёт, пользуется исключительно лифтом, а поход для проведения амбулаторного МРТ потребовал использования концентратора кислорода.

В послеоперационный период спустя 4 мес после операции было проведено повторное исследование — МРТ сердца и МР-эластография стенки аорты, показатели которых представлены в табл. 1 и 2 в сравнении с исходными.

Параметры эластичности аорты после имплантации протеза заметно улучшились, впрочем, по-прежнему многократно превосходя норму [8], но за счёт уменьшения диаметра аорты на 2 см резко уменьшился показатель систолического объёмного расширения восходящей аорты $\Delta V_{\text{сис-т}}$.

Послеоперационная величина модуля Юнга стенки аорты — точнее, протеза восходящей аорты — уменьшилась, а эластичность её возросла. Однако в целом величина объёма систолического растяжения аорты всё же снизилась более чем вдвое, до ~5 мл (см. табл. 2), что безусловно недостаточно для адекватного обеспечения коронарного кровоснабжения [8]. При этом геометрические размеры протеза соответствовали паспортным, представленным в документации. Таким образом, даже

Таблица 1. Показатели магнитно-резонансной томографии сердца пациентки Б-к до и после протезирования аорты

	Масса миокарда левого желудочка, г	КДОЛЖ, мл	ФВЛЖ, %	ММЛЖ, г	Объём левого предсердия, мл	Диаметр лёгочной артерии, мм
Исходно (при поступлении)	165	79,4	83	165	55,7	23
После протезирования восходящей аорты	161	94,2	73	161	69,4	28

Примечание. КДОЛЖ — конечно-диастолический объём левого желудочка; ФВЛЖ — фракция выброса левого желудочка; КСОЛЖ — конечно-систолический объём левого желудочка. Жирным шрифтом выделены показатели, указывающие на прогрессирование сердечной недостаточности — увеличение КДОЛЖ, снижение ФВЛЖ, увеличение объёма левого предсердия и расширение лёгочной артерии на 4 мм.

Таблица 2. Показатели магнитно-резонансной эластографии стенки восходящей аорты пациентки Б-к до и после протезирования аорты

	Модуль Юнга стенки восходящей аорты, Па	Растяжимость восходящей аорты		$\Delta V_{\text{сист}}$, мл
		Абсолютная	Нормированная = Абсолютная / (Пульс АД)	
Исходно (при поступлении)	$0,58 \times 10^6$	0,0043	$0,0043/25 = 1,72 \times 10^{-4}$	13,28
После протезирования восходящей аорты	$0,260 \times 10^6$	0,0161	$0,0161/20 = 8,05 \times 10^{-4}$	4,95

в условиях отсутствия значимых коронарных стенозов и при безупречной собственно хирургической технике протезирования восходящей аорты, недостаток растяжимости аортальной стенки оказался критическим фактором, ограничивающим толерантность к нагрузке после протезирования и способствующим прогрессированию левожелудочковой недостаточности, хотя и без развития острого инфаркта миокарда.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для исследования жёсткости аорты, как правило, используют апробированные первоначально в исследованиях на животных [15–17] методы внешней передачи высокочастотной механической волны на аорту, с помощью специального МРТ-совместимого генератора вибрационных волн, с последующей МРТ-регистрацией распространения волн по аортальной стенке [15, 18, 19]. Такой подход заимствован из исследований эластичности паренхиматозных органов и используется достаточно широко [18–20].

Использование высокочастотной методики оценки механической эластичности аорты обеспечивает расчёт этого показателя на всём анатомическом протяжении области исследования — по ходу аорты [19], однако при этом расчёт объёма аорты на том или ином уровне, в первую очередь на уровне восходящей аорты, во внимание не принимается [2]. Необходимость учёта объёмных показателей различных участков аорты при её патологических поражениях стала привлекать детальное внимание в последнее время [15]

Использование картины растяжимости собственно поперечника аорты в ходе сердечного цикла под действием изменения артериального (внутриаортального) давления является в этом смысле более физиологичным [12], а главное — даёт возможность для случая восходящей аорты прямо оценить величину объёма крови, доступной для диастолического «закачивания» в коронарное русло [12]. В нашем случае оказалось, что именно эта расчётная возможность позволила однозначно определить причину послеоперационного состояния пациентки, которое первоначально приписывалось не выявленным дефектам хирургической техники, в итоге ничуть не подтвердившимся.

Данный пример иллюстрирует, что аортальное звено является важнейшим в обеспечении адекватного кровоснабжения миокарда по коронарному руслу [6, 12], а в случае протезирования восходящей аорты эластичность протеза играет для этого обеспечения критическую роль [7]. Это тем более существенно, что показана взаимосвязь между воспалительным поражением аортальной стенки [24] и её жёсткостью [25] — и частотой и тяжестью нарушений мозгового кровообращения. Повышенная жёсткость аортальной стенки — доказанный предиктор повышенной частоты коронарных нарушений у инфарктных пациентов по данным как моноцентровых [12], так и многоцентровых исследований [8, 26]. У кардиологических пациентов, не требующих кардиохирургических вмешательств, показано, что возможно значительное улучшение показателей растяжимости и упругости аорты в ходе медикаментозной терапии [27].

Ранее отмечалось, что дальнейшее развитие материалов для протезирования восходящей аорты по-видимому безальтернативно направлено в сторону использования синтетических и многокомпонентных материалов с сохранённой эластичностью, способных обеспечить адекватное диастолическое кровоснабжение миокарда и толерантность к физической нагрузке [7]. Эта проблема вполне осознаётся производителями [28, 29], и это очевидно в нашем случае: механическая жёсткость стенки аорты после протезирования уменьшилась более чем вдвое по сравнению с аневризматической аортой до операции, а растяжимость сечения по площади улучшилась более чем втрое (см. табл. 2). Однако, в условиях уменьшенного относительно исходной аневризмы аорты диаметра протеза, свойств современных синтетических материалов оказывается недостаточно для поддержания объёмной систолической растяжимости восходящей аорты — показателя $\Delta V_{\text{сист}}$.

С этой точки зрения безусловным преимуществом по параметрам механической растяжимости и эластичности обладают биологические графты аорты [29, 30], выполненные с помощью специальных технологий из крупных магистральных сосудов крупного рогатого скота. Ввиду сохранности структур коллагеновых и эластиновых волокон, они пока единственные, способные обеспечить сохранение растяжимости стенки такой

сложной гемодинамической конструкции, как аорта [30]. МРТ-эластометрия при этом может обеспечить мониторинг упругих свойств аорты после её протезирования как угодно часто и продолжительно по времени наблюдения [8] и может служить методом оценки состояния стенки аорты и показателей механической растяжимости у пациентов с протезированием её восходящего колена и в эксперименте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методически, с точки зрения развития МРТ-эластометрии, существенно, что использование этого метода для получения результатов количественной оценки биомеханического состояния восходящей аорты является важной клинической информацией. Она необходимо должна приниматься во внимание при исследованиях у пациентов с заболеваниями аорты, как атеросклеротического, так и любого иного генеза, и — как в нашем случае — при протезировании необратимо аневризматически изменённой восходящей аорты.

Метод ЭКГ-синхронизированной МРТ-эластометрии для получения показателей растяжимости и расчёта модуля Юнга для поражённой стенки аорты на сегодня безальтернативен, поскольку методически близкий метод эластометрии по данным рентгеновской компьютерной томографии имманентно сопряжён с лучевой нагрузкой на пациента.

Обоснованно полагать расширение клинической применимости МРТ-эластометрии, поскольку расчёт показателя объёма систолического расширения аорты, вероятно, окажется клинически информативен и при других различных по генезу нарушениях биомеханики аорты и патологии коронарного кровообращения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.В. Фридман — разработка плана работы, обработка данных, клиническая оценка результатов МРТ, написание и редактирование текста статьи, подготовка иллюстраций; Т.А. Берген — разработка плана работы, клиническая оценка результатов МРТ, редактирование текста статьи, окончательное одобрение публикационной

версии статьи; Д.А. Сирота — разработка плана работы, клиническая оценка результатов МРТ и оценка результатов кардиохирургического вмешательства, окончательное одобрение публикационной версии статьи; Б.Н. Козлов — выполнение кардиохирургического вмешательства и оценка его результатов, редактирование текста статьи; И.Ю. Журавлева — участие в разработке концепции работы, редактирование текста статьи, окончательное одобрение публикационной версии статьи; А.Р. Таркова — клиническая оценка результатов МРТ, написание текста статьи, подготовка иллюстраций; В.Ю. Усов — разработка концепции работы, обработка данных, клиническая оценка результатов МРТ, написание текста статьи, подготовка иллюстраций, окончательное одобрение публикационной версии статьи; А.М. Чернявский — разработка концепции работы, клиническая оценка результатов МРТ, редактирование текста, окончательное одобрение публикационной версии статьи

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентки на публикацию медицинских данных и фотографий в журнале Digital Diagnostics.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.V. Friedman — development of a research plan, data processing, clinical evaluation of MRI results, writing text, editing text, preparing illustrations for the article; T.A. Bergen — development of the work plan, clinical evaluation of MRI results, text editing, final approval of the publication version of the article; D.A. Sirota — development of the work plan, clinical evaluation of MRI results and evaluation of cardiac surgery results, final approval of the publication version of the article; B.N. Kozlov — performing cardiac surgery and evaluating its results, editing the text; I.Y. Zhuravleva — participation in the development of the work concept, text editing, final approval of the publication version of the article; A.R. Tarkova — clinical evaluation of MRI results, writing the text, preparing illustrations for the article; W.Yu. Usov — development of the work concept, data processing, clinical evaluation of MRI results, writing the text, preparation of illustrations for the article, final approval of the publication version of the article; A.M. Chernyavsky — development of the work concept, clinical evaluation of MRI results, text editing, final approval of the publication version of the article.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript in Digital Diagnostics Journal.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокерия Л.А., Малащенко А.И., Русанов Н.И., и др. Хирургическое лечение аневризмы восходящей аорты с сопутствующим поражением коронарных артерий // *Анналы хирургии*. 2004. № 2. С. 35–42.
2. Константинов Б.А., Белов Ю.В., Кузнецовский Ф.В. Аневризма восходящего отдела и дуги аорты. Москва : Астрель, 2006.
3. Белов Ю.В., Исаев Р.М. Современные стратегии оперативного лечения аневризм дуги аорты // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2014. № 10. С. 122–126.
4. Сирота Д.А., Жульков М.О., Хван Д.С., и др. Предикторы летальности, ремоделирования и возникновения аортосвязанных событий при различных вариантах хирургии проксимального расслоения аорты // *Современные технологии в медицине*. 2023. Т. 15, № 1. С. 38–52. doi: 10.17691/stm2023.15.1.05
5. Белов Ю.В., Исаев Р.М. Стратификация риска в сердечно-сосудистой хирургии // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2014. № 7. С. 78–81.
6. Карпман В.Л., Орёл В.Р. Импеданс артериальной системы и сердечная деятельность // *Физиология человека*. 1985. № 4. С. 628–633.
7. Журавлева И.Ю., Ляшенко М.М., Шаданов А.А., Сирота Д.А., Чернявский А.М. Quo vadimus? Фундаментальные проблемы разработки гибридных протезов грудной аорты // *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2021. Т. 27, № 4. С. 103–112. doi: 10.33529/ANGIO2021412
8. Усов В.Ю., Игнатенко Г.А., Берген Т.А., и др. Вычислительная оценка механоэластических свойств и парамагнитного контрастного усиления стенки восходящей аорты при остром инфаркте и некоронарных повреждениях миокарда, по данным динамической ЭКГ-синхронизированной МР-томографии (МР-эластометрии) // *Трансляционная медицина*. 2021. Т. 8, № 6. С. 43–58. doi: 10.18705/2311-4495-2021-6-43-58
9. Усов В.Ю., Игнатенко Г.А., Максимова А.С., и др. Взаимосвязи структурных изменений стенки восходящей аорты и миокарда, по данным МР-томографии с контрастным усилением у пациентов после инфаркта миокарда // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2023. Т. 22, № 1. С. 41–51. doi: 10.24884/1682-6655-2023-22-1-41-51
10. Пурина Б.А., Касьянов В.А. Биомеханика крупных кровеносных сосудов человека. Рига : Зинатне, 1980.
11. Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У. Механика кровообращения. Москва : Мир, 1981.
12. Скрипник А.Ю., Фокин В.А., Мирончук Р.Р., и др. Оценка эластических характеристик стенки восходящего отдела аорты при помощи компьютерно-томографической ангиографии в режиме электрокардиографической синхронизации с расширенной постпроцессорной обработкой данных // *Российский кардиологический журнал*. 2019. Т. 24, № 12. С. 48–54. doi: 10.15829/1560-4071-2019-12-48-54
13. Зельдович Я.Б. Высшая математика для начинающих. Москва : Наука, 1963.
14. Дудко В.А., Карпов Р.С. Атеросклероз сосудов сердца и головного мозга. Томск : STT, 2002.
15. Kolipaka A., Woodrum D., Araoz P.A., Ehman R.L. MR elastography of the in vivo abdominal aorta: a feasibility study for comparing aortic stiffness between hypertensives and normotensives // *J Magn Reson Imaging*. 2012. Vol. 35, N 3. P. 582–586. doi: 10.1002/jmri.22866
16. Damughatla A.R., Raterman B., Sharkey-Toppen T., et al. Quantification of aortic stiffness using MR elastography and its comparison to MRI-based pulse wave velocity // *J Magn Reson Imaging*. 2015. Vol. 41, N 1. P. 44–51. doi: 10.1002/jmri.24506
17. Kolipaka A., Araoz P.A., McGee K.P., Manduca A., Ehman R.L. Magnetic resonance elastography as a method for the assessment of effective myocardial stiffness throughout the cardiac cycle // *Magn Reson Med*. 2010. Vol. 64, N 3. P. 862–870. doi: 10.1002/mrm.22467
18. Dresner M.A., Rose G.H., Rossman P.J., et al. Magnetic resonance elastography of skeletal muscle // *J Magn Reson Imaging*. 2001. Vol. 13, N 2. P. 269–276. doi: 10.1002/1522-2586(200102)13:2<269::aid-jmri1039>3.0.co;2-1
19. Hrabak-Paar M., Kircher A., Al Sayari S., et al. Variability of MRI Aortic Stiffness Measurements in a Multicenter Clinical Trial Setting: Intraobserver, Interobserver, and Intracenter Variability of Pulse Wave Velocity and Aortic Strain Measurement // *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2020. Vol. 2, N 2. P. e190090. doi: 10.1148/ryct.2020190090Woodrum
20. Woodrum D.A., Romano A.J., Lerman A., et al. Vascular wall elasticity measurement by magnetic resonance imaging // *Magn Reson Med*. 2006. Vol. 56, N 3. P. 593–600. doi: 10.1002/mrm.20991
21. Кобелев Е., Шаданов А.А., Сирота Д.А., и др. Объёмный анализ компьютерно-томографической ангиографии при лечении расслоения грудной аорты на примере с семилетним периодом наблюдения // *Медицинская визуализация*. 2022. Т. 26, № 3. С. 46–56. doi: 10.24835/1607-0763-1060
22. Кобелев Е., Берген Т.А., Таркова А.Р., и др. Новый взгляд на структурные изменения корня аорты при стенозе аортального клапана // *Современные технологии в медицине*. 2022. Т. 14, № 2. С. 51–58. doi: 10.17691/stm2022.14.2.05
23. Непомнящих Л.М. Морфогенез важнейших общепатологических процессов в сердце. Новосибирск : Наука, 1991.
24. Усов В.Ю., Беличенко О.И., Максимова А.С., и др. Магнитно-резонансная томография аортальной стенки с парамагнитным контрастным усилением в оценке тяжести её атеросклеротического поражения и прогнозировании окклюзионно-тромботических артериальных осложнений // *Терапевт*. 2017. Т. 128, № 9. С. 55–62.
25. Badji A., Sabra D., Bherer L., et al. Arterial stiffness and brain integrity: A review of MRI findings // *Ageing Res Rev*. 2019. Vol. 53. doi: 10.1016/j.arr.2019.05.001
26. Lechner I., Reindl M., Tiller C., et al. Determinants and prognostic relevance of aortic stiffness in patients with recent ST-elevation myocardial infarction // *Int J Cardiovasc Imaging*. 2022. Vol. 38, N 1. P. 237–247. doi: 10.1007/s10554-021-02383-0
27. Прибылов С.А., Яковлева М.В., Прибылов В.С., и др. Артериальная ригидность у пациентов с острым коронарным синдромом без стойкого подъёма сегмента ST в сочетании с хронической болезнью почек и артериальной гипертензией и её коррекция на фоне антигипертензивной терапии // *Человек и его здоровье*. 2022. Т. 25, № 1. С. 19–27. doi: 10.21626/vestnik/2022-1/03
28. Сойнов И.А., Журавлева И.Ю., Кулябин Ю.Ю., и др. Тканевая инженерия в сердечно-сосудистой хирургии: эволюция и современное состояние проблемы // *Вестник эксперимен-*

тальной и клинической хирургии. 2019. Т. 12, № 1. С. 71–80. doi: 10.18499/2070-478X-2019-12-1-71-80

29. Журавлева И.Ю., Тимченко Т.П., Владимиров С.В., и др. Ab ovo: факторы, влияющие на радиальную жёсткость стент-графтов грудного отдела аорты // Современные технологии в медицине. 2021. Т. 13, № 1. С. 17–26. doi: 10.17691/stm2021.13.1.02

REFERENCES

1. Bokeriya LA, Malashenkov AI, Rusanov NI, et al. Surgical treatment of ascending aortic aneurysm with concomitant coronary artery disease. *Annaly khirurgii*. 2004(2):35–42. (In Russ).
2. Konstantinov BA, Belov YuV, Kuznechevskii FV. *Aneurysm of the ascending aorta and aortic arch*. Moscow: Astrel'; 2006. (In Russ).
3. Belov IuV, Isaev PM. Modern strategies of surgical treatment of aortic arch aneurysms. *Pirogov Russian Journal of Surgery (Khirurgiya. Zhurnal im. N.I Pirogova)*. 2014(10):122–126.
4. Sirota DA, Zhulkov MO, Khvan DS. Predictors of Lethality, Remodeling, and Aorta-Related Events in Different Types of Proximal Aortic Dissection Surgery. *Modern Technologies in Medicine*. 2023;15(1):38–52. doi: 10.17691/stm2023.15.1.05
5. Belov IuV, Isaev RM. Risk stratification in cardiovascular surgery. *Pirogov Russian Journal of Surgery (Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova)*. 2014(7):78–81.
6. Karpman VL, Orel VR. Arterial system impedance and cardiac function. *Human Physiology*. 1985;(4):628–633. (In Russ).
7. Zhuravleva IYu, Lyashenko MM, Shadanov AA, Sirota DA, Chernyavskiy AM. Quo vadimus? Fundamental problems of developing hybrid prostheses of thoracic aorta. *Angiology and vascular surgery*. 2021;27(4):103–112. doi: 10.33529/ANGIO2021412
8. Ussov WYu, Ignatenko GA, Bergen TA, et al. Computational evaluation of mechano-elastic properties and of paramagnetic contrast enhancement of thoracic aortic wall in acute myocardial infarction and in non-coronarogenic myocardial damage, from the data of dynamic ECG-gated MRI (MR-elastometry). *Translational Medicine*. 2021;8(6):43–58. doi: 10.18705/2311-4495-2021-6-43-58
9. Ussov WYu, Igantenko GA, Maksimova AS, et al. The relationship of structural changes in the wall of the ascending aorta and myocardium according to chest contrast-enhanced MRI in myocardial infarction patients. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2023;22(1):41–51. doi: 10.24884/1682-6655-2023-22-1-41-51
10. Purinya BA, Kas'yanov VA. *Biomechanics of human large blood vessels*. Riga: Zinatne; 1980. (In Russ).
11. Karo K, Pedli T, Shroter R, Sid U. *Circulatory mechanics*. Moscow: Mir; 1981. (In Russ).
12. Skripnik AYU, Fokin VA, Mironchuk RR, et al. Assessment of the elastic properties of the ascending aorta using electrocardiographic synchronized computed tomography angiography with advanced data processing. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;24(12):48–54. doi: 10.15829/1560-4071-2019-12-48-54
13. Zel'dovich YaB. *Advanced Math for Beginners*. Moscow: Nauka; 1963. (In Russ).
14. Dudko VA, Karpov RS. *Atherosclerosis of heart and brain vessels*. Tomsk: STT; 2002. (In Russ).
15. Kolipaka A, Woodrum D, Araoz PA, Ehman RL. MR elastography of the in vivo abdominal aorta: a feasibility study for comparing aortic stiffness between hypertensives and normotensives. *J Magn Reson Imaging*. 2012;35(3):582–586. doi: 10.1002/jmri.22866
16. Damughatla AR, Raterman B, Sharkey-Toppen T, et al. Quantification of aortic stiffness using MR elastography and its comparison to MRI-based pulse wave velocity. *J Magn Reson Imaging*. 2015;41(1):44–51. doi: 10.1002/jmri.24506
17. Kolipaka A, Araoz PA, McGee KP, Manduca A, Ehman RL. Magnetic resonance elastography as a method for the assessment of effective myocardial stiffness throughout the cardiac cycle. *Magn Reson Med*. 2010;64(3):862–870. doi: 10.1002/mrm.22467
18. Dresner MA, Rose GH, Rossman PJ, et al. Magnetic resonance elastography of skeletal muscle. *J Magn Reson Imaging*. 2001;13(2):269–276. doi: 10.1002/1522-2586(200102)13:2<269::aid-jmri1039>3.0.co;2-1
19. Hrabak-Paar M, Kircher A, Al Sayari S, et al. Variability of MRI Aortic Stiffness Measurements in a Multicenter Clinical Trial Setting: Intraobserver, Interobserver, and Intracenter Variability of Pulse Wave Velocity and Aortic Strain Measurement. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2020;2(2):e190090. doi: 10.1148/ryct.2020190090
20. Woodrum DA, Romano AJ, Lerman A, et al. Vascular wall elasticity measurement by magnetic resonance imaging. *Magn Reson Med*. 2006;56(3):593–600. doi: 10.1002/mrm.20991
21. Kobelev E, Shadanov AA, Sirota DA, et al. Volumetric analysis on computed tomography Angiography in the management of thoracic aortic dissection in case of seven years follow-up period. *Medical Visualization*. 2022;26(3):46–56. doi: 10.24835/1607-0763-1060
22. Kobelev E, Bergen TA, Tarkova AR, et al. A New Look at Structural Changes in the Aortic Root in Aortic Valve Stenosis. *Modern Technologies in Medicine*. 2022;14(2):51–58. doi: 10.17691/stm2022.14.2.05
23. Nepomnyashchikh LM. *Morphogenesis of the most important common pathologic processes in the heart*. Novosibirsk: Nauka; 1991. (In Russ).
24. Ussov WYu, Belichenko OI, Maksimova AS, et al. Magnetic resonance imaging of the aortic wall with paramagnetic contrast enhancement in assessing the severity of its atherosclerotic lesion and predicting occlusive thrombotic arterial complications. *Terapevt*. 2017;128(9):55–62. (In Russ).
25. Badji A, Sabra D, Bherer L, et al. Arterial stiffness and brain integrity: A review of MRI findings. *Ageing Res Rev*. 2019;53. doi: 10.1016/j.arr.2019.05.001
26. Lechner I, Reindl M, Tiller C, et al. Determinants and prognostic relevance of aortic stiffness in patients with recent ST-elevation myocardial infarction. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2022;38(1):237–247. doi: 10.1007/s10554-021-02383-0
27. Pribylov SA, Yakovleva MV, Pribylov VS, et al. Arterial stiffness in patients with acute coronary syndrome without persistent ST segment elevation combined with chronic kidney disease and arterial hypertension and its correction with antihypertensive therapy. *Humans and their health*. 2022;25(1):19–27. doi: 10.21626/vestnik/2022-1/03

- 28.** Soyнов IA, Zhuravleva IY, Kulyabin YY, et al. Tissue Engineering in Cardiovascular Surgery: Evolution and Contemporary Condition of the Problem. *Journal of Experimental and Clinical Surgery*. 2019;12(1):71–80. doi: 10.18499/2070-478X-2019-12-1-71-80
- 29.** Zhuravleva IYu, Timchenko TP, Vladimirov SV, et al. Ab ovo: Factors Affecting the Radial Stiffness of Thoracic Aorta Stent-

- Grafts. *Modern Technologies in Medicine*. 2021;13(1):17–26. doi: 10.17691/stm2021.13.1.02
- 30.** Vasilyeva MB, Kuznetsova EV, Rusakova YaL, et al. Mechanical properties of native and decellularized aortic wall after long-term storage in biocide solutions. *Russian Journal of Transplantology and Artificial Organs*. 2021;23(4):86–94. doi: 10.15825/1995-1191-2021-4-86-94

ОБ АВТОРАХ

Усов Владимир Юрьевич, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, Новосибирск, 630090, ул. Речкуновская, 15;
ORCID: 0000-0001-7978-5514;
eLibrary SPIN: 1299-2074;
e-mail: ussov1962@yandex.ru

Фридман Александр Владимирович;
ORCID: 0000-0002-2300-2418;
eLibrary SPIN: 9508-8975;
e-mail: fridman_a@meshalkin.ru

Берген Татьяна Андреевна, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0003-1530-1327;
eLibrary SPIN: 5467-7347;
e-mail: tbergen@yandex.ru

Сирота Дмитрий Андреевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-9940-3541;
eLibrary SPIN: 4706-7549;
e-mail: d_sirota@meshalkin.ru

Козлов Борис Николаевич, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-0217-7737;
eLibrary SPIN: 9265-9432;
e-mail: kbn@cardio-tomsk.ru

Журавлева Ирина Юрьевна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-1935-4170;
eLibrary SPIN: 7322-1480;
e-mail: zhuravleva_i@meshalkin.ru

Таркова Александра Романовна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-4291-6047;
eLibrary SPIN: 8547-4380;
e-mail: a_tarkova@meshalkin.ru

Чернявский Александр Михайлович, д-р мед. наук, профес-
сор, член-корреспондент РАН;
ORCID: 0000-0001-9818-8678;
eLibrary SPIN: 5286-6950;
e-mail: a_cherniavsky@meshalkin.ru

AUTHORS' INFO

Wladimir Yu. Ussov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
address: 15 Rechkunovskaya Str., Novosibirsk, 630090, Russia;
ORCID: 0000-0001-7978-5514;
eLibrary SPIN: 1299-2074;
e-mail: ussov1962@yandex.ru

Alexander V. Friedman, MD;
ORCID: 0000-0002-2300-2418;
eLibrary SPIN: 9508-8975;
e-mail: fridman_a@meshalkin.ru

Tatiana A. Bergen, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-1530-1327;
eLibrary SPIN: 5467-7347;
e-mail: tbergen@yandex.ru

Dmitry A. Sirota, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-9940-3541;
eLibrary SPIN: 4706-7549;
e-mail: d_sirota@meshalkin.ru

Boris N. Kozlov, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-0217-7737;
eLibrary SPIN: 9265-9432;
e-mail: kbn@cardio-tomsk.ru

Irina Yu. Zhuravleva, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-1935-4170;
eLibrary SPIN: 7322-1480;
e-mail: zhuravleva_i@meshalkin.ru

Alexandra R. Tarkova, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-4291-6047;
eLibrary SPIN: 8547-4380;
e-mail: a_tarkova@meshalkin.ru

Alexander M. Chernyavskiy, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor,
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences;
ORCID: 0000-0001-9818-8678;
eLibrary SPIN: 5286-6950;
e-mail: a_cherniavsky@meshalkin.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623376>

Идиопатическая инвагинация кишечника: результаты визуализации неотложной абдоминальной патологии

R.F. Balzano¹, F. Lattanzio¹, G. Fascia², M. Montatore², M. Balbino², F. Masino²,
D. Mannatrizio², G. Guglielmi^{1,2,3}

¹ Monsignor Raffaele Dimiccoli Hospital, Барлетта, Италия;

² Университет Фоджи, Фоджа, Италия;

³ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Фоджа, Италия

АННОТАЦИЯ

Инвагинация кишечника у взрослых — редкая причина кишечной непроходимости и обычно связана с неопластическими заболеваниями. Идиопатические формы встречаются крайне редко. В статье описывается случай инвагинации кишечника у молодой женщины, которая испытывала симптомы кишечной непроходимости. Представлены результаты визуализации.

Первичных заболеваний при гистологическом исследовании выявлено не было. Пациентка поступила в больницу для проведения компьютерной томографии из-за постоянных болей в животе. Компьютерная томография выявила инвагинацию кишечника с вовлечением илеоцекального клапана и купола слепой кишки, а также отёчность и утолщение стенок париетальной брюшины. Идиопатическая инвагинация кишечника — редкое неотложное состояние органов брюшной полости у взрослых. Симптомы могут быть персистирующими, стёртыми и неясными, что затрудняет постановку точного диагноза. В таких случаях решающее значение имеет диагностическая визуализация. Некоторые результаты компьютерной томографии, такие как мишеневидное содержимое кишечника, могут указывать на данное заболевание.

Ключевые слова: инвагинация, лапароскопия; колэктомия; компьютерная томография; брюшная полость.

Как цитировать:

Balzano R.F., Lattanzio F., Fascia G., Montatore M., Balbino M., Masino F., Mannatrizio D., Guglielmi G. Идиопатическая инвагинация кишечника: результаты визуализации неотложной абдоминальной патологии // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 354–360. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623376>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623376>

Idiopathic enterocolic intussusception: imaging findings in an abdominal emergency

Rosario Francesco Balzano¹, Francesco Lattanzio¹, Giacomo Fascia², Manuela Montatore², Marina Balbino², Federica Masino², Domenico Mannatrizio², Giuseppe Guglielmi^{1,2,3}

¹ Monsignor Raffaele Dimiccoli, Barletta, Italy;

² Foggia University, Foggia, Italy;

³ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Foggia, Italy

ABSTRACT

Adult intussusceptions are a rare cause of abdominal obstruction and are usually associated with a neoplastic disease; idiopathic forms are extremely rare. We report a case of enterocolic intussusception in a young woman who experienced symptoms of abdominal obstruction. Imaging findings were reported. On histological examination, no underlying diseases were found. The patient presented at the hospital for computed tomography because of persistent abdominal pain. Computed tomography revealed an enterocolic invagination involving the ileocecal valve and cecum and widespread edematous thickening of the colonic parietal walls.

Idiopathic enterocolic intussusception is an uncommon abdominal urgency in adults. Symptoms can be vague and persistent, delaying an accurate diagnosis. Imaging is crucial in these circumstances to make a diagnosis. Some computed tomography findings, such as a target-like bulk, may be suggestive.

Keywords: intussusception; laparoscopy; colectomy; computed tomography; abdomen.

To cite this article:

Balzano RF, Lattanzio F, Fascia G, Montatore M, Balbino M, Masino F, Mannatrizio D, Guglielmi G. Idiopathic enterocolic intussusception: imaging findings in an abdominal emergency. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):354–360. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623376>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623376>

特发性肠套叠：急诊腹部病理成像结果

Rosario Francesco Balzano¹, Francesco Lattanzio¹, Giacomo Fascia²,
Manuela Montatore², Marina Balbino², Federica Masino², Domenico Mannatrizio²,
Giuseppe Guglielmi^{1,2,3}

¹ Monsignor Raffaele Dimiccoli, Barletta, Italy;

² Foggia University, Foggia, Italy;

³ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Foggia, Italy

摘要

成人肠套叠是一种罕见的肠梗阻病因，通常与肿瘤疾病有关。特发性肠套叠极为罕见。本文描述了一例年轻女性肠套叠病例，她曾出现过肠梗阻症状。本文还介绍了影像学检查结果。组织学检查未发现原发性疾病。患者因持续腹痛入院进行计算机断层扫描。计算机断层扫描显示了，肠套叠累及回盲瓣和盲肠穹隆，壁层腹膜壁肿胀增厚。特发性肠套叠是一种罕见的成人急腹症。症状可能是持续性的、磨灭的和模糊的，因此很难做出明确诊断。在这种情况下，影像学诊断至关重要。某些计算机断层扫描结果（如靶形肠内容物）可能预示着这种疾病。

关键词：肠套叠；腹腔镜检查；结肠切除术；计算机断层扫描；腹部。

引用本文：

Balzano RF, Lattanzio F, Fascia G, Montatore M, Balbino M, Masino F, Mannatrizio D, Guglielmi G. 特发性肠套叠：急诊腹部病理成像结果. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):354–360. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD623376>

收到: 15.11. 2023

接受: 19.12.2023

发布日期: 10.07.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ

Инвагинация кишечника у взрослых — редкое неотложное состояние органов брюшной полости [1]. Инвагинация представляет собой внедрение проксимального сегмента кишечника (инвагинат) и его брыжейки в просвет дистального отдела (влагалище инвагината) вследствие аномальной подвижности кишечника [1, 2]. Инвагинация может затрагивать любой участок кишечника, однако обычно возникает при контакте подвижной кишечной петли с фиксированным забрюшинным сегментом [1, 3]. Среди взрослых инвагинация встречается редко, и она часто сопряжена с органическим поражением, характерным для детей. Симптомы, как правило, неспецифичны, что усложняет диагностику [4, 5].

ОПИСАНИЕ СЛУЧАЯ

Анамнез

Женщина, 37 лет, поступила в отделение неотложной помощи с жалобами на боли в животе в течение 4 дней, которые усилились в последние несколько часов. Лихорадки не было, но присутствовали изменения дефекации (чередование поносов и запоров).

Диагностическая оценка и дифференциальная диагностика

Для исключения возможных причин кишечной непроходимости была проведена компьютерная томография (КТ) до и после внутривенного введения йодсодержащего контрастного вещества. КТ выявила инвагинацию кишечника с вовлечением илеоцекального клапана и купола слепой кишки с диффузным отёчным утолщением стенок париетальной брюшины. Кроме того, присутствовали отёчные тяжи в прилежащей забрюшинной жировой клетчатке, признаки лимфаденопатии и небольшое скопление жидкости в правой подвздошной ямке (рис. 1).

В ходе мультипланарной реконструкции (МПР) визуализируется мишеневидный участок кишечника (рис. 2).

Вмешательства

В связи с быстрым прогрессированием клинических признаков было предложено хирургическое лечение, после чего выполнена лапароскопическая колэктомия справа. Приём жидкости внутрь был начат на второй день, твёрдой пищи — на третий день после операции.

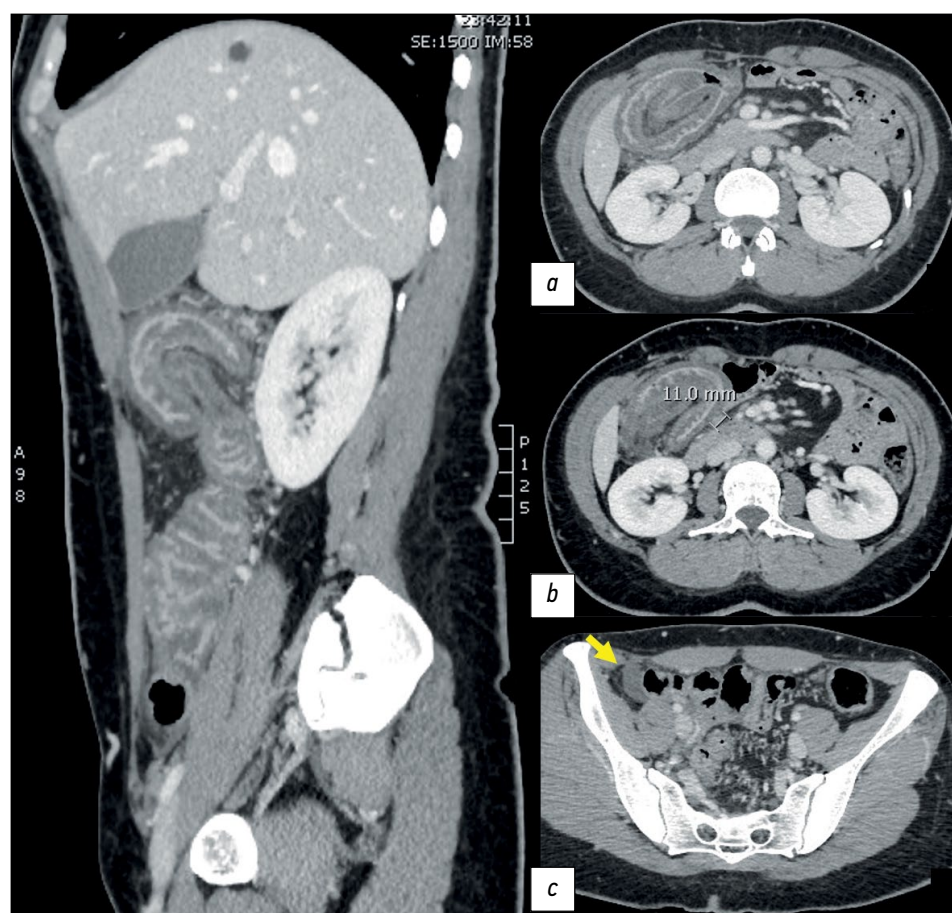


Рис. 1. Компьютерная томография брюшной полости, портальная фаза. Мультипланарная сагиттальная реконструкция: *a* — инвагинация кишечника с вовлечением жировой ткани брыжейки и сосудистых структур; *b* — толстые отёчные стенки, тягистое уплотнение жировой клетчатки; *c* — сателлитные узлы (11 мм).



Рис. 2. Косая сагиттальная мультипланарная реконструкция в ортогональном направлении: «симптом мишени» вследствие чередования отёчных стенок и жировой ткани брыжейки.

Наблюдение и исход

Пациентка была выписана на 6-й день после операции. Осложнений не наблюдалось. Гистологическое исследование выявило воспалительные изменения в стенках кишечника с реактивными сателлитными узлами. Других заболеваний, связанных с инвагинацией, не обнаружено.

ОБСУЖДЕНИЕ

Инвагинация кишечника у взрослых — нетипичная причина кишечной непроходимости. В отличие от инвагинации у детей, которая является первичной и доброкачественной, инвагинация у взрослых (особенно толстой кишки) связана с неопластическими заболеваниями [6]. Следовательно, взрослым часто требуется хирургическое вмешательство.

Некоторым пациентам рекомендуется консервативное лечение путём редукции при условии жизнеспособности кишечника. В остальных случаях при наличии признаков воспаления или ишемии кишечной стенки проводить редукцию не рекомендуется. В нашем случае была выполнена лапароскопическая колэктомия справа.

В зависимости от локализации обычно выделяют три вида инвагинации: тонко-тонкокишечную (внедрение тонкой кишки в тонкую), толсто-толстокишечную (внедрение толстой кишки в толстую) и тонко-толстокишечную, которая может быть илеоцекальной и илеоколической [1, 2]. Обструкция венозного кровотока может привести к отёку

и ишемии вовлечённой кишечной петли, в конечном итоге может развиваться некроз [6].

У детей инвагинация чаще всего носит идиопатический характер [6]. В большинстве случаев она проявляется классической триадой: схваткообразная боль в животе, стул по типу смородинового желе и пальпируемое в брюшной полости колбасовидное образование [6, 7].

Инвагинация у взрослых, напротив, встречается очень редко, составляя примерно 5% всех диагностированных случаев [5, 8]. В этом случае она может проявляться длительными неспецифическими абдоминальными симптомами (тошнота, рвота, изменения дефекации, абдоминальная дистензия, желудочно-кишечные кровотечения), что затрудняет диагностику [4, 6].

У взрослых инвагинация может быть связана как с доброкачественными, так и со злокачественными образованиями. Однако идиопатические формы встречаются реже и обычно затрагивают тонкую кишку, как в нашем случае. Для постановки диагноза, особенно в наиболее проблемных случаях, важную роль играет визуализация [9]. КТ брюшной полости считается методом выбора при данной патологии, поскольку позволяет оценить место инвагинации, её протяженность и вовлечённый сегмент кишечника [10]. Кроме того, с помощью КТ можно определить точку внедрения одного сегмента кишки в другой, что позволяет исключить возможные осложнения, в том числе ишемию кишечной стенки и перфорацию. Проникновение инвагината во влагалище визуализируется на КТ как «мишень» вследствие чередования кишечных стенок и жировой ткани брыжейки при наблюдении в плоскости, перпендикулярной главной оси вовлечённого сегмента [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Идиопатическая инвагинация кишечника — редкое неотложное состояние органов брюшной полости у взрослых. Симптомы могут быть неспецифическими и персистирующими, что может отсрочить постановку правильного диагноза. В таких случаях основную роль в диагностике играют методы визуализации. Некоторые результаты КТ, такие как мишеневидные образования, могут указывать на данное заболевание.

Лапароскопическая колэктомия справа сопоставима с открытой операцией. К очевидным преимуществам лапароскопической операции относятся более низкий уровень инфицирования операционного поля, меньшая продолжительность использования назогастрального зонда, меньшая интенсивность послеоперационной боли и лучшие эстетические результаты. В экстренных случаях непроходимости кишечника лапароскопическая колэктомия справа может быть безопасной и эффективной при условии её выполнения опытными хирургами.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при публикации статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных и фотографий в журнале Digital Diagnostics.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript in Digital Diagnostics Journal.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Valentini V., Buquicchio G.L., Galluzzo M., et al. Intussusception in Adults: The Role of MDCT in the Identification of the Site and Cause of Obstruction // *Gastroenterol Res Pract.* 2016. Vol. 2016. P. 5623718. doi: 10.1155/2016/5623718
2. Kim Y.H., Blake M.A., Harisinghani M.G., et al. Adult intestinal intussusception: CT appearances and identification of a causative lead point // *Radiographics.* 2006. Vol. 26, N 3. P. 733–744. doi: 10.1148/rg.263055100
3. Gollub M.J. Colonic intussusception: clinical and radiographic features // *AJR Am J Roentgenol.* 2011. Vol. 196, N 5. P. W580–W585. doi: 10.2214/AJR.10.5112
4. Marinis A., Yiallourou A., Samanides L., et al. Intussusception of the bowel in adults: a review // *World J Gastroenterol.* 2009. Vol. 15, N 4. P. 407–411. doi: 10.3748/wjg.15.407
5. Azar T., Berger D.L. Adult intussusception // *Ann Surg.* 1997. Vol. 226, N 2. P. 134–138. doi: 10.1097/00000658-199708000-00003
6. Aydin N., Roth A., Misra S. Surgical versus conservative management of adult intussusception: Case series and review // *Int J Surg Case Rep.* 2016. Vol. 20. P. 142–146. doi: 10.1016/j.ijscr.2016.01.019
7. Waseem M., Rosenberg H.K. Intussusception // *Pediatr Emerg Care.* 2008. Vol. 24, N 11. P. 793–800. doi: 10.1097/PEC.0b013e31818c2a3e
8. Martín-Lorenzo J.G., Torralba-Martínez A., Lirón-Ruiz R., et al. Intestinal invagination in adults: preoperative diagnosis and management // *Int J Colorectal Dis.* 2004. Vol. 19, N 1. P. 68–72. doi: 10.1007/s00384-003-0514-z
9. Amoruso M., D'Abbicco D., Praino S., et al. Idiopathic adult colo-colonic intussusception: Case report and review of the literature // *Int J Surg Case Rep.* 2013. Vol. 4, N 4. P. 416–418. doi: 10.1016/j.ijscr.2013.01.010
10. Dawes L.C., Hunt R., Wong J.K., et al. Multiplanar reconstruction in adult intussusception: case report and literature review // *Australasian Radiology.* 2004. Vol. 48, N 1. P. 74–76. doi: 10.1111/j.1440-1673.2004.01249.x

REFERENCES

1. Valentini V, Buquicchio GL, Galluzzo M, et al. Intussusception in Adults: The Role of MDCT in the Identification of the Site and Cause of Obstruction. *Gastroenterol Res Pract.* 2016;2016:5623718. doi: 10.1155/2016/5623718
2. Kim YH, Blake MA, Harisinghani MG, et al. Adult intestinal intussusception: CT appearances and identification of a causative lead point. *Radiographics.* 2006;26(3):733–744. doi: 10.1148/rg.263055100
3. Gollub MJ. Colonic intussusception: clinical and radiographic features. *AJR Am J Roentgenol.* 2011;196(5):W580–W585. doi: 10.2214/AJR.10.5112
4. Marinis A, Yiallourou A, Samanides L, et al. Intussusception of the bowel in adults: a review. *World J Gastroenterol.* 2009;15(4):407–411. doi: 10.3748/wjg.15.407
5. Azar T, Berger DL. Adult intussusception. *Ann Surg.* 1997;226(2):134–138. doi: 10.1097/00000658-199708000-00003
6. Aydin N, Roth A, Misra S. Surgical versus conservative management of adult intussusception: Case series and review. *Int J Surg Case Rep.* 2016;20:142–146. doi: 10.1016/j.ijscr.2016.01.019
7. Waseem M, Rosenberg HK. Intussusception. *Pediatr Emerg Care.* 2008;24(11):793–800. doi: 10.1097/PEC.0b013e31818c2a3e
8. Martín-Lorenzo JG, Torralba-Martínez A, Lirón-Ruiz R, et al. Intestinal invagination in adults: preoperative diagnosis and management. *Int J Colorectal Dis.* 2004;19(1):68–72. doi: 10.1007/s00384-003-0514-z
9. Amoruso M, D'Abbicco D, Praino S, et al. Idiopathic adult colo-colonic intussusception: Case report and review of the literature. *Int J Surg Case Rep.* 2013;4(4):416–418. doi: 10.1016/j.ijscr.2013.01.010
10. Dawes LC, Hunt R, Wong JK, et al. Multiplanar reconstruction in adult intussusception: case report and literature review. *Australasian Radiology.* 2004;48(1):74–76. doi: 10.1111/j.1440-1673.2004.01249.x

05 ABTOPAX

*** Giuseppe Guglielmi**, MD, Professor;
address: Viale L. Pinto 1, 71121, Foggia, Italy;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Rosario Francesco Balzano, MD;
ORCID: 0000-0001-5630-6760;
e-mail: ro.balzano@gmail.com

Francesco Lattanzio, MD;
e-mail: fralattanzio@hotmail.com

Giacomo Fascia, MD;
ORCID: 0000-0001-5244-5093;
e-mail: giacomo.fascia@unifg.it

Manuela Montatore, MD;
ORCID: 0009-0002-1526-5047;
e-mail: manuela.montatore@unifg.it

Marina Balbino, MD;
ORCID: 0009-0009-2808-5708;
e-mail: marina.balbino@unifg.it

Federica Masino, MD;
ORCID: 0009-0004-4289-3289;
e-mail: federica.masino@unifg.it

Domenico Mannatrizio, MD;
ORCID: 0000-0003-3365-7132;
e-mail: dr.mannatrizio@gmail.com

AUTHORS' INFO

*** Giuseppe Guglielmi**, MD, Professor;
address: Viale L. Pinto 1, 71121, Foggia, Italy;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Rosario Francesco Balzano, MD;
ORCID: 0000-0001-5630-6760;
e-mail: ro.balzano@gmail.com

Francesco Lattanzio, MD;
e-mail: fralattanzio@hotmail.com

Giacomo Fascia, MD;
ORCID: 0000-0001-5244-5093;
e-mail: giacomo.fascia@unifg.it

Manuela Montatore, MD;
ORCID: 0009-0002-1526-5047;
e-mail: manuela.montatore@unifg.it

Marina Balbino, MD;
ORCID: 0009-0009-2808-5708;
e-mail: marina.balbino@unifg.it

Federica Masino, MD;
ORCID: 0009-0004-4289-3289;
e-mail: federica.masino@unifg.it

Domenico Mannatrizio, MD;
ORCID: 0000-0003-3365-7132;
e-mail: dr.mannatrizio@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD619643>

Односторонняя атрезия лёгочных вен: сложности лучевой диагностики

В.В. Жарикова¹, В.А. Нечаев¹, Е.А. Куликова¹, А.Л. Юдин²¹ Городская клиническая онкологическая больница №1, Москва, Россия;² Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Атрезия лёгочных вен — редкий порок развития, который может возникать как изолированно, так и в сочетании с другими врождёнными пороками развития сердечно-сосудистой системы, например, с таким как гипоплазия лёгочной артерии. Атрезия лёгочных вен приводит к изменениям в работе сердечно-сосудистой системы. Данный порок развития чаще диагностируется в младенческом и раннем детском возрасте ввиду рецидивирующих эпизодов пневмонии и кровохарканья. Во взрослом возрасте атрезия лёгочных вен встречается намного реже, клинически характеризуется такими проявлениями, как одышка при физической нагрузке и кровохарканье. Однако в редких случаях клинические симптомы отсутствуют, при этом изменения в паренхиме лёгких носят неспецифический характер, ввиду чего могут быть ошибочно расценены как проявления различных лёгочных заболеваний в том числе воспалительного генеза. В представленной статье описано клиническое наблюдение сочетания односторонней атрезии лёгочных вен с гипоплазией лёгочной артерии и интерстициальными изменениями в гипоплазированном лёгком у молодого мужчины без жалоб со стороны органов дыхания. Патологии впервые выявлены в 21 год по данным компьютерной томографии с контрастным усилением.

Ключевые слова: атрезия; лёгочные вены; гипоплазия; лёгочные артерии; нижняя полая вена; клинический случай; компьютерная томография.

Как цитировать:

Жарикова В.В., Нечаев В.А., Куликова Е.А., Юдин А.Л. Односторонняя атрезия лёгочных вен: сложности лучевой диагностики // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 361–369. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD619643>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD619643>

Unilateral pulmonary vein atresia: Difficulties of radiological diagnosis

Veronika V. Zharikova¹, Valentin A. Nechaev¹, Evgenia A. Kulikova¹, Andrey L. Yudin²

¹ Moscow City Oncological Hospital No. 1, Moscow, Russia;

² The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia

ABSTRACT

Pulmonary vein atresia is a rare congenital abnormality that could manifest in isolation or in association with other congenital abnormalities in the cardiovascular system such as pulmonary vein hypoplasia. Pulmonary vein atresia leads to changes in cardiovascular functioning. This abnormality is often diagnosed in children with recurrent pneumonia and hemoptysis. In adulthood, pulmonary vein atresia is much less common, with clinical symptoms such as dyspnea during physical exercises and hemoptysis. However, some patients are asymptomatic. Owing to the nonspecific imaging findings, lung parenchymal changes are often misdiagnosed as another lung disease, including inflammatory genesis disease. In this article, a case of a young man with asymptomatic unilateral pulmonary vein atresia combined with pulmonary artery hypoplasia and interstitial lung changes in a lung with hypoplasia was presented. These pathologies were first identified in a 21-year-old patient by contrast-enhanced computed tomography.

Keywords: pulmonary vein; atresia; pulmonary artery; hypoplasia; inferior vena cava; case report; computed tomography.

To cite this article:

Zharikova VV, Nechaev VA, Kulikova EA, Yudin AL. Unilateral pulmonary vein atresia: Difficulties of radiological diagnosis. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):361–369. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD619643>

Submitted: 25.10.2023

Accepted: 06.02.2024

Published online: 25.06.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD619643>

单侧肺静脉闭锁：放射诊断中的难题

Veronika V. Zharikova¹, Valentin A. Nechaev¹, Evgenia A. Kulikova¹, Andrey L. Yudin²

¹ Moscow City Oncological Hospital No. 1, Moscow, Russia;

² The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia

摘要

肺静脉闭锁是一种罕见的畸形，既可单独发生，也可与其他先天性心血管系统畸形（如肺动脉发育不全）同时发生。肺静脉闭锁会导致心血管系统发生变化。这种畸形通常在婴儿期和幼儿期因反复发作肺炎和咯血而被诊断出来。在成年人中，肺静脉闭锁的发病率要低得多。在临床上，这种疾病主要表现为呼吸困难和咯血。然而，在极少数病例中没有临床症状。在这种情况下，肺实质的变化是非特异性的，可能会被误认为是各种肺部疾病的表现，包括炎症性成因。本文描述的是一名无呼吸道症状的单侧肺静脉闭锁合并肺动脉发育不全和发育不全肺间质改变的年轻男子临床观察结果。造影剂增强计算机断层扫描首次发现异常是在 21 岁。

关键词： 闭锁；肺静脉；发育不全；肺动脉；下腔静脉；临床病例；计算机断层扫描。

引用本文：

Zharikova VV, Nechaev VA, Kulikova EA, Yudin AL. 单侧肺静脉闭锁：放射诊断中的难题. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):361–369.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD619643>

收到: 25.10.2023

接受: 06.02.2024

发布日期: 25.06.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ

Атрезия лёгочных вен — врождённый порок развития, обычно проявляющийся в младенческом или детском возрасте рецидивирующими эпизодами кровохарканья и пневмонии [1]. У взрослых встречается крайне редко. В англоязычной литературе представлено менее 40 случаев бессимптомной односторонней атрезии лёгочных вен, впервые выявленной во взрослом возрасте [2]. В русскоязычной литературе описанных аналогичных случаев не найдено. В данной статье представлено клиническое наблюдение правосторонней атрезии лёгочных вен в сочетании с гипоплазией правой лёгочной артерии и интерстициальными изменениями в правом лёгком, впервые выявленными у взрослого 21-летнего мужчины по данным компьютерной томографии (КТ).

ОПИСАНИЕ СЛУЧАЯ

Пациент В., 21 год, был направлен в Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Городская клиническая онкологическая больница №1» Департамента здравоохранения города Москвы для проведения планового обследования по поводу рака левой почки в анамнезе (pT3N0M0), состояние после нефрэктомии слева от 2003 года по поводу нефробластомы.

Анамнез

В 2020 году было выявлено образование единственной правой почки, однако по результатам иммуногистохимического исследования, выполненного в другом лечебном учреждении, данных за онкологический процесс не получено. Пациент наблюдается у эндокринолога по поводу синдрома Дениса–Драша (кариотип 46, XY; дисгенезия гонад — выполнена гонадэктомия), гипергонадотропного гипогонадизма, гинекомастии и низкорослости. Со слов в детском возрасте перенёс оперативное вмешательство на сердце. Дополнительные данные о проведённых обследованиях, а также выполненных диагностических и лечебных вмешательствах до 2020 года отсутствуют.

Результаты физикального, лабораторного и инструментального исследования

В 2020 году при проведении флюорографии в рамках диспансеризации у пациента выявлено уменьшение в объёме правого лёгкого, участок затенения без чётких контуров в нижних отделах правого лёгочного поля (рис. 1). Пациент на момент обследования жалоб не предъявлял.

С целью уточнения характера выявленных изменений выполнена КТ органов грудной клетки без контрастного усиления, по результатам которой были описаны интерстициальные изменения правого лёгкого в виде утолщения внутри- и междольковых перегородок преимущественно в средних и нижних отделах правого лёгкого,

утолщение стенок бронхов. Кроме того, в средостении определялся мягкотканый конгломерат неправильной формы с неровными контурами в области правых трахеобронхиальных и бифуркационных лимфатических узлов, гомогенной структуры, плотностью +40 HU. Изменения были расценены как проявление внутригрудной лимфаденопатии, интерстициального заболевания правого лёгкого с признаками буллёзной эмфиземы (рис. 2).

По результатам КТ лёгких была дополнительно назначена консультация пульмонолога и проверена функция внешнего дыхания. Выявлено снижение дыхательной функции лёгких в виде смешанных рестриктивно-обструктивных изменений (объём форсированного выдоха за 1-ю секунду — 53%). Ввиду отсутствия клинических проявлений было рекомендовано динамическое наблюдение, а также консультация онколога по поводу выявленного образования правой почки и лимфаденопатии средостения.

В 2023 году, после обращения к онкологу, пациенту были выполнены лабораторные исследования (результаты в пределах референсных норм), а также с целью динамического контроля была выполнена КТ органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза с внутривенным контрастированием, при которой сохранялось уменьшение правого лёгкого в объёме с наличием выраженных интерстициальных изменений, участков уплотнения лёгочной паренхимы по типу «матового стекла», кисты в поражённом лёгком. КТ-картина сохранялась без динамики по сравнению с исследованием от 2020 года.

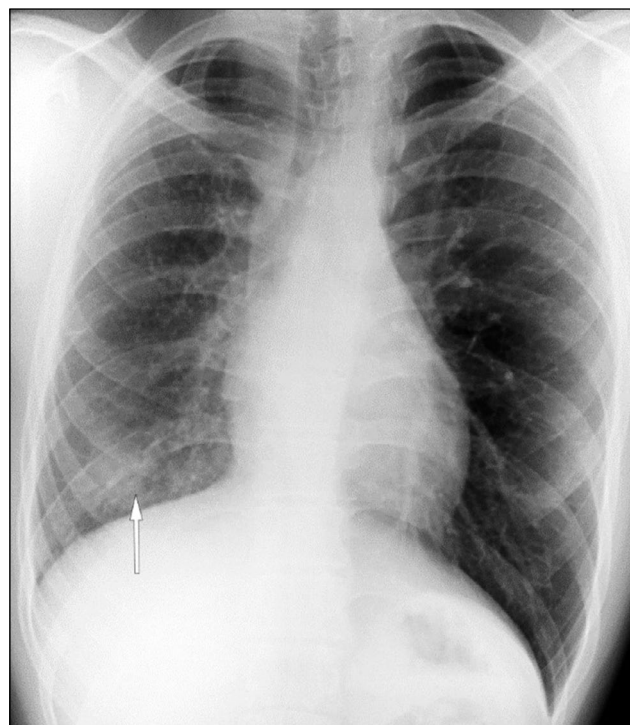


Рис. 1. Флюорограмма лёгких. Выявлено уменьшение в объёме правого лёгкого, участок затенения без чётких контуров в нижних отделах правого лёгочного поля (белая стрелка).

При анализе томограмм в артериальную и венозную фазы контрастирования по контуру правого главного бронха, в области внутригрудных лимфатических узлов определялись множественные расширенные извитые артериальные и венозные сосуды (бронхиальные и междрёберные), которые ранее, при исследовании без контрастного усиления, трактовались как проявления внутригрудной лимфаденопатии (рис. 3). Определялось уменьшение диаметра правой лёгочной артерии до 7 мм (с контралатеральной стороны — до 14 мм) и отсутствие контрастирования правых лёгочных вен что наглядно представлено на 3D-реконструкции сердца (рис. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

Атрезия лёгочных вен — это редкая врождённая аномалия, распространённость которой составляет 1,7 случая на 100 000 детей младше 2 лет [3]. Вероятно, возникает в процессе внутриутробного развития в результате нарушения слияния единой лёгочной вены в левое предсердие [4–6]. Диагноз в большинстве случаев ставится в младенческом или раннем детском возрасте из-за эпизодов рецидивирующей пневмонии и/или кровохарканья [1, 7, 11]. Данная аномалия развития может встречаться с любой стороны без преобладания левой или правой, часто сочетается с нарушением работы сердечно-сосудистой

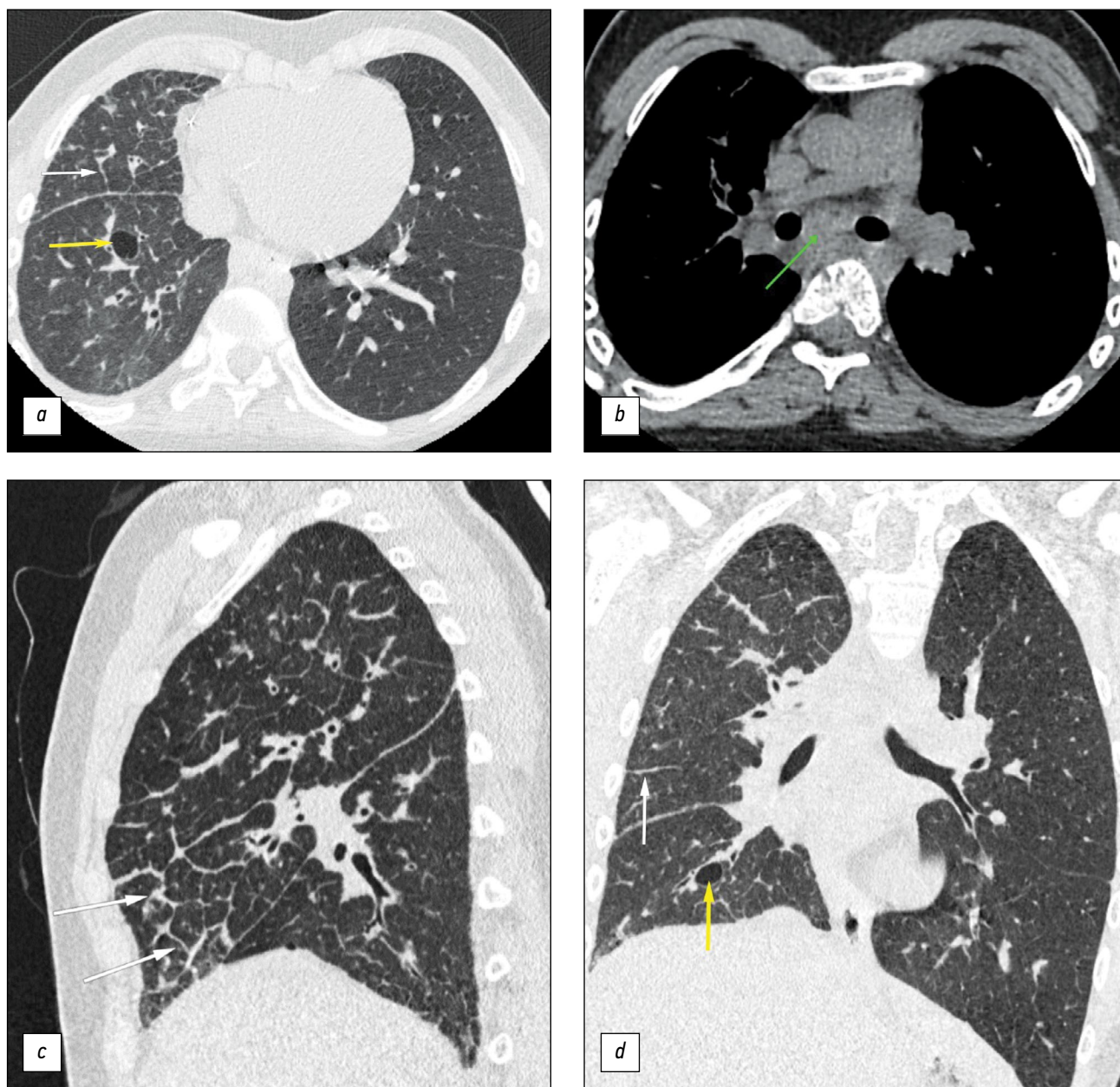


Рис. 2. Компьютерные томограммы лёгких: *a, b* — аксиальная плоскость; *c* — сагиттальная плоскость; *d* — корональная плоскость. Правое лёгкое уменьшено в объёме. Белые стрелки — утолщённый междольковый интерстиций; жёлтые стрелки — киста в лёгком; зелёная стрелка — мягкотканый конгломерат гомогенной структуры, плотностью +40 HU в средостении. При выполнении динамического контроля с помощью компьютерной томографии от 2023 года, картина сохранилась без динамики.

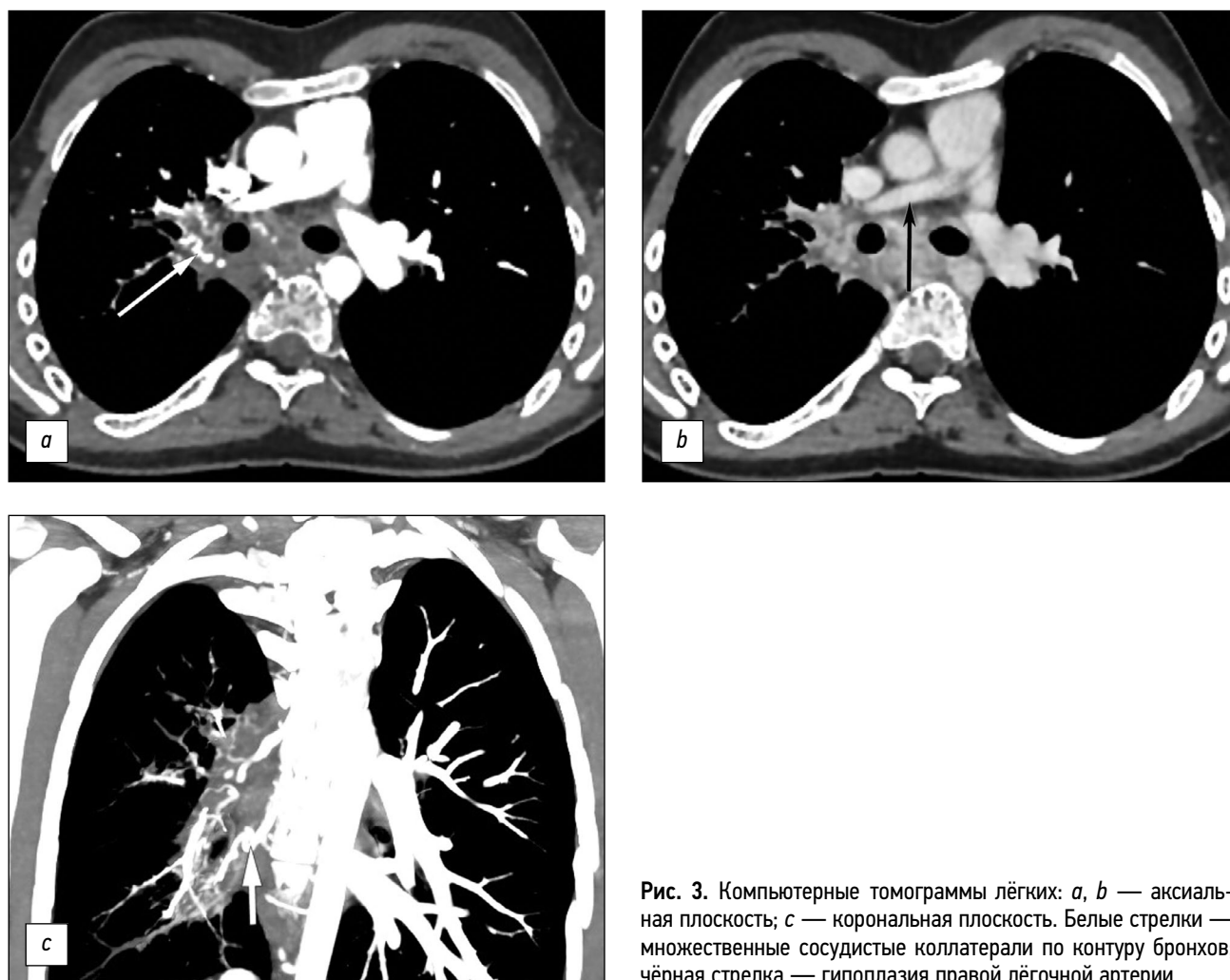


Рис. 3. Компьютерные томограммы лёгких: *a, b* — аксиальная плоскость; *c* — корональная плоскость. Белые стрелки — множественные сосудистые коллатерали по контуру бронхов; чёрная стрелка — гипоплазия правой лёгочной артерии.

системы, как у нашего пациента, по поводу чего в детском возрасте ему было выполнено оперативное вмешательство. Кроме того, в нашем случае определялись косвенные признаки недостаточности трёхстворчатого клапана, которые проявлялись в виде регургитации тока крови в просвет печёночного сегмента нижней полой вены и печёночных вен.

Во взрослом возрасте основными жалобами являются одышка при физической нагрузке и кровохарканье, часто ассоциация с проявлением лёгочной гипертензии [5]. Однако в редких случаях заболевание протекает бессимптомно [3, 8].

Атрезия лёгочных вен в 50% случаев встречается изолированно, а в остальных — в сочетании с другими пороками развития, например, с гипоплазией лёгочной артерии, вследствие чего развиваются явления гипоперфузии и происходит уменьшение размеров поражённого лёгкого [9, 12]. В результате аномалии сосудов малого круга кровообращения развиваются множественные сосудистые коллатерали, которые чаще представлены расширенными межрёберными и бронхиальными артериями и венами. Они сливаются с новообразованными сосудами, что приводит к утолщению междольковых

перегородок, появлению перифиссуральных очагов и участков уплотнения лёгочной паренхимы по типу «матового стекла» как проявление лимфостаза и венозного застоя [2, 9]. При остановке кровотока в отдельных капиллярах, мелких артериях и венах с одновременным резким расширением сосудистой сети и переполнением кровью этих сосудов вследствие нарушения нормального оттока поражённая паренхима лёгкого кровоснабжается недостаточно. В результате происходит уплотнение лёгочной ткани, утолщение альвеолярно-капиллярной мембраны и межальвеолярных перегородок за счёт усиленного разрастания соединительной ткани. Вследствие этого наблюдается значительное ухудшение лёгочного газообмена и явление гипоксемии [10].

В представленном наблюдении также были выявлены кисты в поражённом лёгком, что, вероятно, является не случайной находкой, а следствием разрушения или недоразвития капиллярных сетей на альвеолярном уровне из-за недостаточного кровоснабжения [2, 7].

Среди неинвазивных методов первичной диагностики врождённых аномалий развития сердечно-сосудистой системы большую роль играет метод эхокардиографии, позволяющий установить анатомическую

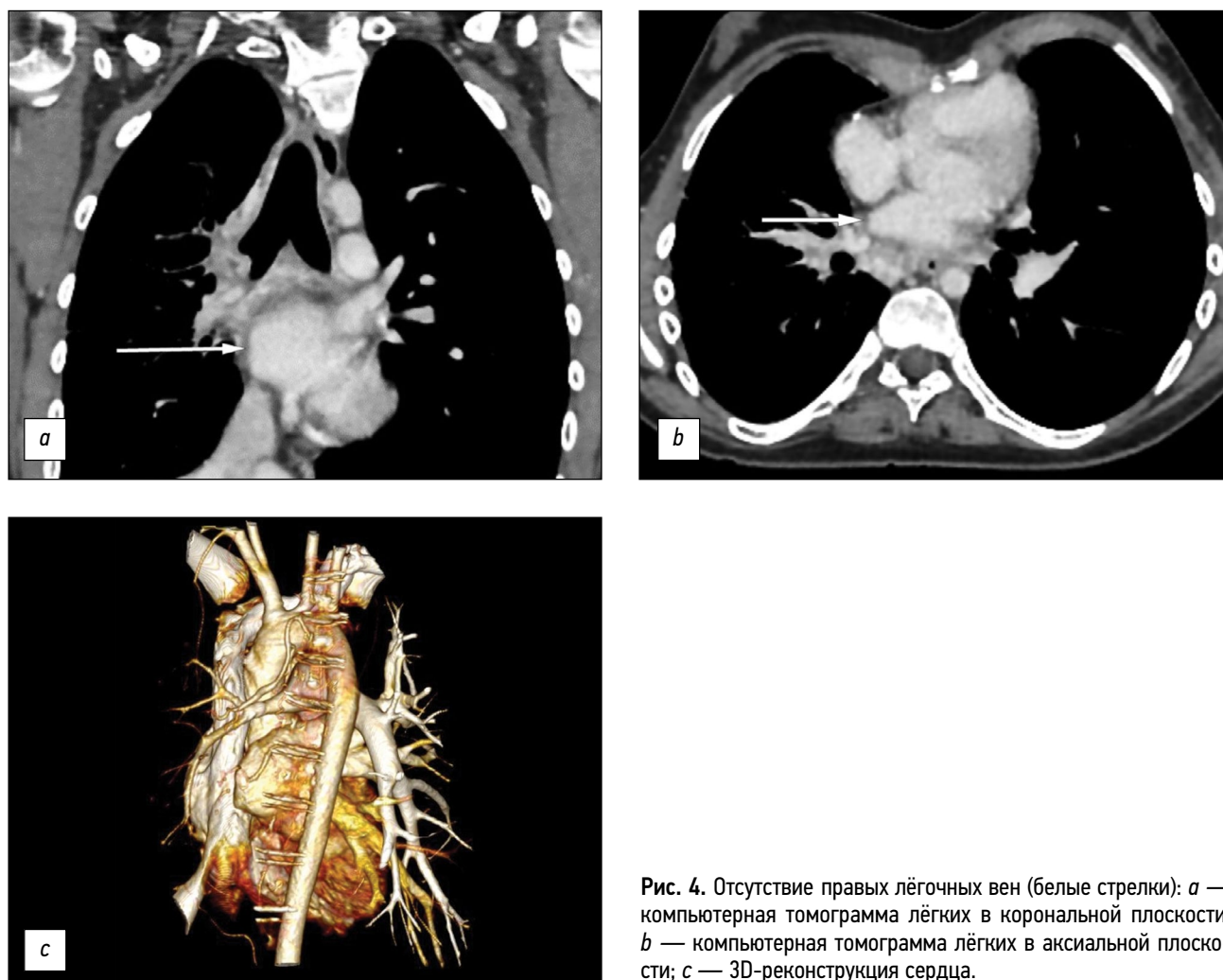


Рис. 4. Отсутствие правых лёгочных вен (белые стрелки): *a* — компьютерная томограмма лёгких в корональной плоскости; *b* — компьютерная томограмма лёгких в аксиальной плоскости; *c* — 3D-реконструкция сердца.

вариативность, размеры магистральных лёгочных сосудов и особенности кровоснабжения. В нашем случае данное обследование было назначено, однако пациент на приём не явился.

При проведении стандартной рентгенографии органов грудной клетки можно выявить уменьшение в объёме поражённого лёгкого, а также усиление лёгочного рисунка за счёт ретикулярного компонента. В качестве дообследования неинвазивная диагностика может быть выполнена с помощью КТ-ангиографии, при необходимости — магнитно-резонансной томографии сердца [9]. В нашем случае магнитно-резонансная томография сердца не проводилась, так как на КТ-исследовании были визуализированы как венозные, так и артериальные изменения, что позволило установить диагноз венозной недостаточности, не прибегая к иным методам. КТ с контрастным усилением позволяет выявить отсутствие лёгочных вен, гипоплазию лёгочной артерии, уменьшение размеров правого лёгкого и утолщение междольковых перегородок из-за венозного застоя, что и было определено в нашем случае.

Односторонняя атрезия лёгочных вен — редкая врождённая аномалия, проявления которой часто

ошибочно принимают за вторичное злокачественное поражение, как в нашем случае, пневмонию или туберкулёз лёгких [3, 9]. При наличии клинической симптоматики в качестве метода лечения предлагается пневмонэктомия или трансплантация лёгкого [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Односторонняя атрезия лёгочных вен — редкая врождённая аномалия развития, часто встречающаяся в сочетании с другими аномалиями сердечно-сосудистой системы. Мы представили редкий случай сочетания врождённых аномалий развития сосудов малого круга кровообращения с бессимптомным течением у молодого мужчины. В ряде случаев у таких пациентов выявляемые изменения в средостении и лёгких могут быть ошибочно интерпретированы как проявление пневмонии, туберкулёза лёгких или онкологического заболевания. Однако совокупность специфических рентгенологических признаков, выявляемых с помощью КТ органов грудной клетки с контрастным усилением, может помочь своевременно диагностировать данную аномалию развития.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении работы.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: В.В. Жарикова — клиническая оценка результатов КТ, сбор и обработка материалов, написание и редактирование текста статьи, подготовка иллюстраций; В.А. Нечаев — клиническая оценка результатов КТ, редактирование текста статьи, подготовка иллюстраций, консультативная поддержка, утверждение окончательного варианта текста рукописи; Е.А. Куликова — клиническая оценка результатов КТ, консультативная поддержка; А.Л. Юдин — редактирование текста статьи, консультативная поддержка, утверждение окончательного варианта текста рукописи.

Информированное согласие на публикацию. Пациент добровольно подписал информированное согласие на публикацию

персональной медицинской информации и фотографий в обезличенной форме в журнале Digital Diagnostics.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. V.V. Zharikova — clinical evaluation of CT results, data processing, writing text, text editing, preparing illustrations for the article; V.A. Nechaev — clinical evaluation of CT results, text editing, preparing illustrations for the article, advisory support, approval of the final version of the text; E.A. Kulikova — clinical evaluation of CT results, advisory support; A.L. Yudin — text editing, advisory support, approval of the final version of the text.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript Digital Diagnostics Journal.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patil P.P. Right pulmonary venous atresia: a rare cause for recurrent unilateral pneumonia // *J. Clin. Diagn. Res.* 2017. Vol. 11, N 9. P. SD01–SD02. doi: 10.7860/JCDR/2017/25670.10596
2. Kim Y., Yoo I.R., Ahn M.I., Han D.H. Asymptomatic adults with isolated, unilateral right pulmonary vein atresia: multidetector CT findings // *Br. J. Radiol.* 2011. Vol. 84, N 1002. P. 109–113. doi: 10.1259/bjr/51344661
3. Cohn H.-E.R., Hicks M., Lacson A., Hicks A. Left hypoplastic lung and hemoptysis — rare familial unilateral pulmonary vein atresia // *Clin. Case Rep.* 2020. Vol. 8, N 9. P. 1698–1703. doi: 10.1002/ccr3.2982
4. Reller M.D., McDonald R.W., Thornburg K., et al. Cardiac embryology: basic review and clinical correlations // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1991. Vol. 4, N 5. P. 519–532. doi: 10.1016/s0894-7317(14)80388-x
5. Heyneman L.E., Nolan R.L., Harrison J.K., McAdams H.P. Congenital unilateral pulmonary vein atresia: radiologic findings in three adult patients // *Am. J. Roentgenol.* 2001. Vol. 177, N 3. P. 681–685. doi: 10.2214/ajr.177.3.1770681
6. Dixit R., Kumar J., Chowdhury K., et al. Case report: isolated pulmonary vein atresia diagnosed on 128-slice multidetector CT // *Indian J. Radiol. Imaging.* 2011. Vol. 21, N 4. P. 253–256. doi: 10.4103/0971-3026.90681
7. Lee S.C., Yi J.G., Park J.H. Cystic lung changes in a thin section CT in an asymptomatic young adult with unilateral pulmonary vein atresia: a case report // *J. Korean Soc. Radiol.* 2012. Vol. 67, N 1. P. 45–48. doi: 10.3348/jksr.2012.67.1.45
8. Park S., Cha Y.K., Kim J.S., et al. Isolated Unilateral Pulmonary Artery Hypoplasia with Accompanying Pulmonary Parenchymal Findings on CT: A Case Report // *J. Korean Soc. Radiol.* 2017. Vol. 76, N 5. P. 369–373. doi: 10.3348/jksr.2017.76.5.369
9. Cong C.-V., Ly T.-T., Duc N.M. Unilateral pulmonary vein atresia: Literature overview and case report // *Radiol. Case Rep.* 2022. Vol. 17, N 4. P. 1313–1317. doi: 10.1016/j.radcr.2022.01.057
10. Павленко С.М. Патологическая физиология. Москва : Медгиз, 1940.
11. Basavarai B., Arun S., Amarinder S.M., et al. Unilateral pulmonary vein atresia: diagnostic dilemma unfolded on imaging // *BMJ Case Rep.* 2018. doi: 10.1136/bcr-2017-224154
12. Narayanan R., Shankar B., Paruthikunnan S. Isolated unilateral pulmonary vein atresia // *Lung India.* 2016. Vol. 33, N 5. P. 571–572. doi: 10.4103/0970-2113.188990

REFERENCES

1. Patil PP. Right pulmonary venous atresia: a rare cause for recurrent unilateral pneumonia. *J. Clin. Diagn. Res.* 2017;11(9):SD01–SD02. doi: 10.7860/JCDR/2017/25670.10596
2. Kim Y, Yoo IR, Ahn MI, Han DH. Asymptomatic adults with isolated, unilateral right pulmonary vein atresia: multidetector CT findings. *Br. J. Radiol.* 2011;84(1002):109–113. doi: 10.1259/bjr/51344661
3. Cohn H-ER, Hicks M, Lacson A, Hicks A. Left hypoplastic lung and hemoptysis — rare familial unilateral pulmonary vein atresia. *Clin. Case Rep.* 2020;8(9):1698–1703. doi: 10.1002/ccr3.2982
4. Reller MD, McDonald RW, Thornburg K, et al. Cardiac embryology: basic review and clinical correlations. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1991;4(5):519–532. doi: 10.1016/s0894-7317(14)80388-x

5. Heyneman LE, Nolan RL, Harrison JK, McAdams HP. Congenital unilateral pulmonary vein atresia: radiologic findings in three adult patients. *Am. J. Roentgenol.* 2001;177(3):681–685. doi: 10.2214/ajr.177.3.1770681
6. Dixit R, Kumar J, Chowdhury K, et al. Case report: isolated pulmonary vein atresia diagnosed on 128-slice multidetector CT. *Indian J. Radiol. Imaging.* 2011;21(4):253–256. doi: 10.4103/0971-3026.90681
7. Lee SC, Yi JG, Park JH. Cystic lung changes in a thin section CT in an asymptomatic young adult with unilateral pulmonary vein atresia: a case report. *J. Korean Soc. Radiol.* 2012;67(1):45–48. doi: 10.3348/jksr.2012.67.1.45
8. Park S, Cha YK, Kim JS, et al. Isolated Unilateral Pulmonary Artery Hypoplasia with Accompanying Pulmonary Parenchymal Findings on CT: A Case Report. *J. Korean Soc. Radiol.* 2017;76(5):369–373. doi: 10.3348/jksr.2017.76.5.369
9. Cong C-V, Ly T-T, Duc NM. Unilateral pulmonary vein atresia: Literature overview and case report. *Radiol. Case Rep.* 2022;17(4):1313–1317. doi: 10.1016/j.radcr.2022.01.057
10. Pavlenko SM. *Pathological physiology.* Moscow: Medgiz; 1940. (In Russ).
11. Basavarai B, Arun S, Amarinder SM, et al. Unilateral pulmonary vein atresia: diagnostic dilemma unfolded on imaging. *BMJ Case Rep.* 2018. doi: 10.1136/bcr-2017-224154
12. Narayanan R, Shankar B, Paruthikunnan S. Isolated unilateral pulmonary vein atresia. *Lung India.* 2016;33(5):571–572. doi: 10.4103/0970-2113.188990

ОБ АВТОРАХ

*** Жарикова Вероника Валерьевна;**

адрес: Россия, 117152, г. Москва, ул. Загородное шоссе, 18А;
ORCID: 0009-0007-1659-8325;
e-mail: ZharikovaVV@zdrav.mos.ru

Нечаев Валентин Александрович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-6716-5593;
eLibrary SPIN: 2527-0130;
e-mail: NechaevVA1@zdrav.mos.ru

Куликова Евгения Александровна;

ORCID: 0000-0002-0319-4934;
eLibrary SPIN: 2884-4803;
e-mail: kulikovaEA14@zdrav.mos.ru

Юдин Андрей Леонидович, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-0310-0889;
eLibrary SPIN: 6184-8284;
e-mail: prof_yudin@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Veronika V. Zharikova;**

address: 18A, Zagorodnoe shosse, 117152, Moscow, Russia;
ORCID: 0009-0007-1659-8325;
e-mail: ZharikovaVV@zdrav.mos.ru

Valentin A. Nechaev, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-6716-5593;
eLibrary SPIN: 2527-0130;
e-mail: NechaevVA1@zdrav.mos.ru

Evgenia A. Kulikova;

ORCID: 0000-0002-0319-4934;
eLibrary SPIN: 2884-4803;
e-mail: kulikovaEA14@zdrav.mos.ru

Andrey L. Yudin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-0310-0889;
eLibrary SPIN: 6184-8284;
e-mail: prof_yudin@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD625432>

Полная транспозиция внутренних органов неясной этиологии, случайно выявленная при компьютерной томографии

M. Montatore¹, M. Balbino¹, F. Masino¹, T. Ruggiero², G. Guglielmi^{1, 2, 3}¹ University of Foggia, Фоджа, Италия;² Dimiccoli Hospital, Барлетта, Италия;³ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Фоджа, Италия

АННОТАЦИЯ

Доброкачественная транспозиция внутренних органов (*situs inversus totalis*) часто диагностируется случайно, редко у взрослых и чаще у детей и новорождённых, как правило, у представителей обоих полов. В данной статье описан случай молодой пациентки, у которой случайно обнаружили *situs inversus totalis* при компьютерной томографии по поводу острой боли в животе. При этой редкой аномалии основные внутренние органы имеют зеркальное расположение. Данный случай подчёркивает важность информированности врачей и учёта *situs inversus* в клинической практике, особенно при интерпретации результатов визуализации и планировании медицинских процедур. Знания о подобных аномалиях очень важны для дифференциальной диагностики и выявления сопутствующих заболеваний у таких пациентов.

Этиология *situs inversus totalis* до сих пор не ясна, однако это состояние часто протекает бессимптомно, особенно у младенцев, и иногда ассоциируется с другими синдромами. Наша пациентка поступила в отделение неотложной помощи с болью в левом боку, тошнотой и лихорадкой. При первом ультразвуковом исследовании было выявлено нетипичное расположение внутренних органов. По этой причине была назначена компьютерная томография с контрастированием, после чего снимки были тщательно изучены. Ранее пациентка никогда не проходила компьютерную томографию, поэтому *situs inversus totalis* оказалась неожиданной и случайной находкой. При болях в груди или животе врачи могут предположить наличие *situs inversus totalis* по результатам компьютерной томографии, особенно если нет других клинических и визуализационных данных в анамнезе. Эти знания могут помочь в дифференциальной диагностике, позволяя избежать ненужных вмешательств. Более того, сопутствующие заболевания, затрагивающие несколько систем органов, в частности сердечно-сосудистую и лёгочную, встречаются у многих пациентов с *situs inversus totalis*, что требует тщательного обследования и наблюдения за ними в течение всей жизни.

Ключевые слова: компьютерная томография; диагностическая визуализация; *situs inversus totalis*; *viscerum inversus*; анатомический вариант; декстрокардия; левосторонний желчный пузырь; лево-правая асимметрия; зеркальная транспозиция.

Как цитировать:

Montatore M., Balbino M., Masino F., Ruggiero T., Guglielmi G. Полная транспозиция внутренних органов неясной этиологии, случайно выявленная при компьютерной томографии // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 370–378. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD625432>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD625432>

An unknown situs viscerum inversus totalis, accidentally discovered after computed tomography

Manuela Montatore¹, Marina Balbino¹, Federica Masino¹, Tupputi Ruggiero²,
Giuseppe Guglielmi^{1, 2, 3}

¹ University of Foggia, Foggia, Italy;

² Dimiccoli Hospital, Barletta, Italy;

³ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Foggia, Italy

ABSTRACT

Benign *situs inversus totalis* of the viscerum is often diagnosed accidentally, rarely in adults, and more frequently in children and neonates, affecting both sexes. In this report, a young female patient accidentally discovered a situs inversus totalis after computed tomography for acute abdominal pain. In this uncommon anatomical abnormality, the major visceral organs are reversed in the opposite direction. This report highlights the importance of being aware of and considering situs inversus in clinical practice, particularly when interpreting imaging findings and planning medical procedures. This is critical for differential diagnosis and comorbidities that may affect those patients.

The cause of *situs inversus totalis* is still unknown; however, this condition is frequently asymptomatic, particularly in infants, and is sometimes associated with other syndromes. The patient arrived at the emergency department with left flank pain, nausea, and fever. In the first ultrasonography, a strange anatomy was suspected; thus, a contrasted computed tomography was performed. The patient had never had a computed tomography scan before. The identification of situs inversus totalis was unexpected and coincidental; the computed tomography images were carefully examined. In patients with chest or abdominal pain, clinicians may consider situs inversus totalis based on computed tomography, particularly if without clinical and imaging history. This knowledge can help in the differential diagnosis, avoiding unneeded interventions. Moreover, comorbidities that affect several systems, particularly cardiovascular and pulmonary systems, affect quite a few patients with situs inversus totalis, who require careful examination and lifelong monitoring.

Keywords: computed tomography; diagnostic imaging; situs inversus totalis; viscerum inversus; anatomic variation; dextrocardia; left-sided gallbladder; left-right asymmetry; mirror-image transposition.

To cite this article:

Montatore M, Balbino M, Masino F, Ruggiero T, Guglielmi G. An unknown situs viscerum inversus totalis, accidentally discovered after computed tomography. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):370–378. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD625432>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD625432>

计算机断层扫描中偶然发现的病因不明的内脏器官完全移位

Manuela Montatore¹, Marina Balbino¹, Federica Masino¹, Tupputi Ruggiero²,
Giuseppe Guglielmi^{1, 2, 3}

¹ University of Foggia, Foggia, Italy;

² Dimiccoli Hospital, Barletta, Italy;

³ Casa Sollievo della Sofferenza Hospital, Foggia, Italy

摘要

良性内脏器官移位 (situs inversus totalis) 通常是偶然诊断出来的, 很少发生在成人身上, 更常见于儿童和新生儿, 通常男女均可患病。本文描述了一名年轻患者的病例, 她因急性腹痛而在接受计算机断层扫描时意外被诊断出患有 situs inversus totalis。在这种罕见的异常中, 主要内脏器官呈镜像。本病例强调了医生在临床实践中认识和考虑 situs inversus 的重要性, 尤其是在解释成像结果和规划医疗程序时。了解这类异常对于鉴别诊断和发现这些患者的合并症非常重要。

Situs inversus totalis 的病因尚不清楚, 但这种疾病通常没有症状, 尤其是在婴儿身上, 有时还伴有其他综合征。我们的患者因左侧腹痛、恶心和发热被送入急诊科。第一次超声检查发现内脏器官的位置不典型。因此, 医生要求患者接受造影剂计算机断层扫描, 并对图像进行了仔细检查。患者以前从未做过计算机断层扫描, 因此 situs inversus totalis 是一个意外的偶然发现。在胸痛或腹痛的情况下, 按照计算机断层扫描结果, 医生可能会假设有 situs inversus totalis, 尤其是在没有其他临床或影像学病史的情况下。这些知识有助于鉴别诊断, 避免不必要的干预。此外, 涉及多个器官系统 (尤其是心血管和肺部) 的合并症在许多 situs inversus totalis 患者中很常见, 需要进行仔细评估和终身随访。

关键词: 计算机断层扫描; 诊断成像; situs inversus totalis; viscerum inversus; 解剖变异; 右旋心; 左侧胆囊; 左右不对称; 镜像移位。

引用本文:

Montatore M, Balbino M, Masino F, Ruggiero T, Guglielmi G. 计算机断层扫描中偶然发现的病因不明的内脏器官完全移位. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):370–378. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD625432>

收到: 01.01.2024

接受: 05.03.2024

发布日期: 18.07.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ

Situs viscerum inversus (SVI) — врождённый порок развития, характеризующийся зеркальным расположением основных внутренних органов (полным или неполным), при этом органы расположены не так, как обычно [1–6].

Термин «*situs*» определяет висцеральную картину и связан с расположением отдельных ассиметричных внутренних органов, к которым относятся желудочно-кишечный тракт, печень, селезёнка и лёгкие [7]. SVI подразделяется на *solitus* (норма), *inversus* (зеркально расположенные органы) и *situs ambiguus* (гетеротаксия). Таким образом, *situs solitus* означает нормальную анатомию, *situs inversus* — полное изменение правильного положения органов, а *situs ambiguus* — любые другие аномалии типичной левой или правой анатомической конфигурации органов.

SVI подразделяется также на полную транспозицию (*situs inversus totalis*, SIT) и неполную, или частичную, при которой транспозиции подвержены только некоторые органы, в то время как другие остаются нормальными. Степень реверсии органов может варьировать. Так, пациент с типичным левосторонним расположением сердца и транспозицией органов брюшной полости может нормально функционировать [8–10]. Происхождение таких аномалий до сих пор неизвестно, однако они часто протекают бессимптомно, особенно у младенцев. Данное клиническое состояние может привести к ряду торакальных проблем, особенно на уровне сердца, а также к абдоминальным осложнениям [11]. SIT также может осложнить диагностическую оценку и дальнейшее лечение таких пациентов.

ОПИСАНИЕ СЛУЧАЯ

Анамнез

Пациентка, 56 лет, поступила в отделение неотложной помощи с жалобами на периодические и коликообразные боли в левом боку, особенно в левой половине живота. Женщина испытывала периодическую боль,

мигрирующую вверх, в спину, под лопатку и левое плечо [7–12].

Среди симптомов также были тошнота и рвота, и первым предположением врача была желчная колика. Пациентке назначили анализ крови и ультразвуковое исследование (УЗИ). В силу сложных жизненных обстоятельств пациентка ранее не проходила визуализационных исследований. По результатам УЗИ была заподозрена нетипичная анатомия органов брюшной полости, в связи с чем была проведена компьютерная томография (КТ) с контрастированием (рис. 1).

У пациентки не было других значимых кардиологических или респираторных симптомов или КТ в анамнезе. Первое КТ-изображение грудной клетки показало декстрокардию, в результате чего была выдвинута новая гипотеза. Дальнейшие визуализационные исследования грудной клетки и брюшной полости подтвердили диагноз «SIT неизвестной этиологии» (рис. 2, рис. 3).

Диагностическая оценка

КТ с контрастированием подтвердила диагноз «SIT: бессимптомный *situs viscerum inversus totalis*» (рис. 4).

Кроме того, на снимках, сделанных в верхней части живота, был виден левосторонний желчный пузырь с микрокальцификатами, что могло объяснить клиническую картину периодических болей в боку слева [1–7]. По большей части эта неожиданная находка оказалась совершенно безобидной для здоровья пациента [9].

Дифференциальная диагностика

Первоочередной задачей было выяснение причин острой боли в боку слева [11–13]. В связи с тем, что у пациентки органы расположены инвертно, причины болей отличались от обычных: желчная колика слева, которая в норме должна локализоваться справа [9]. Данное клиническое состояние было также подтверждено лабораторными исследованиями, которые выявили небольшое повышение концентрации С-реактивного белка и лейкоцитов, а также уровня активности трансаминаз.

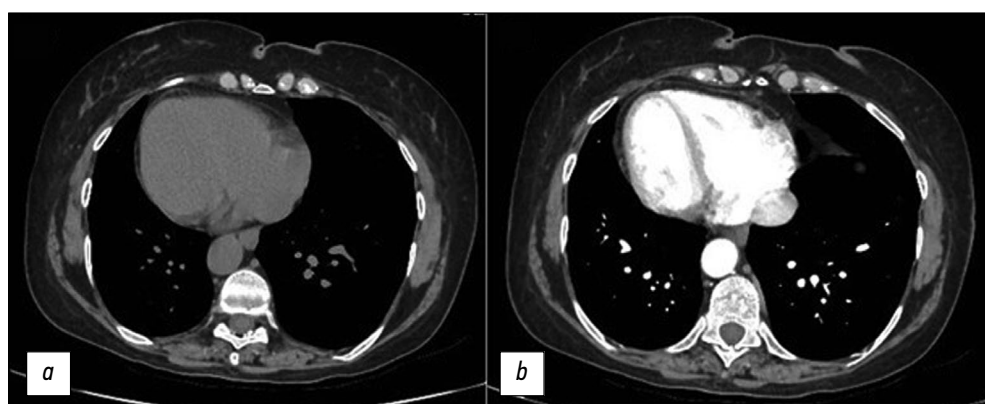


Рис. 1. Компьютерная томография грудной клетки в аксиальной проекции: а — без контрастирования; б — с контрастированием. Видна декстрокардия. В данном случае диагностирован situs inversus: левое лёгкое имеет три доли, правое лёгкое — две доли, верхушка сердца расположена справа.

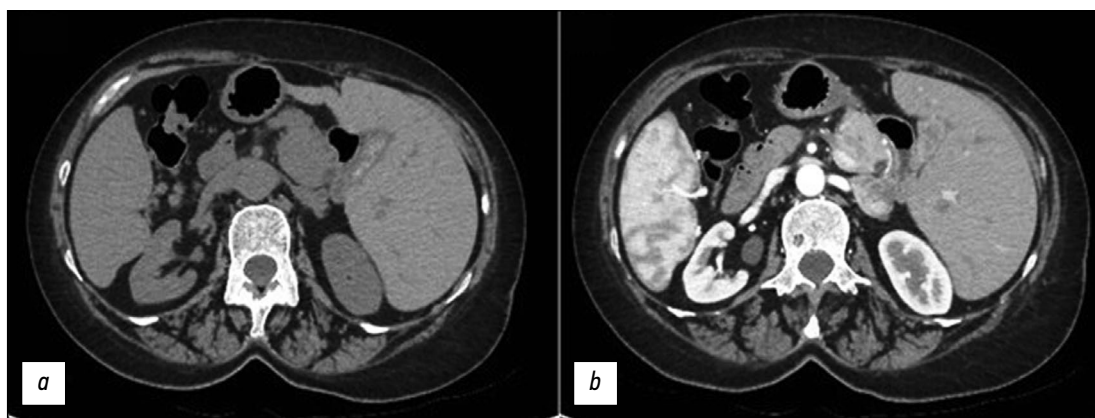


Рис. 2. Компьютерная томография брюшной полости в аксиальной проекции: *a* — без контрастирования; *b* — с контрастированием. Визуализируется *situs inversus totalis* и несколько кальцификатов в желчном пузыре. Слева — желудок и селезёнка, справа — большая доля печени.

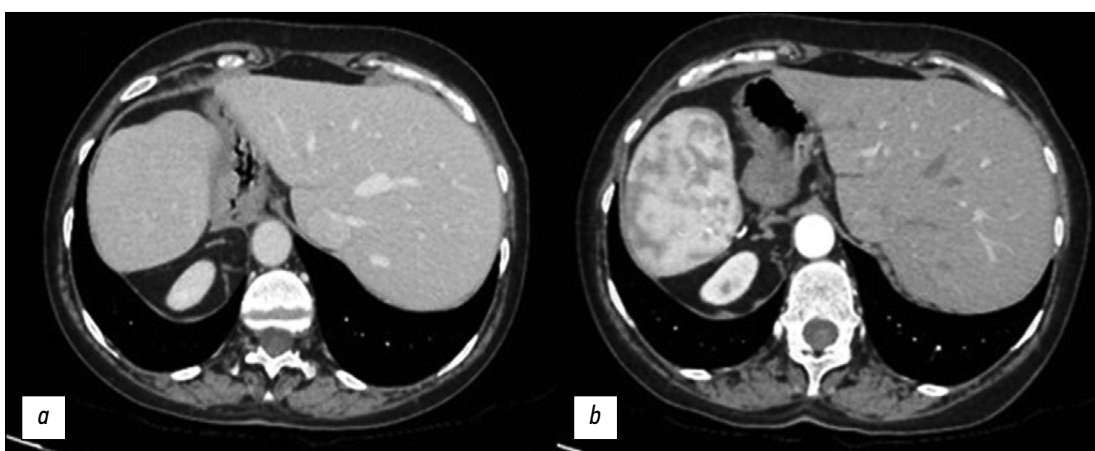


Рис. 3. Компьютерная томография в аксиальной проекции: *a* — без контрастирования; *b* — с контрастированием. Виден желудок с правой стороны.

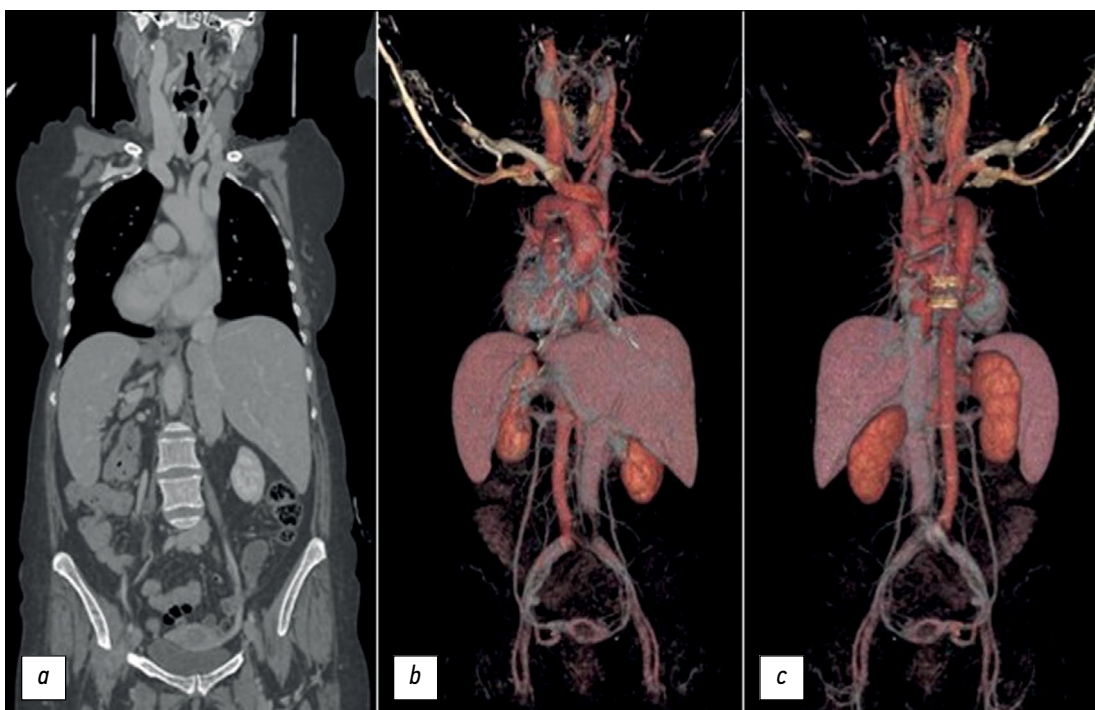


Рис. 4. *Situs inversus totalis* в корональной проекции: *a* — компьютерная томография; *b* — объёмная визуализация (спереди); *c* — объёмная визуализация (сзади).

Вмешательства

В представленном нами случае не было выраженной симптоматики или острых проблем, связанных с SIT. Все медицинские вмешательства сводились к устранению критических симптомов, а также лечению и профилактике осложнений [12–16]. При лечении желчной колики основное внимание уделялось уменьшению боли с помощью обезболивающих и спазмолитиков для облегчения симптомов (рис. 5).

Дальнейшая схема лечения и последующее наблюдение за больными с SIT часто являются междисциплинарными и включают консультацию пульмонолога, кардиолога и гастроэнтеролога. План лечения составляется с учётом особенностей каждого пациента.

Наблюдение и исход

Для оптимизации лечения и поддержания максимально возможного качества жизни пациентам с SIT требуется

регулярное наблюдение и коммуникация с врачами в настоящем и будущем [15, 16].

ОБСУЖДЕНИЕ

SVI подразумевает инвертное расположение сердца и основных внутренних органов [1–4]. Это редкая врождённая аномалия, которая проявляется как обратная транспозиция органов брюшной полости и грудной клетки [5]. Декстрокардия (истинное зеркальное расположение сердца) обычно связана с SVI, при этом аорта направлена вверх по противоположной стороне (рис. 6).

Такое расположение может влиять на функционирование органов грудной клетки, особенно на сердце и крупные кровеносные сосуды, поскольку все камеры сердца расположены асимметрично, а само сердце расположено справа. Кроме того, артерии и органы брюшной полости также расположены зеркально (рис. 7).

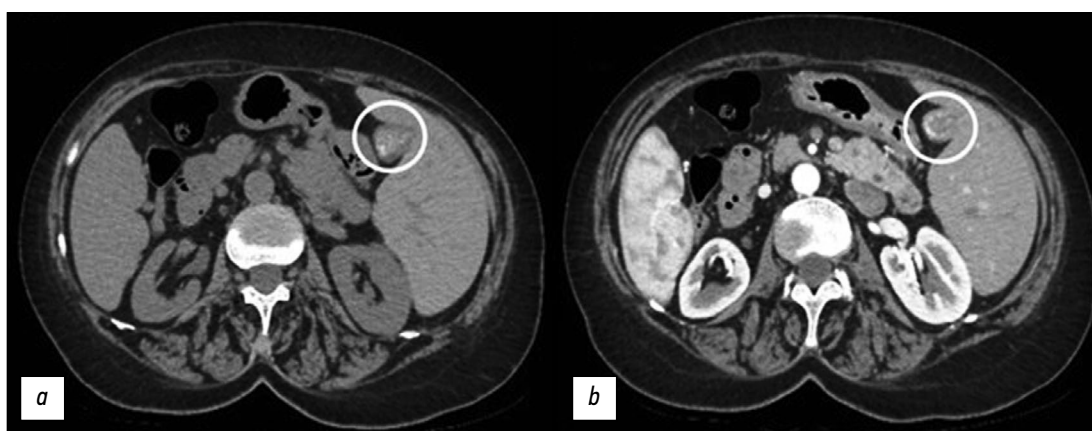


Рис. 5. Компьютерная томография: *a* — без контрастирования; *b* — с контрастированием. Виден желчный пузырь с множественными кальцификатами, что и явилось причиной болей в области живота слева.

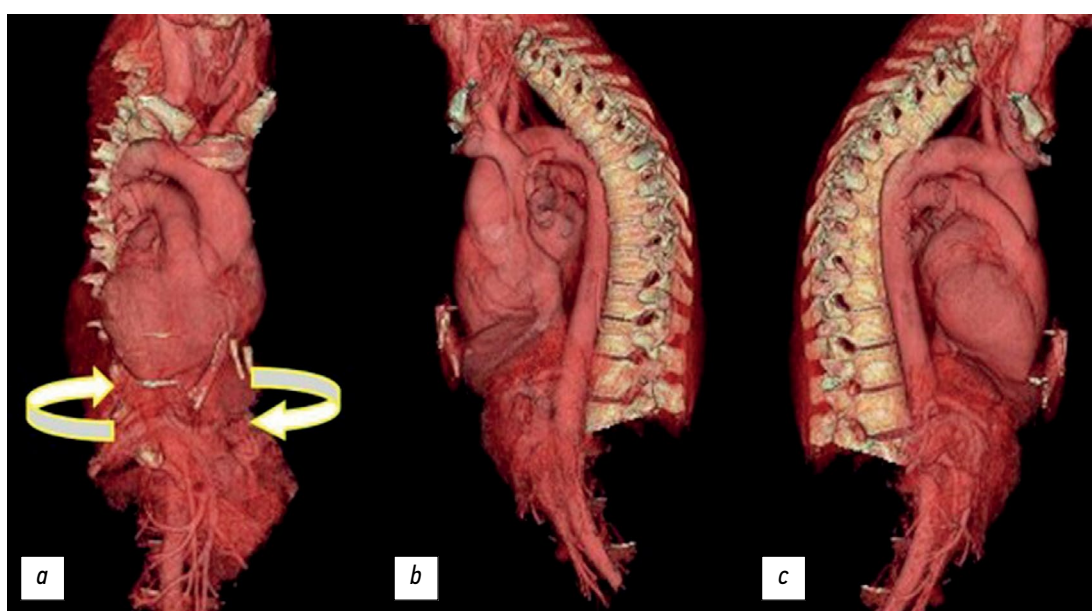


Рис. 6. Серия объёмных визуализаций органов средостения, на которых сердце и аорта расположены справа, что видно с разных ракурсов вращения трубки: *a* — спереди; *b* — сзади, слева; *c* — сзади, справа.

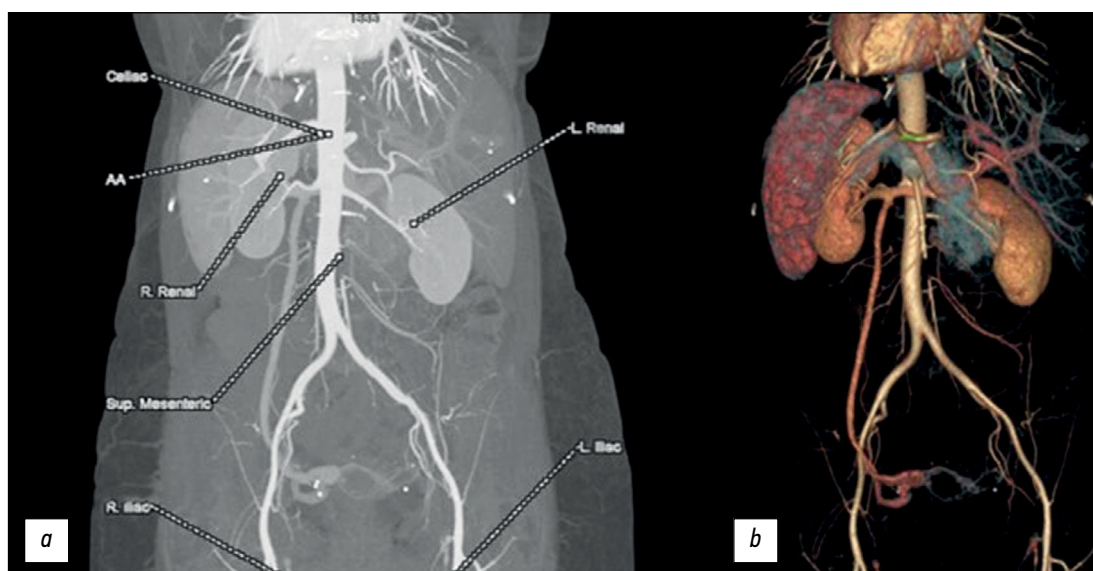


Рис. 7. Артериальная анатомия брюшной полости при situs inversus totalis. Слева — печень, на противоположной стороне — селезёнка: *a* — ангиография; *b* — объёмная визуализация.

В настоящее время SIT всё ещё не имеет чётких и признанных причин. Учитывая частую связь между нетипичным расположением органов и другими необычными врождёнными аномалиями, в одном из исследований была выдвинута гипотеза о приобретённой этиологии, возникающей в результате внутриутробного повреждения, нарушающего нормальный процесс дифференцировки клеток и ориентации формирующего эмбриобласта [8].

Такая анатомическая особенность может осложнить диагностический процесс и диагностические или лечебные процедуры, особенно инвазивные. В силу редкости подобных случаев практикующие врачи — в частности, гастроэнтерологи, радиологи и хирурги — обычно не имеют достаточного опыта работы с такими пациентами [14–16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многие люди с SVI не подозревают о наличии у них данной аномалии до тех пор, пока не появятся симптомы, требующие лечения, или пока не будет проведено клиническое обследование, например, аускультация грудной клетки или УЗИ органов брюшной полости. Однако наблюдение за такими пациентами необходимо, поскольку зеркальное расположение органов может затруднить выявление нарушений в будущем. Таким образом, регулярные обследования и коммуникация между врачами и пациентами с SIT имеют решающее значение для оптимизации лечения и сохранения максимально возможного качества жизни, а также для предотвращения будущих патологий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: F. Masino, R. Tupputi — сбор данных; F. Masino, G. Guglielmi — анализ и интерпретация результатов; M. Montatore, M. Balbino — подготовка черновика рукописи, редактирование рукописи.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентки на публикацию медицинских данных и фотографий в журнале Digital Diagnostics.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

F. Masino, R. Tupputi — data collection; F. Masino, G. Guglielmi — analysis and interpretation of results; M. Montatore, M. Balbino — draft manuscript preparation, editing the manuscript.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript in Digital Diagnostics Journal.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Spoon J.M. Situs inversus totalis // *Neonatal Netw.* 2001. Vol. 20, N 1. P. 59–63. doi: 10.1891/0730-0832.20.1.63
2. Eitler K., Bibok A., Telkes G. Situs Inversus Totalis: A Clinical Review // *Int J Gen Med.* 2022. Vol. 15. P. 2437–2449. doi: 10.2147/IJGM.S295444
3. Tsoucalas G., Thomaidis V., Fiska A. Situs inversus Totalis: Always recall the uncommon // *Clin Case Rep.* 2019. Vol. 7, N 12. P. 2575–2576. doi: 10.1002/ccr3.2433
4. Hernanz-Schulman M. Situs inversus? // *N Engl J Med.* 1994. Vol. 331, N 3. P. 205. doi: 10.1056/NEJM199407213310317
5. Chen X.Q., Lin S.J., Wang J.J., et al. "Reverse life": A rare case report of situs inversus totalis combined with cardiac abnormalities in a young stroke // *CNS Neurosci Ther.* 2022. Vol. 28, N 9. P. 1458–1460. doi: 10.1111/cns.13879
6. Chudnoff J., Shapiro H. Two cases of complete situs inversus // *Anat. Rec.* 2005. Vol. 74, N 2. P. 189–194. doi: 10.1002/ar.1090740207
7. Baillie M. An Account of a Remarkable Transposition of the Viscera in the Human Body // *Lond Med J.* 1789. Vol. 10(Pt 2). P. 178–197.
8. Taussig H.B. *Congenital Malformations of the Heart.* New York : Commonwealth Fund, 1948.
9. Choe Y.H., Kim Y.M., Han B.K., Park K.G., Lee H.J. MR imaging in the morphologic diagnosis of congenital heart disease // *Radiographics.* 1997. Vol. 17, N 2. P. 403–422. doi: 10.1148/radiographics.17.2.9084081
10. Chen W., Guo Z., Qian L., Wang L. Comorbidities in situs inversus totalis: A hospital-based study // *Birth Defects Res.* 2020. Vol. 112, N 5. P. 418–426. doi: 10.1002/bdr2.1652
11. Cholst M.R. Discrepancies in pain and symptom distribution; position of the testicles as a diagnostic sign in situs inversus totalis // *Am. J. Surg.* 1947. Vol. 73, N 1. P. 104–107. doi: 10.1016/0002-9610(47)90297-3
12. Mayo C.W., Rice R.G. A statistical review of seventy-six cases of situs inversus totalis with special reference to biliary disease // *Tr. West.* 1948. Vol. 56. P. 188.
13. Pipal D.K., Pipal V.R., Yadav S. Acute Appendicitis in Situs Inversus Totalis: A Case Report // *Cureus.* 2022. Vol. 14, N 3. P. e22947. doi: 10.7759/cureus.22947
14. Mayo C.W., Rice R.G. Situs inversus totalis: a statistical review of data on 76 cases with special reference to disease of the biliary tract // *Arch Surg (1920).* 1949. Vol. 58, N 5. P. 724–730.
15. Borude S., Jadhav S., Shaikh T., Nath S. Laparoscopic sleeve gastrectomy in partial situs inversus // *J Surg Case Rep.* 2012. Vol. 2012, N 5. P. 8. doi: 10.1093/jscr/2012.5.8
16. Blegen H.M. Surgery in situs inversus // *Ann. Surg.* 1949. Vol. 129, N 2. P. 244–259. doi: 10.1097/00000658-194902000-00009
17. Block F.B., Michael M.A. Acute appendicitis in complete transposition of viscera: report of a case with symptoms referable to right side mechanism of pain in visceral diseases // *Ann. Surg.* 1938. Vol. 107, N 4. P. 511–516. doi: 10.1097/00000658-193804000-00005

REFERENCES

1. Spoon JM. Situs inversus totalis. *Neonatal Netw.* 2001;20(1):59–63. doi: 10.1891/0730-0832.20.1.63
2. Eitler K, Bibok A, Telkes G. Situs Inversus Totalis: A Clinical Review. *Int J Gen Med.* 2022;15:2437–2449. doi: 10.2147/IJGM.S295444
3. Tsoucalas G, Thomaidis V, Fiska A. Situs inversus Totalis: Always recall the uncommon. *Clin Case Rep.* 2019;7(12):2575–2576. doi: 10.1002/ccr3.2433
4. Hernanz-Schulman M. Situs inversus? *N Engl J Med.* 1994;331(3):205. doi: 10.1056/NEJM199407213310317
5. Chen XQ, Lin SJ, Wang JJ, et al. "Reverse life": A rare case report of situs inversus totalis combined with cardiac abnormalities in a young stroke. *CNS Neurosci Ther.* 2022;28(9):1458–1460. doi: 10.1111/cns.13879
6. Chudnoff J, Shapiro H. Two cases of complete situs inversus. *Anat. Rec.* 2005;74(2):189–194. doi: 10.1002/ar.1090740207
7. Baillie M. An Account of a Remarkable Transposition of the Viscera in the Human Body. *Lond Med J.* 1789;10(Pt 2):178–197.
8. Taussig HB. *Congenital Malformations of the Heart.* New York: Commonwealth Fund; 1948.
9. Choe YH, Kim YM, Han BK, Park KG, Lee HJ. MR imaging in the morphologic diagnosis of congenital heart disease. *Radiographics.* 1997;17(2):403–422. doi: 10.1148/radiographics.17.2.9084081
10. Chen W, Guo Z, Qian L, Wang L. Comorbidities in situs inversus totalis: A hospital-based study. *Birth Defects Res.* 2020;112(5):418–426. doi: 10.1002/bdr2.1652
11. Cholst MR. Discrepancies in pain and symptom distribution; position of the testicles as a diagnostic sign in situs inversus totalis. *Am. J. Surg.* 1947;73(1):104–107. doi: 10.1016/0002-9610(47)90297-3
12. Mayo CW, Rice RG. A statistical review of seventy-six cases of situs inversus totalis with special reference to biliary disease. *Tr. West.* 1948;56:188.
13. Pipal DK, Pipal VR, Yadav S. Acute Appendicitis in Situs Inversus Totalis: A Case Report. *Cureus.* 2022;14(3):e22947. doi: 10.7759/cureus.22947
14. Mayo CW, Rice RG. Situs inversus totalis: a statistical review of data on 76 cases with special reference to disease of the biliary tract. *Arch Surg (1920).* 1949;58(5):724–730.
15. Borude S, Jadhav S, Shaikh T, Nath S. Laparoscopic sleeve gastrectomy in partial situs inversus. *J Surg Case Rep.* 2012;2012(5):8. doi: 10.1093/jscr/2012.5.8
16. Blegen HM. Surgery in situs inversus. *Ann. Surg.* 1949;129(2):244–259. doi: 10.1097/00000658-194902000-00009
17. Block FB, Michael MA. Acute appendicitis in complete transposition of viscera: report of a case with symptoms referable to right side mechanism of pain in visceral diseases. *Ann. Surg.* 1938;107(4):511–516. doi: 10.1097/00000658-193804000-00005

05 ABTOPAX

*** Giuseppe Guglielmi**, MD, Professor;
address: Viale L. Pinto 1, 71121, Foggia, Italy;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Manuela Montatore, MD;
ORCID: 0009-0002-1526-5047;
e-mail: manuela.montatore@unifg.it

Marina Albino, MD;
ORCID: 0009-0009-2808-5708;
e-mail: marinabalbino93@gmail.com

Federica Masino, MD;
ORCID: 0009-0004-4289-3289;
e-mail: federicamasino@gmail.com

Ruggiero Tupputi, MD;
e-mail: rutudott@gmail.com

AUTHORS' INFO

*** Giuseppe Guglielmi**, MD, Professor;
address: Viale L. Pinto 1, 71121, Foggia, Italy;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Manuela Montatore, MD;
ORCID: 0009-0002-1526-5047;
e-mail: manuela.montatore@unifg.it

Marina Albino, MD;
ORCID: 0009-0009-2808-5708;
e-mail: marinabalbino93@gmail.com

Federica Masino, MD;
ORCID: 0009-0004-4289-3289;
e-mail: federicamasino@gmail.com

Ruggiero Tupputi, MD;
e-mail: rutudott@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622768>

Трудности лучевой диагностики зрелой тератомы надпочечника, имитирующей нейробластому, у ребёнка

Е.С. Щелканова, Г.В. Терещенко, А.С. Краснов

Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Наиболее частое образование надпочечников у детей раннего возраста — это нейробластома, в дифференциальный ряд которой включены такие образования, как нефробластома, кровоизлияние в надпочечник, ангиомиолипома, миеолипома и аденома. В данной статье описан случай одной из самых редких опухолей надпочечников у детей — тератомы, которая на начальных этапах диагностики, несмотря на крупный размер, демонстрировала все рентгенологические и гистологические признаки нейробластомы.

Тератомы — это герминогенно-клеточные опухоли, обычно обнаруживаемые в области гонад. Тератомы надпочечников встречаются крайне редко и составляют около 0,13% всех образований надпочечников. Как правило, тератомы надпочечников протекают бессимптомно за счёт того, что забрюшинное пространство достаточно обширно для свободного роста образования.

Впервые в отечественной литературе нами представлен клинический случай тератомы надпочечника у ребёнка в возрасте 3 месяцев. В статье также подробно описан ход диагностических исследований и те сложности, с которыми рентгенологи и клиницисты столкнулись, встретив распространённую в детском возрасте опухоль в очень редкой для неё локализации.

Данная статья может помочь врачам повысить осведомлённость о таком редком заболевании и включить тератому надпочечников в потенциальный дифференциальный ряд новообразований надпочечников.

Ключевые слова: тератома надпочечника; клинический случай; педиатрия; лучевая диагностика.

Как цитировать:

Щелканова Е.С., Терещенко Г.В., Краснов А.С. Трудности лучевой диагностики зрелой тератомы надпочечника, имитирующей нейробластому, у ребёнка // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 2. С. 379–389. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622768>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622768>

Difficulties in the radiological diagnosis of mature adrenal teratoma mimicking neuroblastoma in a child

Ekaterina S. Shchelkanova, Galina V. Tereshchenko, Alexey S. Krasnov

Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

ABSTRACT

The most common adrenal tumor in young children is neuroblastoma, which can be difficult to differentiate from other conditions such as nephroblastoma, adrenal hemorrhage, angiomyolipoma, myelolipoma, and adenoma. This article describes a case of teratoma, one of the rarest adrenal tumors in children. Initially, despite its large size, it demonstrated all the radiological and histological signs of neuroblastoma. Teratomas are germ cell tumors usually found in the gonads. Adrenal teratomas are extremely rare, accounting for approximately 0.13% of all adrenal tumors. Typically, adrenal teratomas are asymptomatic, as the retroperitoneal space is large enough to accommodate the growth of the tumor without causing symptoms. For the first time in domestic literature, we present a clinical case of adrenal teratoma in a 3-month-old child. The article also presents a detailed description of the diagnostic process and challenges that radiologists and clinicians face when encountering a common tumor in a very rare location for children. This report aimed to help physicians increase awareness of this rare condition and include adrenal teratomas in the potential differential diagnosis of adrenal neoplasms.

Keywords: adrenal teratoma; case report; pediatrics; radiology.

To cite this article:

Shchelkanova ES, Tereshchenko GV, Krasnov AS. Difficulties in the radiological diagnosis of mature adrenal teratoma mimicking neuroblastoma in a child. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):379–389. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622768>

Submitted: 27.12.2023

Accepted: 13.02.2024

Published online: 28.06.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622768>

一名患有模仿神经母细胞瘤的肾上腺成熟性畸胎瘤的儿童放射诊断难题

Ekaterina S. Shchelkanova, Galina V. Tereshchenko, Alexey S. Krasnov

Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

摘要

神经母细胞瘤是幼儿最常见的肾上腺肿块，其鉴别系列包括肾母细胞瘤、肾上腺出血、血管肌脂肪瘤、骨髓脂肪瘤和腺瘤。本文描述了一例最罕见的儿童肾上腺肿瘤，即畸胎瘤，尽管其体积较大，但在诊断初期却显示出神经母细胞瘤的所有放射学和组织学特征。

畸胎瘤是生殖细胞肿瘤，通常出现在性腺区域。肾上腺畸胎瘤极为罕见，约占所有肾上腺肿块的0.13%。肾上腺畸胎瘤通常没有症状，这是因为腹膜后间隙足够大，肿块可以自由生长。

我们首次在俄罗斯文献中介绍了一个3个月大儿童肾上腺畸胎瘤的临床病例。文章还详细描述了诊断检查的过程，以及放射科医生和临床医生在罕见部位遇到常见儿童肿瘤时所遇到的困难。

文章旨在帮助医生提高对这种罕见疾病的认识，并将肾上腺畸胎瘤纳入肾上腺肿瘤的潜在鉴别系列。

关键词：肾上腺畸胎瘤；临床病例；儿科；放射诊断。

引用本文：

Shchelkanova ES, Tereshchenko GV, Krasnov AS. 一名患有模仿神经母细胞瘤的肾上腺成熟性畸胎瘤的儿童放射诊断难题. *Digital Diagnostics*. 2024;5(2):379–389. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD622768>

收到: 27.12.2023

接受: 13.02.2024

发布日期: 28.06.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ

Первичные опухоли надпочечников относятся к одному из важных и трудных в диагностическом и лечебном плане разделов клинической онкологии.

Четвёртое издание классификации эндокринных опухолей Всемирной организации здравоохранения, опубликованное в 2017 году, делит все опухоли надпочечников на две большие группы [1]:

- 1) опухоли коры надпочечников;
- 2) опухоли мозгового вещества надпочечников и вне-надпочечниковых параганглиев.

В первую группу входят опухоли, возникающие из коры надпочечников или преимущественно поражающие её: аденокарцинома, аденома, стромальные опухоли полового тяжа, аденоматоидная опухоль, мезенхимальные и стромальные опухоли (миелолипома и шваннома), гематолимфоидные опухоли.

Во вторую группу включены: феохромоцитома, параганглиома и нейробластные опухоли надпочечников (нейробластома, ганглионейробластома, ганглионеврома).

На сегодняшний день нейробластома является наиболее распространённой опухолью надпочечников у детей, а в её дифференциальный ряд включены такие образования, как нефробластома, кровоизлияние в надпочечник, ангиомиолипома, миелолипома и аденома [2–4].

В данной статье мы хотим сообщить о случае первичной зрелой тератомы левого надпочечника у ребёнка, которая первоначально была расценена как нейробластома, а также привести дифференциальный ряд данной патологии.

Проведённый нами обзор литературы показал, что в мире описано около 20 подобных случаев среди детского населения [3, 5, 6]. При этом нам не удалось найти ни одного описанного случая в отечественной литературе.

ОПИСАНИЕ СЛУЧАЯ

Анамнез

Пациентка, девочка, больна с августа 2020 года, когда в возрасте 2 месяцев на плановом ультразвуковом исследовании (УЗИ) органов брюшной полости обнаружили объёмное образование левой почки (объём 197 см³). Анамнез жизни ребёнка без особенностей.

Из истории заболевания известно следующее:

21.09.2020 — Ребёнок был госпитализирован в урологическое отделение по месту жительства. Онкомаркёры от 22.09.2020:

- нейронспецифическая енолаза (NSE) повышена до 24,7 нг/мл (при норме 0–16,3 нг/мл);
- альфа-фетопротеин (АФП) повышен до 971 нг/мл (при норме 323±278 нг/мл).

23.09.2020 — По результатам мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) органов брюшной

полости с контрастным усилением определялось массивное объёмное образование забрюшинно слева, размерами 81×71×87 мм (объём 260 см³), неоднородной структуры, с наличием кальцинатов и кистозных включений, со слабым накоплением контрастного препарата. Образование распространялось в область почечного синуса, чётких признаков распространения на паренхиму почки не отмечалось. Надпочечник был распластан по латеральному контуру. Почечные сосуды слева проходили по контуру опухоли, верхняя брыжеечная артерия была смещена вправо, чревный ствол — вверх (рис. 1).

29.09.2020 — Результат анализа миелограммы: опухолевые клетки не обнаружены.

В начале октября было выполнено оперативное вмешательство в объёме лапаротомии и биопсии образования забрюшинного пространства. Гистологически верифицирована низкодифференцированная нейробластома. Пересмотр гистологических препаратов в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации также подтвердил диагноз. Цитогенетическое исследование не было проведено из-за скудного материала.

После обследования был выставлен клинический диагноз: «Нейробластома забрюшинного пространства слева, с распространением в брюшную полость», и начата терапия по протоколу NB-2004.

16.10.2020 — В целях оценки динамики опухоли по месту жительства была назначена магнитно-резонансная томография (МРТ), где было выявлено прогрессирующее заболевание в виде увеличения размеров опухоли до 104×77×118 мм (объём 491 см³). Визуализировалась кистозно-солидная структура образования с наличием участков кровоизлияния, с признаками активного накопления контрастного препарата. Надпочечник был распластан по латеральному контуру образования. Почечные сосуды слева проходили по контуру опухоли, верхняя брыжеечная артерия была смещена вправо, чревный ствол — вверх. В исследовании не были представлены контрастные серии и взвешенности с подавлением сигнала от жировой ткани (рис. 2).

Госпитализация

В связи с прогрессией заболевания ребёнок был госпитализирован в Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева в отделение клинической онкологии для проведения дообследования и решения дальнейшей тактики лечения.

При поступлении в стационар был повторно взят анализ на NSE: повышен до 19,64 нг/мл (при норме 0–16,3 нг/мл). Для исключения гормонпродуцирующей опухоли взяли биохимический анализ на кортизол: 17,3 мкг/дл (при норме 3,7–19,4 мкг/дл).

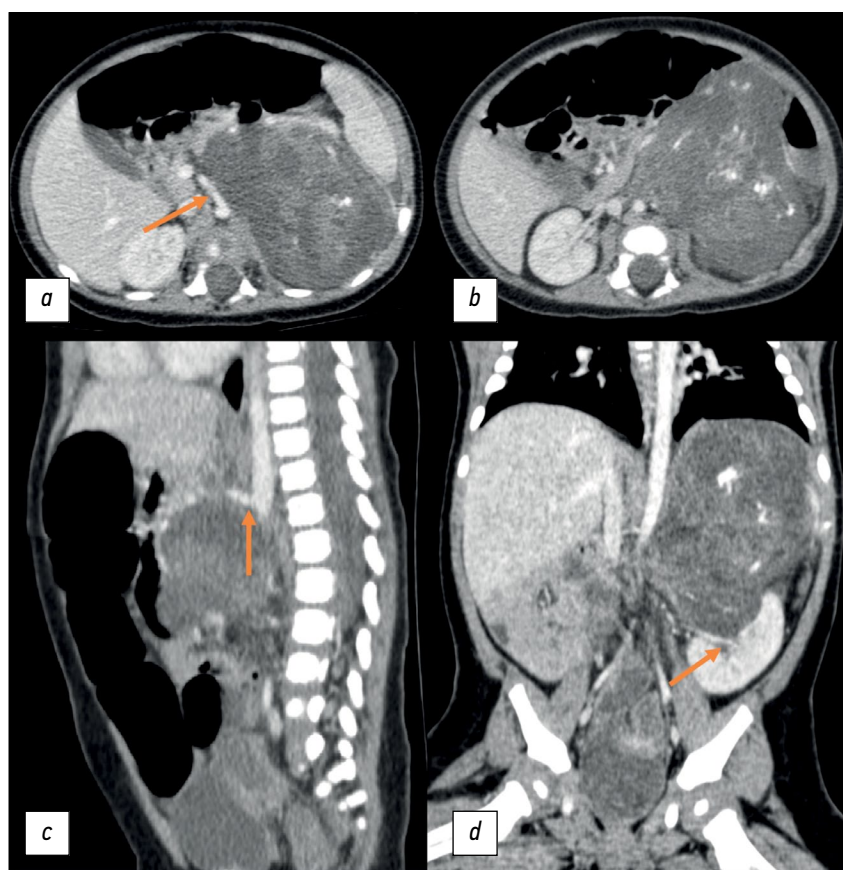


Рис. 1. Первичная компьютерная томография органов брюшной полости с внутривенным контрастированием от 23.09.2020, картина объёмного образования забрюшинного пространства слева: *a* — аксиальная плоскость, стрелкой указано смещение верхней брыжеечной артерии вправо; *b* — аксиальная плоскость; *c* — сагиттальная плоскость, стрелкой указано смещение чревного ствола вверх; *d* — корональная плоскость, стрелкой указано распространение опухоли в почечный синус.

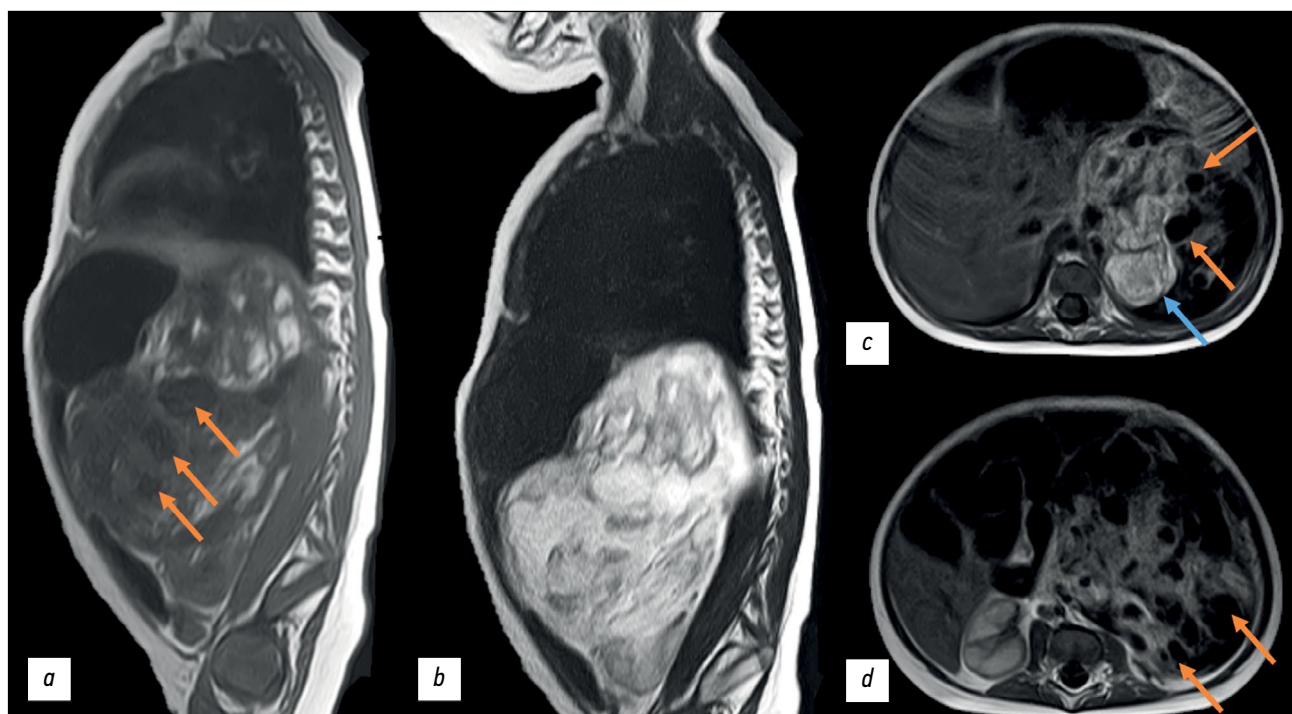


Рис. 2. Магнитно-резонансная томография органов брюшной полости от 16.11.2020: *a* — T1-взвешенное изображение в сагиттальной проекции; *b* — T2-взвешенное изображение в сагиттальной проекции; *c, d* — T1-взвешенные изображения в аксиальной проекции, объёмное образование левого надпочечника, с увеличением в динамике. Оранжевыми стрелками показаны сниженные сигналы от кистозного компонента опухоли, синей стрелкой показан повышенный сигнал от солидного компонента опухоли.

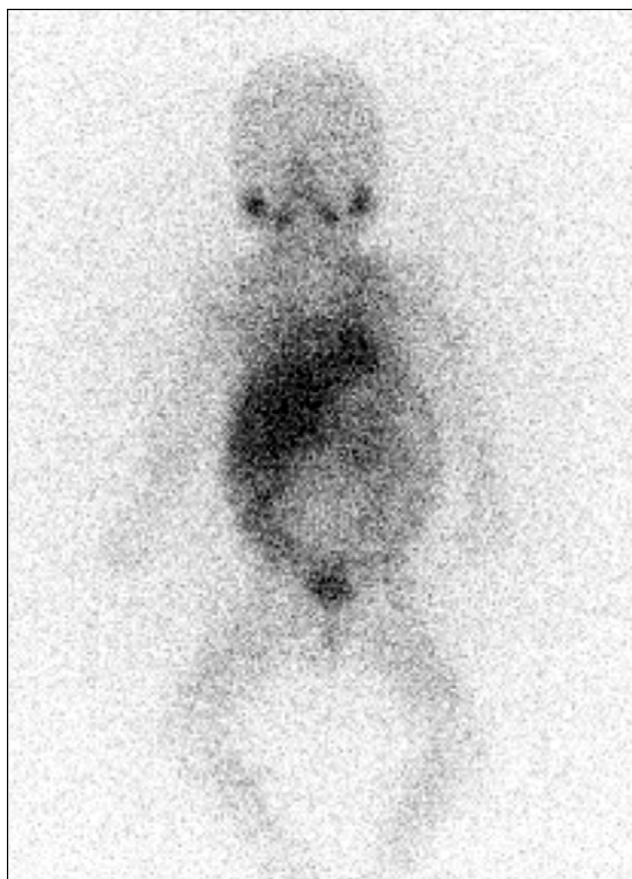


Рис. 3. Сцинтиграфия с метайодбензилгуанидином от 30.10.2020. Накопление опухолью радиофармпрепарата не определяется.

30.10.2020 — Была выполнена сцинтиграфия с метайодбензилгуанидином, по результатам которой достоверных данных за накопление опухолью радиофармацевтического препарата получено не было (рис. 3).

01.11.2020 — С целью уточнения характера опухоли было повторно выполнено МРТ-исследование с контрастным усилением, где на серии сканов брюшной полости сохранялись признаки объёмного кистозно-солидного образования в забрюшинном пространстве слева, неправильной формы, с достаточно чёткими и ровными контурами, с наличием внутриопухолевых кровоизлияний (участки ограничения диффузии на диффузионно-взвешенных изображениях) и жировых включений (выпадение сигнала в режиме SPIR), общими размерами до 89×112×141 мм (объём 731 см³). Отмечалось увеличение объёма опухоли на 49% в сравнении с предыдущим исследованием. При внутривенном контрастировании опухоль фрагментарно накапливала магнитно-резонансное контрастное средство в солидных компонентах. Опухоль каудально дистопировала левую почку в область малого таза. Левый надпочечник не визуализировался. Селезёнка была оттеснена кпереди, граница с опухолью прослеживалась отчётливо. Селезёночные сосуды проходили по переднему контуру опухоли, чревный ствол — по медиальному контуру. Поджелудочная железа была распластана по переднему контуру опухоли, интимно прилежала к ней. Верхняя граница опухоли прилежала к левому куполу диафрагмы, оттесняя его каудально, за счёт чего наблюдалось уменьшение объёма левого лёгкого (рис. 4).

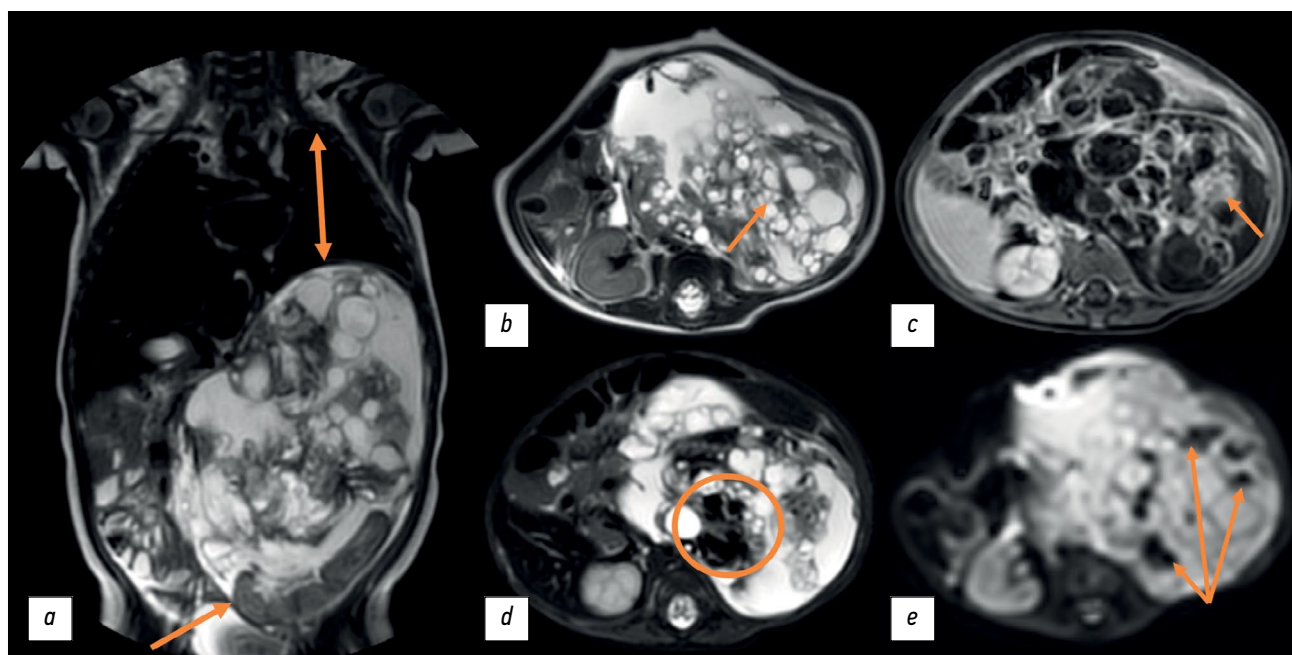


Рис. 4. Магнитно-резонансная томография брюшной полости с контрастным усилением от 01.11.2020 в коронарной (a) и аксиальной (b–e) плоскостях: a — T2-взвешенное изображение, уменьшение объёма левого лёгкого за счёт давления опухолью на левый купол диафрагмы (двойная оранжевая стрелка), дистопия левой почки в область таза (оранжевая стрелка); b — T2-взвешенное изображение, множественные кисты в структуре опухоли (оранжевая стрелка); c — T1-взвешенное изображение +C, фрагментарное накопление контрастного средства в солидных компонентах (оранжевая стрелка); d — T2 SPIR, выпадение сигнала от жировых включений опухоли (оранжевый круг); e — диффузионно-взвешенное изображение, участки ограничения диффузии от внутриопухолевых кровоизлияний (оранжевые стрелки).

По результатам МРТ-исследования, в связи с выявлением жировых включений (подавление сигнала в режиме SPIR), которые не характерны для нейробластомы, впервые была заподозрена герминогенно-клеточная опухоль — тератома забрюшинного пространства (левого надпочечника?) или опухоли мезенхимальной природы.

На следующий день была проведена компьютерная томография брюшной полости, где было подтверждено наличие кальцинатов и жировых включений в кистозно-солидном образовании со слабым накоплением контрастного вещества (рис. 5).

Учитывая полученные данные об увеличении опухоли на фоне проведения 1 курса полихимиотерапии, характеристики опухоли с признаками наличия включений жира и инфильтрации опухолью области почечного синуса, а также ввиду отсутствия данных цитогенетического исследования, ребёнку было показано хирургическое вмешательство в объёме релапаротомии, удаления образования забрюшинного пространства, с целью проведения планового гистологического и цитогенетического исследований.

04.11.2020 — Была выполнена операция в следующем объёме: лапаротомия, удаление образования забрюшинного пространства, стентирование левого мочеточника.

09.11.2020 — В лабораторных анализах отмечалась нормализация концентрации АФП: 51 нг/мл.

При гистологическом исследовании морфологическая картина соответствовала зрелой тератоме левого надпочечника. Опухоль первично исходила из мозгового вещества надпочечника.

Таким образом, пациенту был установлен окончательный диагноз: «Зрелая тератома левого надпочечника».

Ребёнок в возрасте 5 мес в стабильном соматическом статусе был выписан под динамическое наблюдение детского онколога по месту жительства. Показаний для продолжения специфической терапии не было.

ОБСУЖДЕНИЕ

Тератомы представляют собой герминогенно-клеточные опухоли, происходящие из тотипотентных клеток [5]. Они содержат хорошо дифференцированные или не полностью дифференцированные элементы как минимум двух слоёв зародышевых клеток (энтодермы, эктодермы и/или мезодермы).

Считается, что первичное забрюшинное вовлечение возникает в результате прерывания нормальной эмбриологической миграции первичных зародышевых клеток в различных точках между их происхождением в желточном мешке и их конечным пунктом назначения в половых валиках [7]. Тератомы делят на 4 гистологических варианта: зрелые, незрелые, тератомы со злокачественной трансформацией и монодермальные [7]. Зрелые тератомы

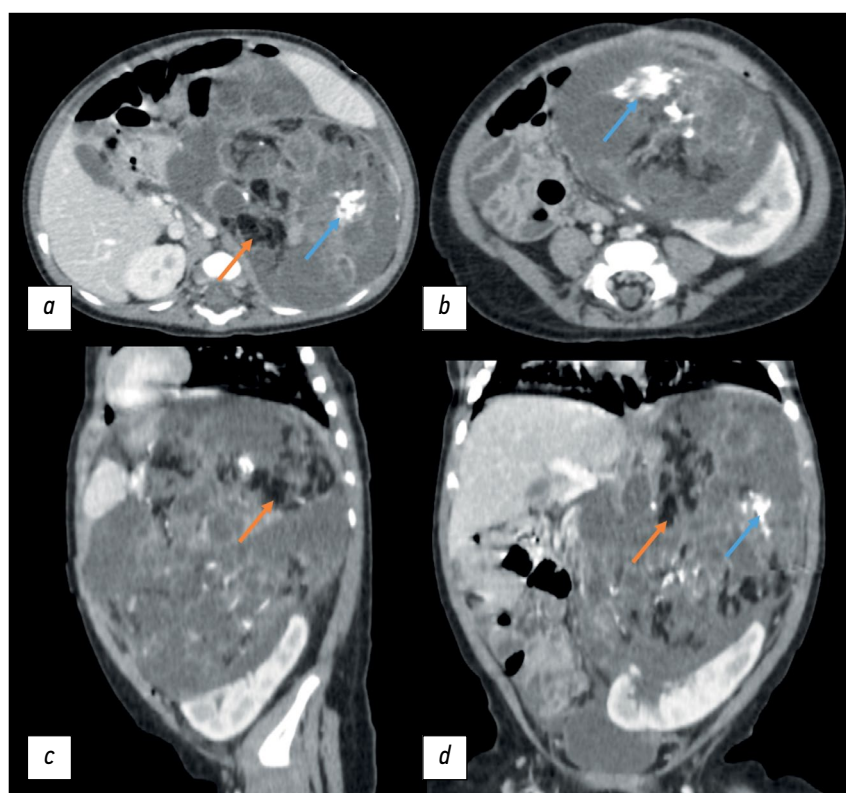


Рис. 5. Компьютерная томография органов брюшной полости с контрастным усилением от 01.11.2020: *a, b* — аксиальная проекция; *c* — сагиттальной проекция; *d* — корональная проекция. Оранжевые стрелки указывают на гиподенсивные (жировые) включения в структуре опухоли, плотностью –80 HU; синие стрелки указывают на кальцинаты.

хорошо дифференцированы по отношению к зародышевым слоям клеток. Незрелые тератомы не полностью дифференцированы и сходны с фетальной или эмбриональной тканью [8]. Тератомы в своей структуре могут содержать волосы, кожу, зубы, нервы, жировую ткань, хрящи и так далее [3]. Тератомы вне половых желёз встречаются редко, а тератомы надпочечников встречаются ещё реже. Самое большое из найденных нами исследований заболеваний надпочечников было проведено в Китае на базе Пекинского союзного медицинского колледжа, где в период с марта 2009 г. по февраль 2014 г. проходили лечение 3901 пациент, из которых пять пациентов (4 взрослых и один ребёнок 16 лет) имели диагноз «первичная тератома надпочечников», что составило всего 0,13% [9].

Больные тератомой надпочечников обычно не имеют клинических проявлений, так как забрюшинное пространство достаточно обширно для свободного роста. Некоторые пациенты жалуются на боль в пояснице, пальпируемое образование в животе, боль в верхней части живота [3].

УЗИ органов брюшной полости обычно является первым методом визуализации, используемым в педиатрии. Антенатальное ультразвуковое исследование плода и профилактическое проведение УЗИ органов брюшной полости и забрюшинного пространства в 1-й месяц после рождения увеличило выявление образований на ранней стадии [10]. С помощью УЗИ можно идентифицировать кистозные, солидные и другие сложные компоненты опухоли [11].

МСКТ и МРТ полезны для определения распространённости заболевания в забрюшинном пространстве и его связи с крупными сосудами, что обеспечивает лучшее предоперационное планирование и повышает вероятность полного удаления опухоли с меньшим ятрогенным повреждением [12]. Жировые включения, образование кист и кальцификация считаются важными предикторами

доброкачественности тератомы при МСКТ [13]. МРТ демонстрирует высокую естественную контрастность мягких тканей, а также обладает большей чувствительностью к мелким включениям жира при использовании последовательностей с жироподавлением. Забрюшинные тератомы могут экспрессировать АФП, и его концентрация в сыворотке является хорошим показателем для диагностики и оценки рецидива опухоли [14].

Данный клинический случай наглядно демонстрирует необходимость внимательного изучения структуры опухолевого узла и оценки плотности различных её элементов. Ретроспективный анализ ошибок, допущенных при диагностике пациента, показал, что предположить диагноз тератомы можно было уже на первичном МСКТ органов брюшной полости за счёт наличия мелких гиподенсивных включений плотностью -70 HU, что соответствует жировому компоненту опухоли, который не характерен для нейробластомы (рис. 6).

Кроме того, в пользу тератомы надпочечника говорил тот факт, что опухоль имела чёткий ровный контур, смещала сосуды, не окружая их, в отличие от нейробластомы, которая имеет нечёткий неровный контур и вовлекает сосуды, инфильтрируя их. Наличие кистозно-солидного компонента и кальцификации характерно для обеих опухолей. Отсутствие накопления радиофармпрепарата при сцинтиграфии, низкая концентрация NSE и высокая концентрация АФП также говорят в пользу тератомы. Ошибки гистологического исследования, вероятно, связаны с биопсией малоинформативного участка ткани и скудностью материала.

Следует отметить, что, за исключением нейробластом, опухоли надпочечников чрезвычайно редко встречаются у детей. Тератомы следует дифференцировать с другими опухолями, содержащими жировой компонент и участки кальцификации.

К жиросодержащим образованиям надпочечника относят миелолипому, липому и миелосаркому,

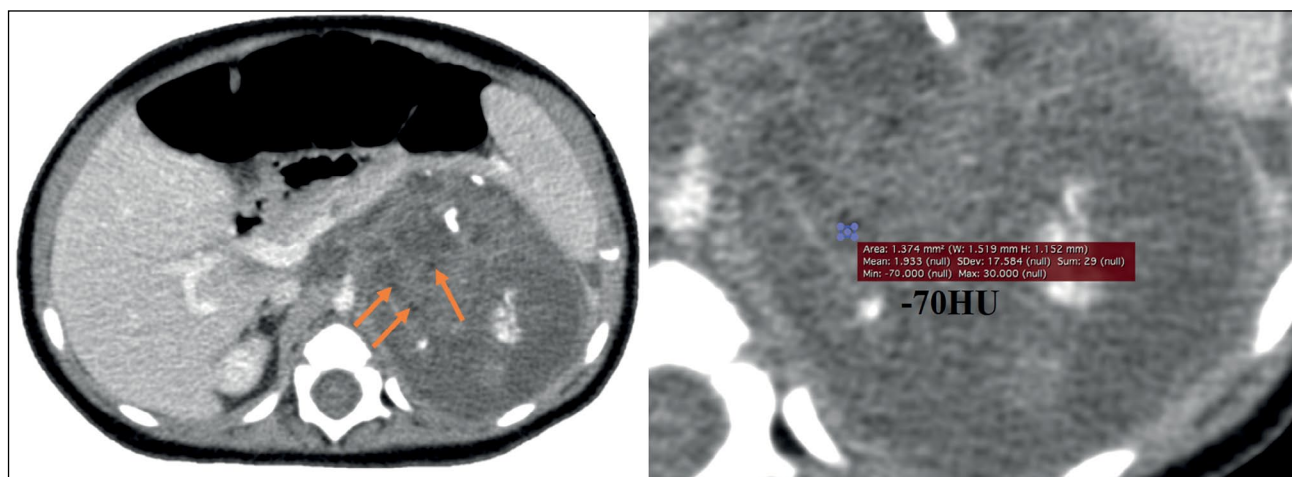


Рис. 6. Инициальная компьютерная томография органов брюшной полости с контрастным усилением, в аксиальной проекции от 23.09.2020. Стрелками показаны мелкие гиподенсивные включения в структуру опухоли, плотностью -70 HU.

микроскопическое включение жира могут иметь аденома, феохромоцитома и адренокортикальная карцинома.

Миелолипома в основном диагностируется в возрасте от 50 до 70 лет и чаще в области правого надпочечника [15]. Рентгенологически на МСКТ имеет большие очаги жировой ткани с «дымчатыми» или «пёстрыми» областями вкраплений ткани с более высокой плотностью от 20 до 30 HU (миелоидные элементы). В редких случаях может содержать включения из мелких кальцинатов.

Липома надпочечника — очень редкая патология, с медианой возраста 54 года, чаще всего поражающая правый надпочечник. В отличие от тератомы, это гомогенное гиподенсивное образование, состоящее исключительно из жирового компонента [16].

Не стоит также исключать из дифференциального диагноза липосаркому, хотя она и крайне редко встречается в детском возрасте. Для неё характерны нечёткие, неровные контуры, инвазия в окружающие ткани и сосуды. Часто визуализируются метастазы [17].

Наиболее распространёнными образованиями надпочечника, содержащими кальцинаты в структуре, являются метастатическое поражение (как известно, у пациента в данном клиническом случае это была первичная опухоль, других новообразований найдено не было) и туберкулёзное поражение (эпидемиологическое окружение пациента чистое, данных за туберкулёзный процесс нет) [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первичная тератома надпочечника встречается крайне редко, но имеет при этом классические рентгенологические признаки, которые в некоторых случаях могут быть очень схожи с другими широко распространёнными опухолями детского возраста данной локализации. В продемонстрированном случае у рентгенолога была возможность предположить наличие данного заболевания уже на начальных этапах диагностического поиска. Отсутствие настороженности в отношении редкой локализации, невнимательность при оценке структуры опухолевого узла и неверная трактовка данных гистологического исследования привели к ошибкам в постановке диагноза. Демонстрация редких случаев из практики и работа

над ошибками являются важными элементами повышения качества лучевой диагностики.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении работы.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Е.С. Щелканова — обзор публикаций по теме статьи, подготовка текста рукописи, подготовка списка литературы; Г.В. Терещенко — утверждение окончательного варианта публикации; А.С. Краснов — редактирование текста рукописи.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациента на публикацию медицинских данных и фотографий в журнале Digital Diagnostics.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. E.S. Shchelkanova — review of publications on the topic of the article, writing the text of the article, preparation of a list of references; G.V. Tereshchenko — approval of the final version of the publication; A.S. Krasnov — editing the text of the manuscript.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient's legal representatives for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript in Digital Diagnostics Journal.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. WHO Classification of Tumours Editorial Board. WHO classification of tumours of endocrine organs, 4th ed. Lloyd R.V., Osamura R.Y., Kloppel G., Rosai J., editors. Lyon : International Agency for Research on Cancer, 2017.
2. Emre Ş., Özcan R., Bakır A.C., Kuruoğlu S., et al. Adrenal masses in children: Imaging, surgical treatment and outcome // Asian J Surg. 2020. Vol. 43, N 4. P. 207–212. doi: 10.1016/j.asjsur.2019.03.012
3. He C., Yang Y., Yang Y., et al. Teratoma of the adrenal gland: clinical experience and literature review // Gland Surg. 2020. Vol. 9, N 4. P. 1056–1064. doi: 10.21037/gs-20-648
4. Феоктистова Е.В., Ускова Н.Г., Варфоломеева С.Р., и др. Дифференциальная диагностика кистозной формы нейробластомы и кровоизлияния в надпочечник у детей первых месяцев жизни // Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии. 2017. Т. 16, № 1. С. 62–68. doi: 10.24287/1726-1708-2017-16-1-62-68
5. Wang X., Li X., Cai H., et al. Rare Primary Adrenal Tumor: A Case Report of Teratomas and Literatures Review // Front Oncol. 2022. Vol. 12. P. 830003. doi: 10.3389/fonc.2022.830003
6. AlQattan A., Alsharrit M., Alsaihaty E., et al. The "Monstrous tumor" of Adrenal gland: A case report and review of literature on

adrenal teratomas // *Int. J. Surg. Open*. 2023. Vol. 60. P. 100696. doi: 10.1016/j.ijso.2023.100696

7. Craig W.D., Fanburg-Smith J.C., Henry L.R., et al. Fat-containing lesions of the retroperitoneum: radiologic-pathologic correlation // *Radiographics*. 2009. Vol. 29, N 1. P. 261–290. doi: 10.1148/rg.291085203

8. Wetherell D., Weerakoon M., Williams D., et al. Mature and Immature Teratoma: A Review of Pathological Characteristics and Treatment Options // *Med Surg Urol*. 2014. Vol. 3, N 1. P. 124. doi: 10.4172/2168-9857.1000124

9. Li S., Li H., Ji Z., Yan W., Zhang Y. Primary adrenal teratoma: Clinical characteristics and retroperitoneal laparoscopic resection in five adults // *Oncol Lett*. 2015. Vol. 10, N 5. P. 2865–2870. doi: 10.3892/ol.2015.3701

10. Sandoval J.A., Williams R.F. Neonatal Germ Cell Tumors // *Curr Pediatr Rev*. 2015. Vol. 11, N 3. P. 205–215. doi: 10.2174/1573396311666150714105531

11. Wootton-Gorges S.L., Thomas K.B., Harned R.K., et al. Giant cystic abdominal masses in children // *Pediatr Radiol*. 2005. Vol. 35, N 12. P. 1277–1288. doi: 10.1007/s00247-005-1559-7

12. Zhao Z., Deng X., Peng L., Kong X. Case Report Management of retroperitoneal teratoma in infants younger than one-year-old // *Int J Clin Exp Med*. 2018. Vol. 11, N 2. P. 1362–1366.

13. Singh A.P., Jangid M., Morya D.P., Gupta A. Retroperitoneal Teratoma in an Infant // *Journal of Case Reports*. 2014. Vol. 4, N 2. P. 317–319. doi: 10.17659/01.2014.0079

14. Rattan K.N., Kadian Y.S., Nair V.J., et al. Primary retroperitoneal teratomas in children: a single institution experience // *Afr J Paediatr Surg*. 2010. Vol. 7, N 1. P. 5–8. doi: 10.4103/0189-6725.59350

15. Lam A.K. Lipomatous tumours in adrenal gland: WHO updates and clinical implications // *Endocr Relat Cancer*. 2017. Vol. 24, N 3. P. 65–79. doi: 10.1530/ERC-16-0564

16. Tejedor D.C., Gutierrez V.R., Afonso J.M., et al. Adrenal lipoma: A case report and literature review // *Urol Case Rep*. 2020. Vol. 34. P. 101506. doi: 10.1016/j.eurc.2020.101506

17. Liao T., Du W., Li X., et al. Recurrent metastatic retroperitoneal dedifferentiated liposarcoma: a case report and literature review // *BMC Urol*. 2023. Vol. 23, N 1. P. 63. doi: 10.1186/s12894-023-01252-3

REFERENCES

- WHO Classification of Tumours Editorial Board. *WHO classification of tumours of endocrine organs, 4th ed*. Lloyd R.V., Osamura RY, Kloppel G, Rosai J, editors. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2017.
- Emre Ş, Özcan R, Bakır AC, Kuruçoğlu S, et al. Adrenal masses in children: Imaging, surgical treatment and outcome. *Asian J Surg*. 2020;43(4):207–212. doi: 10.1016/j.asjsur.2019.03.012
- He C, Yang Y, Yang Y, et al. Teratoma of the adrenal gland: clinical experience and literature review. *Gland Surg*. 2020;9(4):1056–1064. doi: 10.21037/gs-20-648
- Feoktistova EV, Uskova NG, Varfolomeeva SP, et al. Differential diagnosis of congenital cystic neuroblastoma and prenatal adrenal hemorrhage in children of the first months of life. *Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology*. 2017;16(1):62–68. doi: 10.24287/1726-1708-2017-16-1-62-68
- Wang X, Li X, Cai H, et al. Rare Primary Adrenal Tumor: A Case Report of Teratomas and Literatures Review. *Front Oncol*. 2022;12:830003. doi: 10.3389/fonc.2022.830003
- AlQattan A, Alsharhit M, Alsaihaty E, et al. The “Monstrous tumor” of Adrenal gland: A case report and review of literature on adrenal teratomas. *Int. J. Surg. Open*. 2023;60:100696. doi: 10.1016/j.ijso.2023.100696
- Craig WD, Fanburg-Smith JC, Henry LR, et al. Fat-containing lesions of the retroperitoneum: radiologic-pathologic correlation. *Radiographics*. 2009;29(1):261–290. doi: 10.1148/rg.291085203
- Wetherell D, Weerakoon M, Williams D, et al. Mature and Immature Teratoma: A Review of Pathological Characteristics and Treatment Options. *Med Surg Urol*. 2014;3(1):124. doi: 10.4172/2168-9857.1000124
- Li S, Li H, Ji Z, Yan W, Zhang Y. Primary adrenal teratoma: Clinical characteristics and retroperitoneal laparoscopic resection in five adults. *Oncol Lett*. 2015;10(5):2865–2870. doi: 10.3892/ol.2015.3701
- Sandoval JA, Williams RF. Neonatal Germ Cell Tumors. *Curr Pediatr Rev*. 2015;11(3):205–215. doi: 10.2174/1573396311666150714105531
- Wootton-Gorges SL, Thomas KB, Harned RK, et al. Giant cystic abdominal masses in children. *Pediatr Radiol*. 2005;35(12):1277–1288. doi: 10.1007/s00247-005-1559-7
- Zhao Z, Deng X, Peng L, Kong X. Case Report Management of retroperitoneal teratoma in infants younger than one-year-old. *Int J Clin Exp Med*. 2018;11(2):1362–1366.
- Singh AP, Jangid M, Morya DP, Gupta A. Retroperitoneal Teratoma in an Infant. *Journal of Case Reports*. 2014;4(2):317–319. doi: 10.17659/01.2014.0079
- Rattan KN, Kadian YS, Nair VJ, et al. Primary retroperitoneal teratomas in children: a single institution experience. *Afr J Paediatr Surg*. 2010;7(1):5–8. doi: 10.4103/0189-6725.59350
- Lam AK. Lipomatous tumours in adrenal gland: WHO updates and clinical implications. *Endocr Relat Cancer*. 2017;24(3):65–79. doi: 10.1530/ERC-16-0564
- Tejedor DC, Gutierrez VR, Afonso JM, et al. Adrenal lipoma: A case report and literature review. *Urol Case Rep*. 2020;34:101506. doi: 10.1016/j.eurc.2020.101506
- Liao T, Du W, Li X, et al. Recurrent metastatic retroperitoneal dedifferentiated liposarcoma: a case report and literature review. *BMC Urol*. 2023;23(1):63. doi: 10.1186/s12894-023-01252-3

ОБ АВТОРАХ

*** Щелканова Екатерина Сергеевна;**

адрес: Россия, 117997, Москва, ул. Саморы Машела, д. 1;

ORCID: 0009-0002-3582-8783;

eLibrary SPIN: 9198-4674;

e-mail: Dr.Shelkanova@yandex.ru

Краснов Алексей Сергеевич;

ORCID: 0000-0003-1099-9332;

eLibrary SPIN: 3238-4124;

e-mail: Alexey.Krasnov@fccho-moscow.ru

Терещенко Галина Викторовна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0001-7317-7104;

eLibrary SPIN: 9413-2500;

e-mail: Galina.Tereshenko@fccho-moscow.ru

AUTHORS' INFO

*** Ekaterina S. Shchelkanova;**

address: 1 Samory Mashela street, Moscow, 117997, Russia;

ORCID: 0009-0002-3582-8783;

eLibrary SPIN: 9198-4674;

e-mail: Dr.Shelkanova@yandex.ru

Alexey S. Krasnov;

ORCID: 0000-0003-1099-9332;

eLibrary SPIN: 3238-4124;

e-mail: Alexey.Krasnov@fccho-moscow.ru

Galina V. Tereshchenko, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0001-7317-7104;

eLibrary SPIN: 9413-2500;

e-mail: Galina.Tereshenko@fccho-moscow.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author