



ЦЕНТР ДИАГНОСТИКИ
И ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

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

DIGITAL DIAGNOSTICS

Рецензируемый научный медицинский журнал

4 Том | Volume 1 Выпуск | Issue



2023



ЭКО • ВЕКТОР

<https://journals.eco-vector.com/DD>

УЧРЕДИТЕЛИ

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

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ
№ ФС 77 - 74099 от 19.10.2018

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»

Адрес: 191186, Санкт-Петербург, Аптекарский переулоч, 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: 127051, Москва, ул. Петровка,
д. 24, стр. 1

ПОДПИСКА

Подписка на печатную версию через интернет:

www.journals.eco-vector.com/

www.akc.ru

www.ppressa-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: *М.Н. Шошина*

Корректор: *М.Н. Шошина*

Вёрстка: *Ф.А. Игнащенко*

Обложка: *Е.Д. Бугаенко*

Отпечатано в ООО «Типография Фурсова».

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

Тел.: +7 (812) 646-33-77

ISSN 2712-8490 (Print)

ISSN 2712-8962 (Online)

Digital Diagnostics

Том 4 | Выпуск 1 | 2023

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор

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

ORCID: 0000-0002-5649-2193

Заместитель главного редактора

Юрий Александрович Васильев, 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

Андрейченко А.Е., к.ф.-м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0001-6359-0763

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., MBBS, MD, PhD (Лондон, Великобритания)

ORCID: 0000-0001-9930-5549

Гомбелевский 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 B., 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

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

ORCID: 0000-0002-5670-167X

Митков 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

Омельянская О.В., (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-0245-4431

Van Ooijen P., к.м.н. (Гронинген, Нидерланды)

ORCID: 0000-0002-8995-1210

Oudkerk M., профессор (Гронинген, Нидерланды)

ORCID: 0000-0003-2800-4110

Ros P.R., MD, MPH, 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

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

16+

© ООО «Эко-Вектор», 2023



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,
191186, 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

complete in Eco-Vector
Copyeditor: *M.N. Shoshina*
Proofreader: *M.N. Shoshina*
Layout editor: *Ph. Ignashchenko*
Cover: *E. Bugaenko*

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

Digital Diagnostics

Volume 4 | Issue 1 | 2023

QUARTERLY PEER-REVIEW MEDICAL JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Yurii 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 (Tech) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-6465-4132

EDITORIAL BOARD

A.E. Andreychenko, PhD (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-6359-0763
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, MBBS, 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. (Tech.), 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
V.V. Mit'kov, MD, Dr.Sci. (Med), Professor (St-Petersburg, Russia)
ORCID: 0000-0003-1959-9618
S.T. Matskeplishvili, MD, Dr.Sci. (Med), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-5670-167X
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
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
P. van Ooijen, PhD, Assoc. Professor (Groningen, Netherlands)
ORCID: 0000-0002-8995-1210
M. Oudkerk, Professor (Groningen, Netherlands)
ORCID: 0000-0003-2800-4110
P.R. Ros, MD, MPH, 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 (St-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

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.

16+

© Eco-Vector, 2023



СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*М.М. Сучилова, И.А. Блохин, О.О. Алешина, В.А. Гомболевский, Р.В. Решетников,
В.Ю. Босин, О.В. Омелянская, А.В. Владзимирский*

Сравнение измерения линейного размера и объёма лёгочных очагов по данным скрининга
рака лёгких с помощью низкодозной компьютерной томографии 5

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОТЧЁТЫ

К.М. Арзамасов, В.А. Дроговоз, Т.М. Бобровская, А.В. Владзимирский

Телеультразвуковые исследования с использованием смартфонов и одноплатных компьютеров 15

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

И.А. Блохин, Д.А. Румянцев, М.М. Сучилова, А.П. Гончар, О.В. Омелянская

Низкодозная компьютерная томография органов грудной клетки в диагностике COVID-19:
обзор литературы 25

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

Е.М. Сыркашев, Ф.З. Кадырбердиева, Л.Р. Абуладзе, Д.С. Семенов, Е.Г. Привалова

Основные импульсные последовательности в диагностике абдоминальной патологии 39

КЛИНИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ

Е.Н. Каранадзе, В.Е. Синицын, М.А. Каранадзе

Диагностика патологии и аномалии сосково-ареолярного комплекса:
серия клинических случаев 51

С.А. Мясина, К.И. Пазюк, Т.П. Березовская, А.А. Невольских, А.Л. Потапов, С.А. Иванов

Магнитно-резонансная томография в диагностике некроза низведённого сегмента
толстой кишки после брюшно-анальной резекции прямой кишки по поводу рака 61

Ю.А. Васильев, Е.А. Грик, О.Ю. Панина, А.Н. Хоружая, Д.С. Семенов, А.В. Бажин, Ю.Н. Васильева

Динамическая магнитно-резонансная томография лёгких у пациентов с COVID-19:
серия клинических случаев 71

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

Д.В. Шутов, Д.Е. Шарова, Л.Р. Абуладзе, Д.В. Дроздов

Системы искусственного интеллекта в клинической физиологии:
как сделать их обучение эффективным? 81

CONTENTS

ORIGINAL STUDY ARTICLES

Maria M. Suchilova, Ivan A. Blokhin, Olga O. Aleshina, Victor A. Gomboleviskiy, Roman V. Reshetnikov, Viktor Yu. Bosin, Olga V. Omelyanskaya, Anton V. Vladzemyrskyy

Volumetry versus linear diameter lung nodule measurement:
an ultra-low-dose computed tomography lung cancer screening study 5

TECHNICAL REPORTS

Kirill M. Arzamasov, Viktor A. Drogozov, Tatiana M. Bobrovskaya, Anton V. Vladzemyrskyy

Tele-ultrasound imaging using smartphones and single-board PCs 15

SYSTEMATIC REVIEWS

Ivan A. Blokhin, Denis A. Rumyantsev, Maria M. Suchilova, Anna P. Gonchar, Olga V. Omelyanskaya

Low-dose computed tomography in COVID-19: systematic review 25

REVIEWS

Egor M. Syrkashev, Faina Z. Kadyrberdieva, Liya R. Abuladze, Dmitriy S. Semenov, Ekaterina G. Privalova

Basic pulse sequences in the diagnosis of abdominal pathology 39

CASE REPORTS

Elena N. Karanadze, Valentin E. Sinitsyn, Mariia A. Karanadze

Diseases and abnormalities of the nipple-areolar complex: a case report series 51

Sofiya A. Myalina, Ksenia I. Paziuk, Tatiana P. Berezovskaya, Alexey A. Nevolskikh, Aleksandr L. Potapov, Sergey A. Ivanov

Magnetic resonance imaging in the diagnosis of necrosis of a pulled-through colon segment
after abdomino-anal resection of the rectum for cancer 61

Yuriy A. Vasilev, Evgeniia A. Grik, Olga Yu. Panina, Anna N. Khoruzhaya, Dmitriy S. Semenov, Alexander V. Bazhin, Yulia N. Vasileva

Dynamic MRI in a COVID-19 patient: a case series 71

LETTERS TO THE EDITOR

Dmitry V. Shutov, Dariya E. Sharova, Liya R. Abuladze, Dmitrii V. Drozdov

Artificial intelligence in clinical physiology: How to improve learning agility 81



Важный рубеж: журнал Digital Diagnostic в Scopus и списке ВАК!

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

Перед вами первый номер Digital Diagnostic за 2023 год.

В своей редакторской статье я хотел бы поделиться с вами очень хорошими новостями о нашем молодом и интересном журнале, оглянуться назад и посмотреть в будущее.

Первый номер журнала вышел совсем недавно — в декабре 2020 года. Конечно, новорождённый журнал не мог сразу войти в престижные библиографические базы — коллективу предстояла большая и трудная работа в течение долгого времени. Но с самого начала мы ставили перед собой амбициозные цели — вхождение в библиографические базы ВАК, РИНЦ, Scopus, Web of Science, PubMed.

Мы не ставили задачу создать ещё один журнал по лучевой диагностике. Нашей целью было появление особенного международного мультитематического научно-практического издания, конечно, с главным фокусом на лучевую диагностику, но направленного также и на соседние области — медицинскую информатику, физику, лабораторную диагностику, организацию здравоохранения и др.

Журнал — электронный (мы печатаем и небольшое количество бумажных номеров), он находится в открытом доступе по адресу <https://jdigitaldiagnostics.com/DD/>. Первое, что видит читатель на сайте журнала — это обложки выпусков — предмет нашей особой гордости! Без ложной скромности, каждая из обложек сама по себе — произведение искусства, и за всё время существования журнала они ещё ни разу не повторились.

Очень важно, что издаётся Digital Diagnostic на трёх языках — русском, английском и китайском (издательство берёт переводы на себя), что позволяет нашим авторам быть увиденными и услышанными не только в своей стране, но и во всём мире. Это уникальная возможность! Обычно российские журналы ограничиваются резюме статей на английском языке, поэтому потенциальные читатели получают лишь ограниченное представление по опубликованному материалу. В случае с Digital Diagnostic всё по-другому: читатели получают доступ к полной версии статьи на удобном для них языке.

В журнале публикуются все традиционные виды статей — оригинальные исследования, обзоры, клинические случаи, письма в редакцию, редакционные статьи.

Существенно, что с самого рождения журнал входит в российскую научную электронную библиотеку eLIBRARY.RU и международную библиографическую систему ORCID, которые позволяют автору собрать информацию о своих публикациях и рецензиях (в случае ORCID) на одной платформе.

Два года журнал стремительно рос и развивался. Благодаря труду российских и иностранных членов редакционной коллегии и редакционного совета журнала, многочисленных рецензентов и авторов издание сформировало необходимый портфель публикаций. И всего лишь месяц назад — даже раньше, чем мы ожидали, — пришла радостная новость от издательства Elsevier, что наше издание вошло в базу данных Scopus! Как известно, российские научные издания, вошедшие в эту базу, включаются и в список Высшей аттестационной

комиссии (ВАК К1). Таким образом, статус журнала существенно изменился: он превратился в полноценное отечественное и международное издание, где могут и должны публиковаться работы на соискание учёных степеней кандидата и доктора медицинских наук, а опубликованные в нём статьи могут включаться в отчёты по научным темам и грантам. В качестве ремарки хочу предупредить, что процесс вхождения журнала в эти базы занимает время, поэтому информация о Digital Diagnostics на сайтах Scopus, ВАК и eLIBRARY.RU обновится, скорее всего, к осени, но уже с первого номера 2023 года (который вы читаете) все статьи будут входить в престижный Scopus.

Самое важное, что мы не собираемся останавливаться на достигнутом. Коллектив редакции постоянно работает над совершенствованием журнала: у нас амбициозные

планы по повышению его рейтинга, вхождению в другие престижные международные библиографические базы данных.

Дорогие читатели, наши достижения — это и ваша заслуга! И, конечно, нам необходима ваша помощь, а также обратная связь! Мы ждём интересные рукописи на самые разные темы. Публикация в Digital Diagnostics в его новом статусе даст теперь возможность представления вашего научного труда коллегам со всего мира. Мы рады видеть у нас и новых рецензентов, от работы которых существенно зависит качество публикаций.

От имени редакции издания желаю всем нам успехов!

С уважением и лучшими пожеланиями,
главный редактор Digital Diagnostics
профессор Валентин Евгеньевич Сеницын

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD117481>

Сравнение измерения линейного размера и объёма лёгочных очагов по данным скрининга рака лёгких с помощью низкодозной компьютерной томографии

М.М. Сучилова¹, И.А. Блохин¹, О.О. Алешина², В.А. Гомболевский³, Р.В. Решетников¹, В.Ю. Босин¹, О.В. Омелянская¹, А.В. Владзимирский^{1, 4}

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

² Государственная клиническая больница № 13, Москва, Российская Федерация

³ Институт искусственного интеллекта, Москва, Российская Федерация

⁴ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Согласно результатам голландско-бельгийского исследования скрининга рака лёгких NELSON, измерение объёма (волюметрия) очагов позволяет снизить распространённость ложноположительных результатов до 2,1%.

Цель — сравнение диагностической точности и согласованности результатов ручного измерения линейного размера с полуавтоматическим измерением объёма очагов по данным пилотного проекта «Московский скрининг рака лёгкого» с использованием низкодозной компьютерной томографии.

Материалы и методы. В программу скрининга были включены 293 пациента без верифицированного до 2020 года диагноза рака лёгкого, у которых на первичной низкодозной компьютерной томографии, выполненной в период с февраля 2017 по февраль 2018 года, был выявлен очаг в лёгком размером не менее 4 мм. Лучевая нагрузка подбиралась индивидуально и не превышала 1 мЗв. Все изображения низкодозной компьютерной томографии независимо оценивались тремя экспертами для измерения длинной оси очага, а также экстраполированного объёма. В качестве референсного значения размера и объёма брали среднее, полученное по итогам измерений экспертов. Очаг $<6 \text{ мм}/<100 \text{ мм}^3$ признавали ложноположительным результатом, очаг $\geq 6 \text{ мм}/\geq 100 \text{ мм}^3$ — ложноотрицательным.

Результаты. В исследование были включены 293 пациента (166 мужчин; 56%; средний возраст $64,6 \pm 5,3$ года). Лёгочных очагов $<6 \text{ мм}/<100 \text{ мм}^3$ было 199. Экспертами 1, 2 и 3 при измерении объёма зафиксированы отличия от референсного стандарта по 32 [10,9%; 4 ложноположительных, 28 ложноотрицательных], 29 [9,9%; 17 ложноположительных, 12 ложноотрицательных] и 30 [10,2%; 6 ложноположительных, 24 ложноотрицательных] очагам, а также расхождения при измерении линейного размера по 92 [65,5%; 107 ложноположительных, 85 ложноотрицательных], 146 [49,8%; 58 ложноположительных, 88 ложноотрицательных] и 102 [34,8%; 23 ложноположительных, 79 ложноотрицательных] очагам соответственно.

Заключение. Использование волюметрии лёгочных очагов значительно снижает количество ложноположительных и ложноотрицательных результатов в сравнении с измерением линейного размера очагов в программе скрининга рака лёгких методом низкодозной компьютерной томографии.

Ключевые слова: компьютерная томография; скрининг рака лёгкого; лёгочные узлы.

Как цитировать

Сучилова М.М., Блохин И.А., Алешина О.О., Гомболевский В.А., Решетников Р.В., Босин В.Ю., Омелянская О.В., Владзимирский А.В. Сравнение измерения линейного размера и объёма лёгочных очагов по данным скрининга рака лёгких с помощью низкодозной компьютерной томографии // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 1. С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD117481>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD117481>

Volumetry versus linear diameter lung nodule measurement: an ultra-low-dose computed tomography lung cancer screening study

Maria M. Suchilova¹, Ivan A. Blokhin¹, Olga O. Aleshina², Victor A. Gombolevskiy³, Roman V. Reshetnikov¹, Viktor Yu. Bosin¹, Olga V. Omelyanskaya¹, Anton V. Vladzimirskyy^{1, 4}

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² City Clinical Hospital No 13, Moscow, Russian Federation

³ Artificial Intelligence Research Institute, Moscow, Russian Federation

⁴ The First Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The Dutch–Belgian Randomized Lung Cancer Screening Trial (NELSON) used a volume-based protocol and significantly reduced the prevalence of false-positive results (2.1%).

AIM: To compare the performance of manual linear diameter and semi-automated volumetric nodule measurement in the pilot project “Moscow Lung Cancer Screening” ultra-low-dose computed tomography pilot study.

MATERIALS AND METHODS: The study included individuals with a lung nodule of at least 4 mm on baseline-computed tomography of the Moscow lung cancer screening between February 2017 and February 2018, without verified lung cancer diagnosis until 2020. The radiation dose was selected individually and did not exceed 1 mSv. All scans were assessed by three blinded readers to measure the maximum and minimum transversal nodule diameter and extrapolated volume. As a reference value of size and volume, the average value from the results of expert measurements was obtained. A false-positive nodule was defined as a nodule $<6\text{ mm}/<100\text{ mm}^3$ and a false-negative nodule as a nodule $\geq 6\text{ mm}/\geq 100\text{ mm}^3$.

RESULTS: Overall, 293 patients were included (166 men; mean age, 64.6 ± 5.3 years); 199 lung nodules were $<6\text{ mm}/<100\text{ mm}^3$ and 94 were $\geq 6\text{ mm}/\geq 100\text{ mm}^3$. Regarding volumetric measurements, 32 [10.9%; 4 false-positive, 28 false-negative], 29 [9.9%; 17 false-positive, 12 false-negative], and 30 [10.2%; 6 false-positive, 24 false-negative] nodule discrepancies were reported by readers 1, 2, and 3 respectively. For linear diameter measurement, 92 [65.5%; 107 false-positive, 85 false-negative], 146 [49.8%; 58 false-positive, 88 false-negative], and 102 [34.8%; 23 false-positive, 79 false-negative] nodule discrepancies were reported by readers 1, 2, and 3 respectively.

CONCLUSIONS: The use of lung nodule volumetry strongly reduces the number of false-positive and false-negative nodules compared with nodule diameter measurements, in an ultra-low-dose computed tomography lung cancer screening program.

Keywords: tomography X-Ray compute, early detection of cancer, lung neoplasms.

To cite this article

Suchilova MM, Blokhin IA, Aleshina OO, Gombolevskiy VA, Reshetnikov RV, Bosin VYu, Omelyanskaya OV, Vladzimirskyy AV. Volumetry versus linear diameter lung nodule measurement: an ultra-low-dose computed tomography lung cancer screening study. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):5–13. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD117481>

Received: 13.12.2022

Accepted: 17.01.2023

Published: 03.03.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD117481>

根据通过低剂量计算机断层扫描的肺癌筛查数据对肺部病灶线性尺寸和体积进行的测量比较

Maria M. Suchilova¹, Ivan A. Blokhin¹, Olga O. Aleshina², Victor A. Gomboleviskiy³,
Roman V. Reshetnikov¹, Viktor Yu. Bosin¹, Olga V. Omelyanskaya¹, Anton V. Vladzemyrskyy^{1, 4}

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² City Clinical Hospital No 13, Moscow, Russian Federation

³ Artificial Intelligence Research Institute, Moscow, Russian Federation

⁴ The First Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

简评

论证。根据荷兰-比利时NELSON肺癌筛查研究，病灶的体积测量（容量分析法）可以将假阳性结果的发生率降低到2.1%。

目的是根据莫斯科肺癌筛查试点项目的数据通过低剂量计算机断层扫描对人工病灶线性尺寸测量与半自动病灶体积测量的诊断准确性和一致性进行比较。

材料和方法。293名在2020年前没有被核实诊断为肺癌的患者被纳入筛查计划，他们在2017年2月至2018年2月时间内接受了一次低剂量计算机断层扫描，显示肺部结节的大小至少为4毫米。辐射负载是个性化的，不超过1毫西弗。所有低剂量计算机断层扫描图像都由三位专家独立评估，以测量病灶的长轴以及外推体积。从专家测量得到的尺寸和体积的平均值作为参考值。<6毫米/<100毫米³的病灶视为假阳性，≥6毫米/≥100毫米³的病灶视为假阴性。

结果。293名患者（166名男性；56%；平均年龄为64.6±5.3岁）被纳入研究。共有199个<6毫米/<100毫米³的肺部病灶。专家1、2和3分别记录了32个[10.9%；4个假阳性，28个假阴性]、29个[9.9%；17个假阳性，12个假阴性]和30个[10.2%；6个假阳性，24个假阴性]的病灶的体积测量与参考标准的差异，以及分别记录了92个[65.5%；107个假阳性，85个假阴性]、146个[49.8%；58个假阳性，88个假阴性]和102个[34.8%；23个假阳性，79个假阴性]病灶的线性尺寸测量与参考标准的差异。

结论。在低剂量计算机断层扫描肺癌筛查项目中，与病灶的线性大小的测量相比，使用肺部病灶的容积测定法可显著减少假阳性和假阴性结果的数量。

关键词：计算机断层扫描；肺癌筛查；肺部结节。

To cite this article

Suchilova MM, Blokhin IA, Aleshina OO, Gomboleviskiy VA, Reshetnikov RV, Bosin VYu, Omelyanskaya OV, Vladzemyrskyy AV. 根据通过低剂量计算机断层扫描的肺癌筛查数据对肺部病灶线性尺寸和体积进行的测量比较. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):5-13. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD117481>

收到: 13.12.2022

接受: 17.01.2023

发布日期: 03.03.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Рак лёгких остаётся одной из десяти ведущих причин смерти во всём мире, в основном из-за поздней диагностики¹. Однако исследования показали, что скрининг с помощью низкодозной компьютерной томографии (НДКТ) может значительно снизить смертность от рака лёгких в популяции высокого риска [1]. Скрининг с помощью НДКТ направлен на выявление рака лёгких на ранней стадии и включает в себя главным образом выявление, классификацию и последующее ведение узлов в лёгких. Для облегчения выполнения вышеупомянутых задач были разработаны многочисленные руководства по лёгочным очагам, в том числе Международная программа действия для раннего рака лёгких (International Early Lung Cancer Action Program, I-ELCAP) [2], Система интерпретации и стандартизации данных при компьютерной томографии органов грудной полости (Lung CT Screening Reporting And Data System, Lung-RADS)², а также рекомендации Британского торакального общества (British Thoracic Society, BTS) [3], Европейского консорциума по скринингу рака лёгких (European Position Statement on Lung Cancer Screening, EUPS) [4] и Национальной комплексной онкологической сети (National Comprehensive Cancer Network, NCCN) [5].

Согласно результатам голландско-бельгийского скрининга рака лёгких NELSON, измерение объёма (волюметрия) очагов позволяет снизить распространённость ложноположительных результатов до 2,1% [6], поэтому волюметрия с использованием полуавтоматической оценки объёма была одобрена и рекомендована в протоколах EUPS [4], а позднее NELSON-plus [7]. В клинических рекомендациях BTS по ведению лёгочных очагов, выявленных по данным НДКТ, говорится о предпочтительном использовании волюметрии вместо измерения линейного размера.

Результаты исследования NELSON продемонстрировали эффективность скрининга рака лёгких с помощью НДКТ [8], хотя для скрининга использовали эффективную дозу облучения от 0,4 до 1,6 мЗв в зависимости от массы тела пациента [6]. В то же время, согласно санитарным правилам и нормативам СанПин 2.6.1.2523-09³, годовая эффективная доза при проведении рентгенологических профилактических исследований не должна превышать 1 мЗв. По этой причине в пилотном проекте «Московский скрининг рака лёгкого» доза лучевой нагрузки была ограничена значением 0,7 мЗв [9]. Насколько нам известно, до настоящего времени не было проведено ни одного

валидационного исследования, в котором бы сравнивались данные волюметрии с оценкой максимального линейного размера по данным компьютерной томографии с дозой облучения менее 1 мЗв (ультра-НДКТ), выполненных в рамках скрининга рака лёгких. Результаты проекта «Московский скрининг рака лёгкого» предоставляют бесценную возможность провести подобное исследование [10].

Цель исследования — сравнение диагностической точности и согласованности результатов ручного измерения линейного размера с полуавтоматическим измерением объёма очагов по данным пилотного проекта «Московский скрининг рака лёгкого» с использованием низкодозной компьютерной томографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Поперечное ретроспективное исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения: возраст от 50 до 80 лет; индекс курения ≥ 30 пачка/лет; курение в настоящее время или отказ от курения менее чем 15 лет назад; наличие ультра-НДКТ исследования в указанный период; отсутствие диагноза рака лёгких в анамнезе.

Критерии исключения: отсутствие очагов в лёгких по данным НДКТ-исследования; рак лёгких в анамнезе; ранее перенесённые операции на лёгких (за исключением биопсии лёгких); тяжёлые сердечно-сосудистые, иммунологические, респираторные или эндокринные заболевания с ожидаемой продолжительностью жизни менее 5 лет; острые заболевания дыхательной системы; приём антибиотиков в срок не менее 12 недель до проведения НДКТ; кровохарканье или потеря веса > 10 кг в течение года, предшествующего скринингу.

Условия проведения

Исследование включает 293 участника пилотного проекта «Московский скрининг рака лёгкого». Схема процесса отбора представлена на рис. 1. Данное исследование проводилось в рамках Приказа № 49 от 01.02.2017 Департамента здравоохранения г. Москвы.

Продолжительность исследования

Набор данных включает в себя результаты НДКТ, выполненных в период с февраля 2017 по февраль 2018 года.

¹ WHO [Internet]. The top 10 causes of death [cited 2020 Dec 9]. Режим доступа: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>.

² American College of Radiology. Lung CT Screening Reporting & Data System (Lung-RADS®), Version 1.1 [cited 2021 March 30]. Режим доступа: <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Reporting-and-Data-Systems/Lung-Rads>.

³ Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 года N 47 об утверждении СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902170553>.

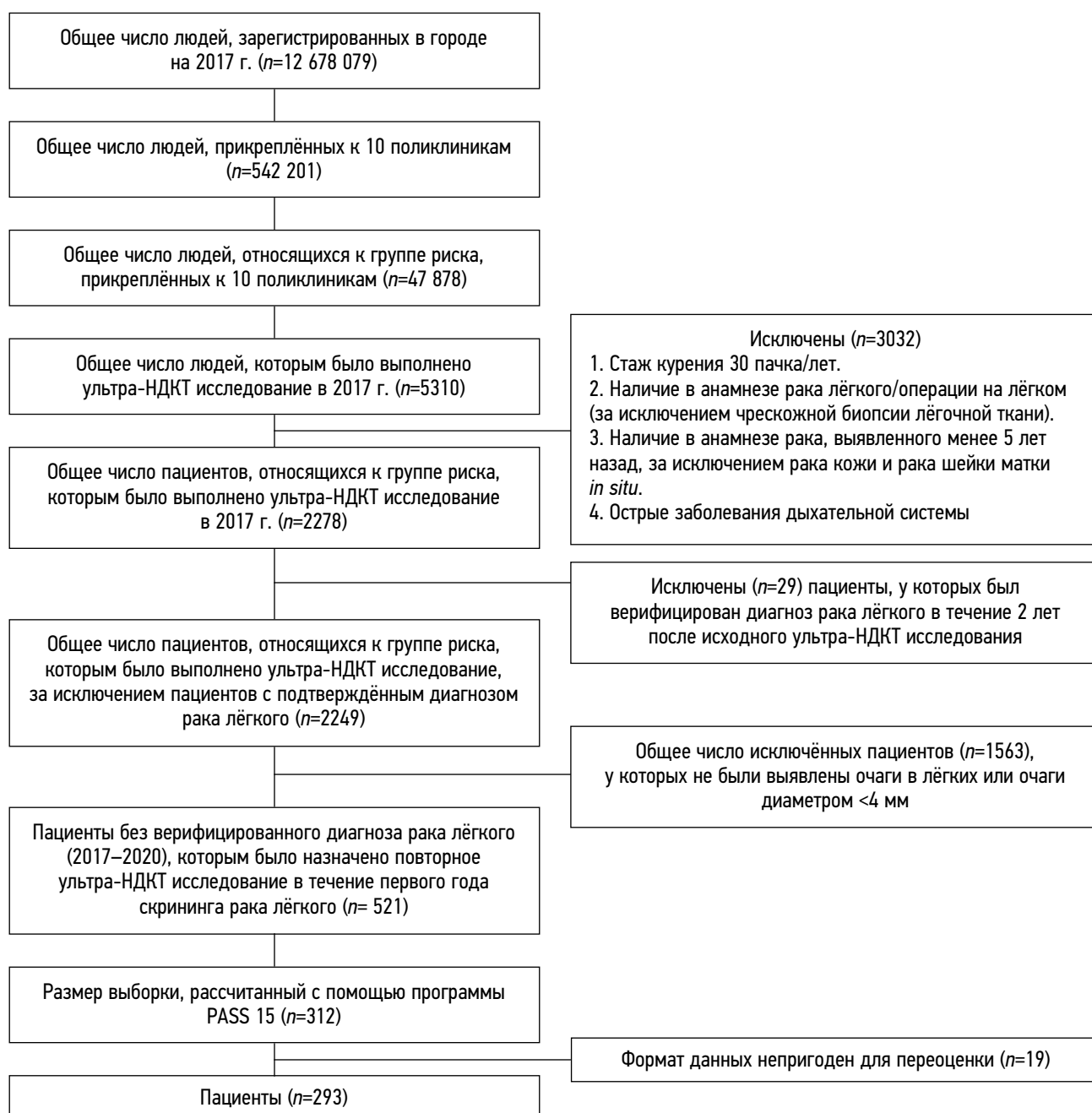


Рис. 1. Процесс отбора пациентов в исследование.

Описание медицинского вмешательства

Сканирование проводилось в 10 поликлиниках с использованием одного томографа в каждой поликлинике. Все томографы были модели Toshiba Aquilion 64 (Canon Medical Systems, Япония): 64-срезовые компьютерные томографы с напряжением трубки 135 кВ, током от 15 до 25 мА (в зависимости от веса пациента: <69 кг — 15 мА; 70–90 кг — 20 мА; >90 кг — 25 мА), временем вращения 0,50 сек, шагом 1,484, толщиной среза 1 мм, шагом среза 1 мм. Размер матрицы составлял 512, а фильтр реконструкции — FC07. На двух томографах использовался вендорспецифический алгоритм итеративной реконструкции (AIDR 3D), остальные восемь томографов использовали фильтрованную обратную проекцию с программным обеспечением квантового

шумоподавления (FBP/QDS+) [10]. Сохранились только аксиальные срезы. После сканирования для анализа данных использовали проекции максимальной интенсивности (MIP) и мультипланарные реконструкции.

Время сканирования на задержке дыхания при максимальной глубине вдоха составляло ≤10 сек. Область сканирования определялась по томограмме от верхушек лёгких до рёберно-диафрагмальных синусов. Расстояние от рёбер до края области реконструкции изображения составляло менее 1 см. Объёмный взвешенный индекс CTDIvol (Computed Tomography Dose Index) зависел от веса пациентов: <69 кг — 0,8 мГр, 70–90 кг — 1,0 мГр, >90 кг — 1,2 мГр. Дозу облучения подбирали индивидуально в зависимости от веса пациента.

Основной исход исследования

Всего было измерено 1450 лёгочных очагов, 878 (61%) солидных и 572 (39%) субсолидных, из которых для каждого пациента был выбран самый крупный очаг. После выбора самого крупного очага в окончательный анализ было включено 293 очага. Распределение очагов для каждого эксперта в зависимости от линейного размера и объёма представлено в табл. 1. После консенсусного решения 199 лёгочных очагов были классифицированы как доброкачественные (<6 мм/ <100 мм³), 94 — как требующие дальнейшего наблюдения (≥ 6 мм/ ≥ 100 мм³).

Этическая экспертиза

На проведение исследования получено одобрение независимого локального этического комитета при ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» (Москва) Управления делами Президента Российской Федерации от 20.05.2017. Все участники исследования подписали информированное добровольное согласие.

Статистический анализ

Линейный размер лёгочного очага округлялся до ближайшего целого числа. Критерий хи-квадрат Пирсона использовали для анализа различий в расхождениях ложноположительных и ложноотрицательных результатов между значениями объёма и линейного размера лёгочных очагов. Для определения согласия между тремя независимыми экспертами использовалась каппа Флейсса. Мы использовали категории, установленные Landis и Koch (1977), для интерпретации величины этой метрики: плохое

(poor) согласие — <0 , незначительное (slight) согласие — $0,00–0,20$, посредственное (fair) согласие — $0,21–0,40$, умеренное (moderate) согласие — $0,41–0,60$, значительное (substantial) согласие — $0,61–0,80$, почти идеальное (almost perfect) согласие — $>0,81$ [11]. Все статистические расчёты проводили с использованием программы SPSS версии 26, статистически значимым считалось значение $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Всего в исследование было включено 293 участника, 166 (57%) из которых были мужчинами, в возрасте 50–80 (средний возраст $64,6 \pm 5,3$) лет, средний стаж курения $34,5 \pm 10,7$ лет.

Основные результаты исследования

Для объёмных измерений количество расхождений с референсным стандартом составило 32 [10,9%; 4 ложноположительных, 28 ложноотрицательных], 29 [9,9%; 17 ложноположительных, 12 ложноотрицательных] и 30 [10,2%; 6 ложноположительных, 24 ложноотрицательных] очагов для экспертов 1, 2 и 3 соответственно. При измерении линейного размера количество некорректных измерений очагов было 192 [65,5%; 107 ложноположительных, 85 ложноотрицательных], 146 [49,8%; 58 ложноположительных, 88 ложноотрицательных] и 102 [34,8%; 23 ложноположительных, 79 ложноотрицательных] для экспертов 1, 2 и 3 соответственно (табл. 2).

Таблица 1. Распределение очагов на одного эксперта для линейного размера и NELSON-plus/EUPS категории

Показатель	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3
<i>Линейный размер</i>			
Очаг ≥ 6 мм	101	147	191
Очаг < 6 мм	192	146	102
<i>Объём</i>			
≥ 100 мм ³	223	194	217
< 100 мм ³	70	99	76

Таблица 2. Результаты и расхождения на одного эксперта при измерении объёма и линейного размера

Показатель	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3
<i>Объём</i>			
Ложноположительные результаты	4 (1,4)	17 (5,8)	6 (2,0)
Ложноотрицательные результаты	28 (9,6)	12 (4,1)	24 (8,2)
Расхождения по каждому эксперту	32 (10,9)	29 (9,9)	30 (10,2)
<i>Линейный размер</i>			
Ложноположительные результаты	107 (36,5)	58 (19,8)	23 (7,8)
Ложноотрицательные результаты	85 (29,0)	88 (30,0)	79 (27,0)
Расхождения по каждому эксперту	192 (65,5)	146 (49,8)	102 (34,8)

Примечание. В скобках указан процент от общего количества очагов ($n=293$).

При использовании порогового значения 80 мм³, в соответствии с рекомендациями BTS, установлено, что количество некорректных измерений увеличилось: 35 ошибок было зарегистрировано для эксперта 1, 50 — для эксперта 2, 41 — для эксперта 3.

Если рассматривать средние показатели трёх экспертов, то всего было выявлено 30 (10,2%) ошибок при измерении объёма по сравнению со 147 (50,2%) при измерении линейного размера ($p < 0,001$). При волюметрии было значительно меньше ложноположительных результатов (9; 3,1%), чем при измерении линейного размера (63; 21,5%; $p < 0,001$), а также значительно меньше ложноотрицательных результатов (21; 7,2%, против 84; 28,7%, соответственно; $p < 0,001$).

Анализ согласия между экспертами показал большее согласие при измерении объёма, чем при измерении линейного размера. При измерении объёма каппа Флейсса составила 0,672 (значительное согласие, 95% доверительный интервал 0,670–0,674), тогда как при использовании измерения линейного размера каппа Флейсса составила 0,027 (незначительное согласие, 95% доверительный интервал 0,025–0,029).

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

По нашим данным, использование волюметрии вместо линейного размера значительно уменьшило количество ошибочных интерпретаций очагов, при этом уменьшилось количество как ложноположительных, так и ложноотрицательных результатов. Согласие между экспертами было значительно выше при использовании волюметрической классификации по сравнению с измерением линейного размера.

Обсуждение основного результата исследования

Наши результаты согласуются с данными исследования NELSON и подтверждают обоснованность применения волюметрии лёгочных очагов для результатов, полученных при помощи ультра-НДКТ. В исследовании M. Oudkerk и соавт. [7] было показано, что при использовании НДКТ размер очага не может быть точно интерпретирован только путём измерения его линейного размера, особенно в спорных случаях. При экстраполяции объёма из линейного размера очага размером 8–10 мм попадали в группы объёмом от 50 до 500 мм³, и использование линейного размера приводило к значительному завышению объёма очагов по сравнению с полуавтоматическим измерением объёма. До этого в исследовании M.P. Revel и соавт. [12] сообщалось также о проблеме при анализе очагов малого и среднего размера: оценка внутри- и межэкспертного согласия показала, что погрешность измерения при оценке двумя разными врачами-рентгенологами достигает 1,73 мм. Далее, согласно исследованию

Х. Хие и соавт. [13], использование полуавтоматических методов для измерения объёма показало более высокую точность по сравнению с ручными измерениями. Кроме того, Европейское общество радиологии (European Society of Radiology, ESR) и Европейское респираторное общество (European Respiratory Society, ERS) рекомендуют применять волюметрию очагов, в том числе с использованием алгоритмов искусственного интеллекта [11]. В другом исследовании, посвящённом методологии разметки лёгочных очагов, несколькими врачами-рентгенологами установлено, что при измерении диаметра очага количество экспертов влияет на правильность и согласованность оценок. При увеличении числа специалистов, осуществляющих независимую интерпретацию КТ-исследований, наблюдается рост правильности их оценок при снижении согласованности [14].

Ограничения исследования

Исследование имеет ряд ограничений. Данное исследование является ретроспективным, что может привести к систематической ошибке выборки. Кроме того, данное исследование проводилось на относительно небольшой выборке. Большее число случаев может быть более показательным по отношению к популяции, в которой проводится скрининг рака лёгких. Согласно рекомендациям Lung-RADS, необходимо проводить измерения линейного размера очага по длинной и короткой оси с вычислением среднего значения; однако целью настоящей работы была проверка результатов исследования NELSON.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, мы продемонстрировали, что использование при интерпретации НДКТ полуавтоматической оценки объёма лёгочных очагов может значительно снизить количество ложноположительных и ложноотрицательных результатов по сравнению с измерением линейного размера. Этот результат сопровождается увеличением согласия между экспертами и может привести к снижению неизбежного вреда, связанного со скринингом рака лёгких.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы (№ ЕГИСУ: 123031400009-1) в соответствии с Приказом Департамента здравоохранения города Москвы от 21.12.2022 г. № 1196.

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.М. Сучилова, И.А. Блохин, В.Ю. Босин — написание текста статьи; О.О. Алешина — сбор и обработка материалов; В.А. Гомболевский, О.В. Омелянская — концепция и дизайн исследования; Р.В. Решетников, А.В. Владзимирский — анализ полученных данных.

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность В.Ю. Черниной, Н. Lancaster, S. Zheng, M. Silva, M. Dorrius, J. Gratama, M. Oudkerk за помощь в написание статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This paper was prepared by a group of authors as part of the research work (USIS No. 123031400009-1) in

accordance with the Order issued by the Moscow Health Care Department No. 1196 dated December 21, 2022.

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.M. Suchilova, I.A. Blokhin, V.Yu. Bosin — writing the original draft; O.O. Aleshina — data curation, investigation; V.A. Gomboleviskiy, O.V. Omelyanskaya — conceptualization, study design; R.V. Reshetnikov, A.V. Vladzymyrskyy — data curation.

Acknowledgments. The authors are grateful to V. Chernina, H. Lancaster, S. Zheng, M. Silva, M. Dorrius, J. Gratama, and M. Oudkerk for their help with the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. De Koning H.J., van der Aalst C.M., de Jong P.A., et al. Reduced lung-cancer mortality with volume CT screening in a randomized trial // *New Eng J Med*. 2020. Vol. 382, N 6. P. 503–513. doi: 10.1056/NEJMoa1911793
2. Henschke C.I., Boffetta P., Yankelevitz D.F., Altorki N. Computed tomography screening: The International Early Lung Cancer Action Program Experience // *Thoracic Sur Clin*. 2015. Vol. 25, N 2. P. 129–143. doi: 10.1016/j.thorsurg.2014.12.001
3. Callister M.E., Baldwin D.R., Akram A.R., et al. Correction: British Thoracic Society guidelines for the investigation and management of pulmonary nodules: Accredited by NICE // *Thorax*. 2015. Vol. 70, Suppl 2. P. ii1–ii54. doi: 10.1136/thoraxjnl-2015-207168
4. Oudkerk M., Devaraj A., Vliegenthart R., et al. European Position Statement on Lung Cancer Screening // *Lancet Oncology*. 2017. Vol. 18, N 12. P. e754–e766. doi: 10.1016/S1470-2045(17)30861-6
5. Wood D.E., Kazerooni E.A., Baum S.L., et al. Lung cancer screening, version 3.2018, NCCN clinical practice guidelines in oncology // *J Nation Compr Can Netw*. 2018. Vol. 16, N 4. P. 412–441. doi: 10.6004/jnccn.2018.0020
6. Horeweg N., Scholten E.T., de Jong P.A., et al. Detection of lung cancer through low-dose CT screening (NELSON): A prespecified analysis of screening test performance and interval cancers // *Lancet Oncology*. 2014. Vol. 15, N 12. P. 1342–1350. doi: 10.1016/S1470-2045(14)70387-0
7. Oudkerk M., Liu S., Heuvelmans M.A., et al. Lung cancer LDCT screening and mortality reduction: Evidence, pitfalls and future perspectives // *Nat Rev Clin Oncol*. 2021. Vol. 18, N 3. P. 135–151. doi: 10.1038/s41571-020-00432-6
8. Duffy S.W., Field J.K. Mortality reduction with low-dose CT screening for lung cancer // *New Eng J Med*. 2020. Vol. 382, N 6. P. 572–573. doi: 10.1056/NEJMe1916361
9. Морозов С.П., Кузьмина Е.С., Ветшева Н.Н., и др. Московский скрининг: скрининг рака лёгкого с помощью низкодозовой компьютерной томографии // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2019. Т. 27, № 5. С. 630–636. doi: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636
10. Гомболевский В.А., Барчук А.А., Лайпан А.Ш., и др. Организация и эффективность скрининга злокачественных новообразований легких методом низкодозной компьютерной томографии // *Радиология-практика*. 2018. № 1. С. 28–36.
11. Landis J.R., Koch G.G. The measurement of observer agreement for categorical data // *Biometrics*. 1977. Vol. 33, N 1. P. 159–174.
12. Revel M.P., Bissery A., Bienvenu M., et al. Are two-dimensional CT measurements of small noncalcified pulmonary nodules reliable? // *Radiology*. 2004. Vol. 231, N 2. P. 453–458. doi: 10.1148/radiol.2312030167
13. Xie X., Willeminck M.J., Zhao Y., et al. Inter- and intrascanner variability of pulmonary nodule volumetry on low-dose 64-row CT: An anthropomorphic phantom study // *Brit J Radiol*. 2013. Vol. 86, N 1029. P. 20130160. doi: 10.1259/bjr.20130160
14. Кульберг Н.С., Решетников Р.В., Новик В.П., и др. Вариативность заключений при интерпретации КТ-снимков: один за всех и все за одного // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 2. С. 105–118. doi: 10.17816/DD60622

REFERENCES

1. De Koning HJ, van der Aalst CM, de Jong PA, et al. Reduced lung-cancer mortality with volume CT screening in a randomized trial. *N Engl J Med*. 2020;382(6):503–513. doi: 10.1056/NEJMoa1911793
2. Henschke CI, Boffetta P, Yankelevitz DF, Altorki N. Computed tomography screening: The International Early Lung Cancer Action Program Experience. *Thoracic Sur Clin*. 2015;25(2):129–143. doi: 10.1016/j.thorsurg.2014.12.001
3. Callister ME, Baldwin DR, Akram AR, et al. Correction: British Thoracic Society guidelines for the investigation and management of pulmonary nodules: Accredited by NICE. *Thorax*. 2015;70(Suppl 2):ii1–ii54. doi: 10.1136/thoraxjnl-2015-207168
4. Oudkerk M, Devaraj A, Vliegenthart R, et al. European Position Statement on Lung Cancer Screening. *Lancet Oncology*. 2017;18(12):e754–766. doi: 10.1016/S1470-2045(17)30861-6

5. Wood DE, Kazerooni EA, Baum SL, et al. Lung cancer screening, version 3.2018, NCCN clinical practice guidelines in oncology. *J Natl Compr Canc Netw*. 2018;16(4):412–441. doi: 10.6004/jnccn.2018.0020
6. Horeweg N, Scholten ET, de Jong PA, et al. Detection of lung cancer through low-dose CT screening (NELSON): A prespecified analysis of screening test performance and interval cancers. *Lancet Oncology*. 2014;15(3):1342–1350. doi: 10.1016/S1470-2045(14)70387-0
7. Oudkerk M, Liu S, Heuvelmans MA, et al. Lung cancer LDCT screening and mortality reduction: Evidence, pitfalls and future perspectives. *Nat Rev Clin Oncol*. 2021;18(3):135–151. doi: 10.1038/s41571-020-00432-6
8. Duffy SW, Field JK. Mortality reduction with low-dose CT screening for lung cancer. *N Engl J Med*. 2020;382(6):572–573. doi: 10.1056/NEJMe1916361
9. Morozov SP, Kuzmina ES, Vetsheva NN, et al. Moscow screening: Screening of lung cancer using low-dose computed tomography.

- Problems Social Hygiene Healthcare History Med*. 2019;27(S):630–636. (In Russ). doi: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636
10. Gombolevisky VA, Barchuk AA, Laipan AS, et al. Lung cancer screening with low-dose computed tomography: Management and efficiency. *Radiology Practice*. 2018;(1):28–36. (In Russ).
11. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159–174.
12. Revel MP, Bissery A, Bienvenu M, et al. Are two-dimensional ct measurements of small noncalcified pulmonary nodules reliable? *Radiology*. 2004;231(2):453–458. doi: 10.1148/radiol.2312030167
13. Xie X, Willeminck MJ, Zhao Y, et al. Inter- and intrascanner variability of pulmonary nodule volumetry on low-dose 64-row CT: an anthropomorphic phantom study. *BJR*. 2013;86(1029):20130160. doi: 10.1259/bjr.20130160
14. Kulberg NS, Reshetnikov RV, Novik VP, et al. Inter-observer variability between readers of CT images: all for one and one for all. *Digital Diagnostics*. (In Russ). 2021;2(2):105–118 doi: 10.17816/DD60622

ОБ АВТОРАХ

* Сучилова Мария Максимовна;

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1117-0294>;
eLibrary SPIN: 4922-1894; e-mail: m.suchilova@npcmr.ru

Блохин Иван Андреевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>;
eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: i.blokhin@npcmr.ru

Алёшина Ольга Олеговна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9924-0204>;
eLibrary SPIN: 6004-2422; e-mail: olya.aleshina.tula@gmail.com

Гомболеvisкий Виктор Александрович, к.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>;
eLibrary SPIN: 6810-3279; e-mail: gomboleviskiy@npcmr.ru

Решетников Роман Владимирович, к.ф.-м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9661-0254>;
eLibrary SPIN: 8592-0558; e-mail: reshetnikov@fbb.msu.ru

Босин Виктор Юрьевич, д.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4619-2744>;
eLibrary SPIN: 3380-7889; e-mail: bosin@npcmr.ru

Омелянская Ольга Васильевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0245-4431>;
eLibrary SPIN: 8948-6152; e-mail: o.omelyanskaya@npcmr.ru

Владимирский Антон Вячеславович, д.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: a.vladimirskiy@npcmr.ru

AUTHORS' INFO

* Maria M. Suchilova, MD;

address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1117-0294>;
eLibrary SPIN: 4922-1894; e-mail: m.suchilova@npcmr.ru

Ivan A. Blokhin, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>;
eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: i.blokhin@npcmr.ru

Olga O. Aleshina, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9924-0204>;
eLibrary SPIN: 6004-2422; e-mail: olya.aleshina.tula@gmail.com

Victor A. Gomboleviskiy, MD, Cand. Sci. (Med);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>;
eLibrary SPIN: 6810-3279; e-mail: gomboleviskiy@npcmr.ru

Roman V. Reshetnikov, Cand. Sci. (Phys.-Math.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9661-0254>;
eLibrary SPIN: 8592-0558; e-mail: reshetnikov@fbb.msu.ru

Viktor Yu. Bosin, MD, Dr. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4619-2744>;
eLibrary SPIN: 3380-7889; e-mail: bosin@npcmr.ru

Olga V. Omelyanskaya;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0245-4431>;
eLibrary SPIN: 8948-6152; e-mail: o.omelyanskaya@npcmr.ru

Anton V. Vladzimirskyy, MD, Dr. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: a.vladimirskiy@npcmr.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

Телеультразвуковые исследования с использованием смартфонов и одноплатных компьютеров

К.М. Арзамасов¹, В.А. Дроговоз², Т.М. Бобровская¹, А.В. Владзимирский^{1, 3}

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

² Научно-производственное объединение «Русские базовые информационные технологии», Москва, Российская Федерация

³ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Рост доступности и вычислительной мощности мобильных устройств приводит к расширению их области применения. Медицина не стала исключением: одноплатные компьютеры и смартфоны активно применяются в телемедицине.

Цель — изучить техническую возможность реализации телеультразвуковых исследований при помощи одноплатных компьютеров и смартфонов.

Материалы и методы. В данном исследовании проводили захват ультразвукового видеоизображения при помощи внешних USB-устройств видеозахвата. В качестве платформы для сервера телеультразвуковых исследований использовали одноплатные компьютеры Raspberry Pi, а также смартфон на базе Android. В качестве программного обеспечения использовали VLC, Motion, USB Camera. Дистанционная оценка экспертом проводилась также на мобильных устройствах: посредством VLC при работе на сервере программного обеспечения VLC, в остальных случаях — Google Chrome на Windows 7 и Android, Chromium на Raspberry Pi.

Результаты. Устройство видеозахвата на базе чипсета UTV007 позволяет получить более качественное изображение по сравнению с устройством на базе чипсета AMT630A. Оптимальное разрешение видеоизображения 720×576 при 25 кадрах в секунду. Оптимальным программным обеспечением для организации телеУЗИ на Raspberry Pi является VLC из-за низких требований к пропускной способности каналов связи ($0,64 \pm 0,17$ Мбит/с). Для Android-смартфонов телеультразвуковое исследование может быть реализовано на программном обеспечении USB Camera, но требует большей пропускной способности каналов связи ($5,2 \pm 0,3$ Мбит/с).

Заключение. Использование устройств на базе одноплатных компьютеров и смартфонов позволяет реализовать бюджетную телеультразвуковую систему, что потенциально способствует повышению качества выполняемых исследований за счёт дистанционного обучения и консультирования врачей. Данные решения могут применяться в том числе в удалённых регионах, для задач «полевой» медицины и других возможных направлений мобильного здравоохранения.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование; УЗИ; телеУЗИ; телемедицина; видеозахват.

Как цитировать

Арзамасов К.М., Дроговоз В.А., Бобровская Т.М., Владзимирский А.В. Телеультразвуковые исследования с использованием смартфонов и одноплатных компьютеров // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 1. С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

Tele-ultrasound imaging using smartphones and single-board PCs

Kirill M. Arzamasov¹, Viktor A. Drogovoz², Tatiana M. Bobrovskaya¹, Anton V. Vladzimirskyy^{1, 3}

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² Scientific and Production Association "Russian Basic Information Technologies", Moscow, Russian Federation

³ The First Sechenov Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Mobile devices are widely available and their computational performance increases. Nonetheless, medicine should not be an exception: single-board computers and mobile phones are crucial aides in telehealth.

AIM: To explore tele-ultrasound scope using smartphones and single-board computers

MATERIALS AND METHODS: This study focused on capturing ultrasound videos using external video recording devices connected via USB. Raspberry Pi single-board computers and Android smartphones have been used as platforms to host a tele-ultrasound server. Used software: VLC, Motion, and USB camera. A remote expert assessment was performed with mobile devices using the following software: VLC acted as a VLC server, Google Chrome for OS Windows 7 and OS Android was used in the remaining scenarios, and Chromium browser was installed on the Raspberry Pi computer.

OUTCOMES: The UTV007 chip-based video capture device produces better images than the AMT630A-based device. The optimum video resolution was 720×576 and 25 frames per second. VLC and OBS studios are considered the most suitable for a raspberry-based ultrasound system owing to low equipment and bandwidth requirements (0.64±0.17 Mbps for VLC; 0.5 Mbps for OBS studio). For Android phone OS, the ultrasound system was set with the USB camera software, although it required a faster network connection speed (5.2±0.3 Mbps).

CONCLUSION: The use of devices based on single-board computers and smartphones implements a low-cost tele-ultrasound system, which potentially improves the quality of studies performed through distance learning and consulting doctors. These solutions can be used in remote regions for "field" medicine tasks and other possible areas of m-health.

Keywords: Tele-ultrasound, telehealth, ultrasound, video capturing.

To cite this article

Arzamasov KM, Drogovoz VA, Bobrovskaya TM, Vladzimirskyy AV. Tele-ultrasound imaging using smartphones and single-board PCs. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):15–23. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

Received: 11.10.2022

Accepted: 10.03.2023

Published: 04.04.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

使用智能手机和单板电脑进行远程超声检查

Kirill M. Arzamasov¹, Viktor A. Drogovoz², Tatiana M. Bobrovskaya¹,
Anton V. Vladzimirskyy^{1, 3}

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² Scientific and Production Association "Russian Basic Information Technologies", Moscow, Russian Federation

³ The First Sechenov Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

简评

论证。移动设备的可用性和计算能力不断提高，导致其应用不断扩大。医学也不例外：单板电脑和智能手机被积极用于远程医疗。

目的是研究使用单板计算机和智能手机进行远程超声检查的技术可行性。

材料和方法。在这项研究中，超声视频图像采集是使用USB外置视频采集设备进行的。一台树莓派（Raspberry Pi）单板电脑和一台安卓（Android）智能手机被用作远程超声检查服务器的平台。VLC、Motion和USB摄像头被用作软件。专家也在移动设备上进行了远程评估，使用的是：VLC——当在VLC软件服务器上运行时；在其他情况下，在Windows 7和安卓上使用谷歌浏览器（Google Chrome）；在树莓派上使用Chromium。

结果。与基于AMT630A芯片组的设备相比，基于UTV007芯片组的视频采集设备提供更好的图像质量。最佳视频分辨率为720x576，每秒25帧。由于通信信道带宽要求低（ 0.64 ± 0.17 Mbps），树莓派上的进行远程超声检查的最佳软件是VLC。对于安卓智能手机，远程超声检查是可以在USB摄像头软件上进行的，但需要更高的通信信道带宽（ 5.2 ± 0.3 Mbps）。

结论。使用基于单板电脑和智能手机的设备使实现不贵的远程超声系统有可能，这潜在地有助于通过远程培训和咨询医生提高所做检查的质量。这些解决方案也可用于偏远地区、野外医疗和其他可能的移动医疗领域。

关键词：远程超声检查，远程医疗，超声检查，视频采集。

To cite this article

Arzamasov KM, Drogovoz VA, Bobrovskaya TM, Vladzimirskyy AV. 使用智能手机和单板电脑进行远程超声检查. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):15–23. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

收到: 11.10.2022

接受: 10.03.2023

发布日期: 04.04.2023

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время отмечается увеличение производительности мобильных устройств, при этом происходит снижение их стоимости. Эти факторы приводят к расширению сферы применения мобильных устройств, в том числе в медицине и телемедицине [1–3].

Частным случаем телемедицины является телеультразвуковое исследование (телеУЗИ) [4] — метод диагностики, при котором врач-специалист ультразвуковой или функциональной диагностики получает и анализирует информацию с дистанционно расположенного ультразвукового аппарата и высылает обратно заключение или рекомендации. Для осуществления этого процесса необходимо наличие специального программно-аппаратного комплекса.

Известны случаи реализации телеУЗИ посредством смартфона [5–8], когда изображение с экрана УЗ-сканера захватывалось камерой смартфона и передавалось получателю при помощи коммуникационных программ. Данный способ имеет большой плюс в виде отсутствия необходимости применения дополнительного оборудования, однако имеет и определённые трудности выполнения: требуется привлечение дополнительных сотрудников или специальных удерживающих устройств для смартфона при записи исследования; кроме того, качество УЗ-изображений, доставленных эксперту, снижается по сравнению с оригинальным.

В настоящее время существуют мобильные устройства видеозахвата, которые могут быть подключены не только к персональному компьютеру, но и к таким мобильным устройствам, как одноплатные компьютеры и смартфоны.

Цель исследования — изучить технические возможности реализации телеУЗИ при помощи одноплатных компьютеров и смартфонов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Программное обеспечение

В исследовании использовали УЗ-сканеры Sequoia 512 Acuson и SonoAce-8000. В качестве добровольца, которому выполнялось стандартное ультразвуковое исследование брахиоцефальных артерий врачом функциональной диагностики, выступал один из авторов исследования. На основании экспертного анализа (3 врача функциональной диагностики с опытом работы более 10 лет) проводилась субъективная оценка качества изображения, возможность его интерпретации, для чего фрагменты проводимого исследования сохранялись на УЗ-сканере в виде кинопетель длительностью по 5 сек, а затем циклически воспроизводились на УЗ-сканере. Всего было записано 9 кинопетель, по 3 для каждого режима: только В-режим; В-режим + цветное доплеровское картирование, В-режим + спектральный доплер. У эксперта была возможность в режиме реального времени оценить изображение на экране монитора УЗ-сканера и на экране

устройства клиента, при этом вышеописанная методика позволяла экспертам оценивать результаты работы разных программно-аппаратных комплексов на одном и том же исследовании (кинопетле).

В работе были использованы USB-камера Defender C-090 и бюджетные системы видеозахвата с УЗ-сканера. Так как в качестве аналогово-цифрового преобразователя в бюджетных устройствах применяются два типа микросхем (чипсетов) — UTV007 и AMT630A, в работе были апробированы оба варианта:

- 1) Gembird UVG-002 — устройство видеозахвата на базе чипсета UTV007 с разрешением 720×576 при 25 кадрах в секунду;
- 2) Espada USB 2.0 – RCA/S-video EUsbRca63 (далее по тексту EUsbRca63) — устройство видеозахвата на базе чипсета AMT630A с разрешением 720×576 при 25 кадрах в секунду.

В исследовании на сервере использовалось следующее программное обеспечение (ПО):

- VLC Version 3.0.8 — свободно распространяемое ПО, предназначенное для передачи и воспроизведения видео; имеет возможность потокового вещания видео с внешних устройств. Данное ПО функционирует под разными операционными системами, в том числе Linux и Android. В работе использовалось одновременно на сервере и клиенте телемедицинской системы;
- Motion Release 4.3.0 — свободно распространяемое ПО, предназначенное для работы с камерами видеонаблюдения, ориентированное на обнаружение движения в кадре. Данное ПО функционирует под операционной системой Linux, устанавливалось на одноплатные компьютеры. Возможна работа в качестве фонового процесса, однако данное ПО способно транслировать только изображения, не позволяя передавать звук. Доступ осуществлялся с идентификацией пользователя и по паролю;
- USB Camera Version 9.7.9. — свободно распространяемое ПО, предназначенное для передачи изображения с USB-камер; использовалась некоммерческая версия для работы в качестве сервера на Android-устройствах.

Основным критерием выбора программного обеспечения была возможность работы на различных операционных платформах. Далее осуществлялась оценка возможности функционирования представленных программных и аппаратных решений в качестве телемедицинской системы. Оцениваемый параметр — скорость передачи данных (указывается в виде среднего $\pm$ SD). Для статистической обработки результатов использовался программный продукт Microsoft Excel.

Телемедицинская система

Телемедицинская система состоит из сервера и клиента. В контексте настоящей работы под сервером

подразумевается программно-аппаратный комплекс, осуществляющий передачу видеоизображения с УЗ-сканера. Клиентом является устройство, принимающее и воспроизводящее видеоизображение. Связь клиента с сервером осуществлялась по локальной сети через Wi-Fi-роутер с пропускной способностью 72 Мбит/с. При проведении тестирования выбиралось максимально доступное качество видеосигнала (максимальное разрешение и максимальная частота кадров). Клиент подключался к серверу по протоколам, поддерживаемым установленным ПО: HTTP и RTSP. Программы клиента, необходимые для воспроизведения видеоизображения: VLC — при работе с протоколом RTSP, для HTTP — Google Chrome на Windows 7 и Android, Chromium — на Raspberry Pi. Каждое ПО, установленное на сервере, поддерживало свой кодек: JPEG (Motion), VideoH.264 (VLC), H.264 (USB Camera).

Реализовано 2 варианта подключения (рис. 1).

1. Сервер — смартфон (Android 7.0, 8-ядерный процессор 2 ГГц, 3 Гб оперативной памяти, или Опух Max3 Android 9.0, 8-ядерный процессор 2 ГГц, 4 Гб оперативной памяти), соединённый с устройством видеозахвата посредством OTG-USB кабеля. Устройство видеозахвата подключено к видеовыходу УЗ-сканера. Клиент — ноутбук на базе AMD E-450 APU, 8 Гб ОЗУ, 64 bit OS Windows 7 или смартфон.
2. Сервер — одноплатный микрокомпьютер (Raspberry Pi 1 Model B, CPU 700 МГц, 512 Мб или Raspberry Pi 4, CPU Quad core Cortex 1,5 ГГц, 4 Гб с установленной ОС Linux версия 4.19.118-v7+), соединённый с устройством видеозахвата посредством USB-кабеля, с USB-веб-камерой. Raspberry Pi 1 не имел

Wi-Fi-модуля и подключался к роутеру через LAN-кабель. Клиент — ноутбук на базе AMD E-450 APU, 8 Гб ОЗУ, 64 bit OS Windows 7 или смартфон.

РЕЗУЛЬТАТЫ

УЗ-сканеры. На УЗ-сканере Sequoia 512 были протестированы два видеовыхода: коаксиальный выход для подключения видеопринтера и S-Video-выход для подключения видеомagniофона. При анализе изображения на выходе для видеопринтера было получено чёрно-белое изображение, часть которого выходила за поля устройств видеозахвата. Напротив, при подключении к S-Video-выходу удалось получить цветное изображение, соответствующее оригиналу на экране монитора УЗ-сканера. Sequoia 512 использовался совместно с системами на основе Raspberry Pi. SonoAce-8000 использовался для реализации телеУЗИ на базе Android-устройств. В качестве видеовыхода был выбран, как и в предыдущем случае, S-Video.

UVG-002. Данное устройство успешно определялось на всех мобильных устройствах и нормально функционировало со всеми тестируемыми программами. Обеспечивало заявленное максимальное разрешение на всех устройствах. Максимальная частота кадров была достигнута на всех устройствах, кроме Raspberry Pi 1.

EUsbRca63. Данное устройство успешно определялось на всех мобильных устройствах и нормально функционировало со всеми тестируемыми программами, кроме VLC на Raspberry. Заявленное максимальное разрешение ни на одном из устройств достигнуто не было, максимальное разрешение составило 640×480.

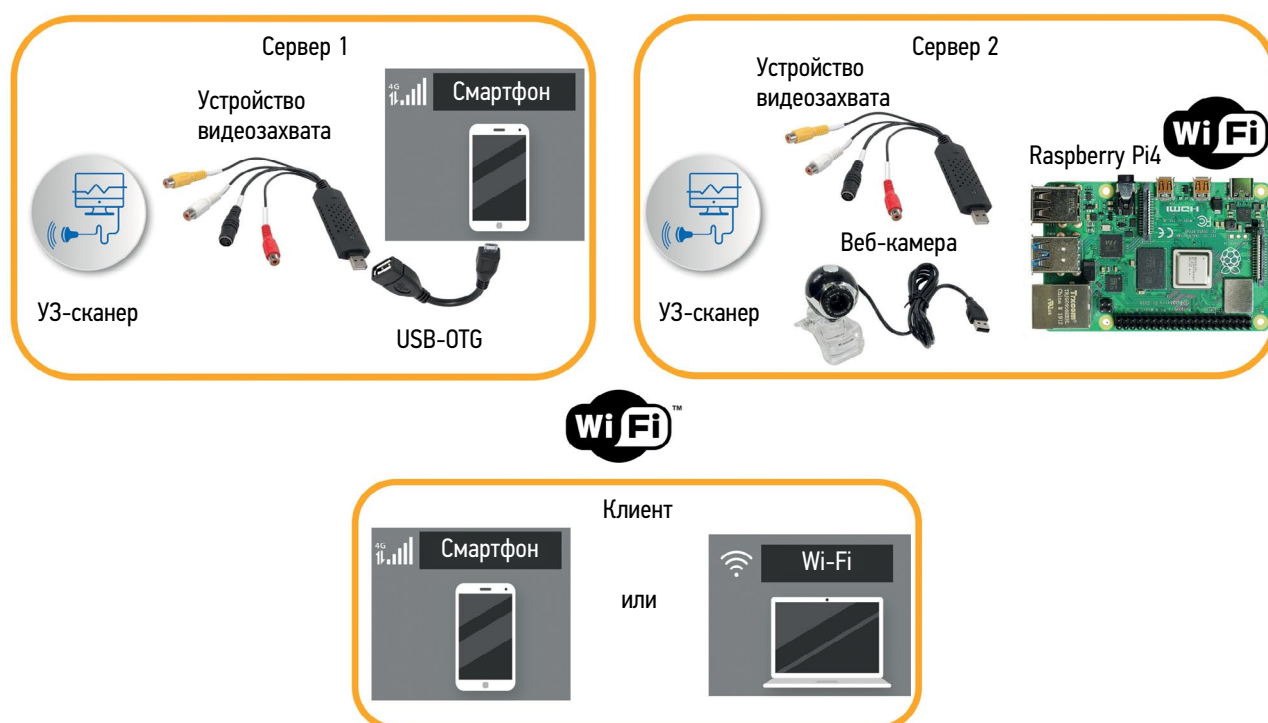


Рис. 1. Схема подключения.

USB-камера. Была успешно определена на всех мобильных устройствах и нормально функционировала со всеми тестируемыми программами. Максимальное разрешение 640×480, частота кадров 30 в секунду.

ПО Motion. Было сконфигурировано для работы в качестве сервера: непрерывная регистрация и передача изображения с видеоустройств с максимальным разрешением. Из-за низкой производительности Raspberry Pi 1 данная программа способна была выдавать 1–1,5 кадра в секунду. Этих недостатков был полностью лишён Raspberry Pi 4, позволяя одновременно запускать несколько процессов без снижения качества транслируемого видео.

ПО VLC. Успешно было установлено на Raspberry Pi 4, позволяя вести потоковое вещание с внешних устройств видеозахвата. Успешно была реализована также одновременная работа двух приложений VLC с захватом видео с устройства видеозахвата и веб-камеры, при этом качество изображения и частота кадров соответствовали максимальной. Была протестирована также возможность одновременной работы VLC и Motion на Raspberry Pi 4. VLC было установлено на Android-устройства, но в этой версии не позволяло работать в качестве сервера, а функционировало только в режиме клиента. В режиме клиента использовалось также на Windows-ноутбуке.

ПО USB-Cam. Реализация телемедицинского сервера на основе данного ПО оказалась крайне чувствительной к качеству канала связи. Так, было выявлено, что при уровне сигнала ниже 80 дБ происходил разрыв соединения, при этом не было разницы в том, с какой стороны низкое качество связи — со стороны сервера или со стороны клиента.

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведённого исследования мы выявили перечень устройств и программных решений для реализации мобильных систем телеУЗИ. Результаты тестирования представлены в табл. 1: устройство видеозахвата на базе чипсета UTV007 позволяет получить субъективно более качественное изображение по сравнению с устройством на базе чипсета AMT630A. Устройство UVG-002 способно работать на всех платформах и со всем использованным ПО и продемонстрировало высокое качество картинки.

Модуль видеозахвата EUsbRca63 показал удовлетворительное качество работы на мобильных устройствах.

Нам не удалось настроить работу данного устройства с VLC, несмотря на то, что ПО Motion EUsbRca63 работало с тем же драйвером без сбоев. Качество получаемого УЗ-изображения оказалось крайне низкое на всех платформах: надписи на изображении были трудночитаемы, адекватная оценка УЗ-изображения при таком качестве невозможна.

Выбирая оптимальное ПО, необходимо определиться с платформой, на которой планируется развёртывать сервер телеУЗИ. Так, в случае со смартфоном на базе Android единственным из рассмотренного ПО подойдёт USB-Cam, но реализация телеУЗИ в таком исполнении окажется требовательной к пропускной способности канала связи. В нашем случае пропускная способность канала для передачи данных УЗИ равнялась 4,4–5,2 Мбит/с, что на практике может быть труднодостижимо при работе в сетях сотовой связи. Напротив, при подключении к Wi-Fi данное требование к пропускной способности канала связи уходит на второй план. В ходе выполнения тестирования была выявлена повышенная чувствительность данного программно-аппаратного комплекса к качеству Wi-Fi-сигнала (т.е. удалённости от точки доступа). Эти факты накладывают серьёзное ограничение на возможность применения данной реализации телеУЗИ в мобильных сетях.

В настоящее время одноплатные компьютеры начинают активно использоваться в телемедицине [9, 10]. На наш взгляд, оптимальной платформой для реализации телеУЗИ являются одноплатные компьютеры последних лет. Участвующие в тестировании модели Raspberry Pi показали существенное увеличение вычислительной мощности: первое поколение Pi 1 способно было реализовать только передачу видео со скоростью не более 1,5 кадров в секунду (минимальная частота кадров на УЗ-сканере в нашем исследовании 16 кадров в секунду), что, по мнению экспертов, недостаточно для реализации на нём сервера телеУЗИ, но данное устройство способно выступить в этой системе в качестве клиента. Raspberry Pi 4 продемонстрировало высокую производительность, осуществляя одновременную трансляцию двух видеопотоков.

Увеличившаяся вычислительная мощность одноплатных компьютеров позволяет реализовывать технологии машинного обучения [11, 12], в том числе в медицине [13]. Имеющийся запас вычислительной мощности одноплатного компьютера может быть достаточным для развёртывания на нём параллельно с сервером телеУЗИ системы

Таблица 1. Результаты тестирования ПО и устройств видеосигнала

Параметры		Motion	VLC	USB-Cam
Кодек		JPEG	VideoH.264	H.264
Протокол подключения		HTTP	HTTP, RTSP	HTTP
Скорость передачи, Мбит/с	UVG-002	18,7±2,8	0,64±0,17	5,2±0,3
	EUsbRca63	8,6±1,4	-	4,4±0,2
	Webcam	15,3±5	0,49±0,19	2,0±0,1

поддержки принятия врачебных решений для оценки УЗ-изображений на предмет патологии.

Выбирая между ПО Motion и VLC, необходимо руководствоваться пропускной способностью канала связи. Так, для функционирования одного видеопотока для VLC, по нашим данным, требуется 0,5–0,6 Мбит/с, а для Motion требуется минимум в 10 раз большая пропускная способность. По литературным данным, скорость подключения от 0,6 Мбит/с [14] до 1,5 Мбит/с [15] является минимально допустимой для комфортной работы удалённо расположенного эксперта при условии частоты смены кадров 15 в секунду и сохранении оригинального разрешения видео. Если необходима передача только изображения с экрана УЗ-сканера и нет ограничения по пропускной способности канала связи, оптимальным решением является ПО Motion, позволяющее автономно запускаться и развёртывать сервер телеУЗИ без участия человека. В иных случаях можно сделать выбор в пользу VLC. В нашем исследовании продемонстрирована также возможность одновременной работы двух разных систем.

В предыдущей работе [16] мы показали возможность использования стриминговых технологий в телеУЗИ на базе персонального компьютера, однако благодаря применению смартфонов и одноплатных компьютеров телеУЗИ способно стать ещё более мобильной методикой: устройство для реализации сервера телеУЗИ с необходимыми кабелями легко помещается в карман врача, позволяя ему держать комплект подключения наготове, и в случае необходимости организовать трансляцию исследования за считанные секунды.

Ограничения исследования

В настоящем исследовании проводился анализ работы только двух моделей УЗ-сканеров, тем не менее мы можем сделать предположение, что данное техническое решение подойдёт и для других УЗ-сканеров, имеющих аналогичный или иной поддерживаемый видеовыход. В настоящее исследование была включена лишь малая часть современных мобильных устройств, устройств видеозахвата, а также программного обеспечения для работы с устройствами видеозахвата и веб-камерами, однако нам удалось создать несколько функционирующих бюджетных систем для реализации мобильного телеУЗИ. Главная задача, поставленная перед авторами этого исследования, заключалась в поиске наиболее доступного способа реализации телеУЗИ. Так, расходы на мобильное устройство (Raspberry Pi4) и модуль видеозахвата на момент выполнения работы не превышали 6000 рублей, на сегодняшний день аналогичная комплектация стоит от 12 000 рублей. Используемое в работе ПО (Motion, VLC, USB-Cam) имело свободную лицензию или распространялось с открытым исходным кодом. Предполагается наличие установленной операционной системы (Windows, Linux, Android) на устройствах, входящих в состав телемедицинской системы.

При проведении такого рода исследований необходимо также учитывать пропускную способность [17] и защищённость каналов связи, по которым производится передача медицинских данных [3]. Одним из возможных способов обеспечения безопасности передаваемых данных является организация VPN-туннелей, однако изучение вопросов информационной безопасности при проведении телеУЗИ не является целью данной работы. Настоящее исследование отличается от аналогичных тем, что предложено новое техническое решение для телеУЗИ.

В настоящее время существуют портативные УЗ-системы для проведения ультразвуковых исследований, в том числе с функцией передачи изображения (телеУЗИ), например Butterfly iQ+Butterfly Network Inc., Kosmos EchoNous, Vscan Air General Electric и Lumif Philips Healthcare, однако эти системы дорогостоящие (от 500 000 рублей) и не обладают всеми качествами, необходимыми для полноценного исследования на стационарном УЗ-сканере [18]. Преимуществом предлагаемого нами подхода является использование ультразвукового оборудования, входящего в стандарт оснащения кабинета ультразвуковой диагностики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование устройств на базе одноплатных компьютеров и смартфонов позволяет реализовать бюджетную телеультразвуковую систему, что потенциально способствует повышению качества выполняемых исследований за счёт дистанционного обучения и консультирования врачей. Данные решения могут применяться также в удалённых регионах, для задач «полевой» медицины и других возможных направлений мобильного здравоохранения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

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 вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: К.М. Арзамасов — разработка дизайна исследования, доброволец при проведении исследования; К.М. Арзамасов, Т.М. Бобровская — анализ данных; К.М. Арзамасов, Т.М. Бобровская, В.А. Дроговоз — интерпретация данных; К.М. Арзамасов, В.А. Дроговоз — написание текста рукописи.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам НПКЦ ДиТ врачу функциональной диагностики д.м.н. Д.В. Шутову и ведущему научному сотруднику к.м.н. А.Е. Демкиной за помощь в проведении исследования.

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. K.M. Arzamasov — research design development, research volunteer; K.M. Arzamasov, T.M. Bobrovskaya — data analysis; K.M. Arzamasov, T.M. Bobrovskaya, V.A. Drogovoz — data interpretation; K.M. Arzamasov, V.A. Drogovoz — writing the text of the manuscript.

Acknowledgments. The authors are grateful to collaborators of Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine: doctor of functional diagnostics, MD PhD D.V. Shutov and the leading researcher, MD PhD A.E. Demkina for their help in this study.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shi J., Wang F., Qin M., et al. New ECG compression method for portable ECG monitoring system merged with binary convolutional auto-encoder and residual error compensation // *Biosensors (Basel)*. 2022. Vol. 12, N 7. P. 524. doi: 10.3390/bios12070524
2. Palacios D.R., Shen K., Baig S., et al. Wide field of view handheld smart fundus camera for telemedicine applications // *J Med Imaging (Bellingham)*. 2021. Vol. 8, N 2. P. 026001. doi: 10.1117/1.JMI.8.2.026001
3. Shewale A.D., Patil S.A., Patil S.R. Raspberry-pi based automatic health care modelling: An IoT approach // *Compliance Engineering J*. 2021. Vol. 12, N 3. P. 99–104.
4. Recker F., Höhne E., Damjanovic D., Schäfer V.S. Ultrasound in telemedicine: A brief overview // *Appl Sci*. 2022. Vol. 12, N 3. P. 958. doi: 10.3390/app12030958
5. Lim T.H., Choi H.J., Kang B.S. Feasibility of dynamic cardiac ultrasound transmission via mobile phone for basic emergency teleconsultation // *J Telemed Telecare*. 2010. Vol. 16, N 5. P. 281–285. doi: 10.1258/jtt.2010.091109
6. Miyashita T., Iketani Y., Nagamine Y., Goto T. FaceTime® for teaching ultrasound-guided anesthetic procedures in remote place // *J Clin Monit Comput*. 2014. Vol. 28, N 2. P. 211–215. doi: 10.1007/s10877-013-9514-x
7. Kim C., Cha H., Kang B.S., et al. A feasibility study of smartphone-based telephonography for evaluating cardiac dynamic function and diagnosing acute appendicitis with control of the image quality of the transmitted videos // *J Digit Imaging*. 2016. Vol. 29, N 3. P. 347–356. doi: 10.1007/s10278-015-9849-6
8. Boissin C., Blom L., Wallis L., et al. Image-based teleconsultation using smartphones or tablets: Qualitative assessment of medical experts // *Emergency Med J*. 2017. Vol. 34, N 2. P. 95–99. doi: 10.1136/emered-2015-205258
9. Beckhauser E., Petrolini V.A., Savaris A., et al. Are single-board computers an option for a low-cost multimodal telemedicine platform: First tests in the context of santa catarina state integrated telemedicine and telehealth system // 2016 IEEE 29th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). 2016. P. 163–168.
10. Bhojwani H., Sain G.K., Sharma G.P. A hybrid connectivity oriented telemedicine system for Indian landscape using raspberry Pi SBC & IOT // 2018 3rd Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON). 2018. P. 1–5. doi: 10.1109/TIMES-iCON.2018.8621799
11. De Oliveira D.C., Wehrmeister M.A. Using deep learning and low-cost rgb and thermal cameras to detect pedestrians in aerial images captured by multirotor UAV // *Sensors (Basel)*. 2018. Vol. 18, N 7. P. 2244. doi: 10.3390/s18072244
12. Kim W., Jung W.S., Choi H.K. Lightweight driver monitoring system based on multi-task mobilenets // *Sensors (Basel)*. 2019. Vol. 19, N 14. P. 3200. doi: 10.3390/s19143200
13. Peine A., Hallawa A., Schöffski O., et al. A deep learning approach for managing medical consumable materials in intensive care units via convolutional neural networks: Technical proof-of-concept study // *JMIR Med Informatics*. 2019. Vol. 7, N 4. P. e14806–e14806. doi: 10.2196/14806
14. Yoo S.K., Kim D.K., Jung S.M., et al. Performance of a web-based, realtime, tele-ultrasound consultation system over high-speed commercial telecommunication lines // *J Telemed Telecare England*. 2004. Vol. 10, N 3. P. 175–179. doi: 10.1258/135763304323070841
15. Panayides A., Antoniou Z.C., Mylonas Y., et al. High-resolution, low-delay, and error-resilient medical ultrasound video communication using H.264/AVC over mobile WiMAX networks // *IEEE J Biomed Health Inform*. 2013. Vol. 17, N 3. P. 619–628. doi: 10.1109/TITB.2012.2232675
16. Арзамасов К.М., Бобровская Т.М., Дроговоз В.А. Стриминговые технологии: из игровой индустрии в телеультразвуковые исследования // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 2. С. 131–140. doi: 10.17816/DD100779
17. Арзамасов К.М., Дроговоз В.А. Систематический обзор технологий и методов телеультразвуковых исследований // *Медицинские технологии. Оценка и выбор*. 2020. № 3. С. 44–54. doi: 10.17116/medtech20204103144
18. Le M.T., Voigt L., Nathanson R., et al. Comparison of four handheld point-of-care ultrasound devices by expert users // *Ultrasound J*. 2022. Vol. 14, N 1. P. 27. doi: 10.1186/s13089-022-00274-6

REFERENCES

1. Shi J, Wang F, Qin M, et al. New ECG compression method for portable ECG monitoring system merged with binary convolutional auto-encoder and residual error compensation. *Biosensors (Basel)*. 2022;12(7):524. doi: 10.3390/bios12070524
2. Palacios DR, Shen K, Baig S, et al. Wide field of view handheld smart fundus camera for telemedicine applications. *J Med Imaging (Bellingham)*. 2021;8(2):026001. doi: 10.1117/1.JMI.8.2.026001

3. Shewale AD, Patil SA, Patil SR. Raspberry-pi based automatic health care modelling: An IoT approach. *Compliance Engineering J.* 2021;12(3):99–104.
4. Recker F, Höhne E, Damjanovic D, Schäfer VS. Ultrasound in telemedicine: A brief overview. *Appl Sci.* 2022;12:958. doi: 10.3390/app12030958
5. Lim TH, Choi HJ, Kang BS. Feasibility of dynamic cardiac ultrasound transmission via mobile phone for basic emergency teleconsultation. *J Telemed Telecare.* 2010;5(16):281–285. doi: 10.1258/jtt.2010.091109
6. Miyashita T, Iketani Y, Nagamine Y, Goto T. FaceTime® for teaching ultrasound-guided anesthetic procedures in remote place. *J Clin Monit Comput.* 2014;2(28):211–215. doi: 10.1007/s10877-013-9514-x
7. Kim C, Cha H, Kang BS, et al. A feasibility study of smartphone-based telephonography for evaluating cardiac dynamic function and diagnosing acute appendicitis with control of the image quality of the transmitted videos. *J Digit Imaging.* 2016;3(29):347–356. doi: 10.1007/s10278-015-9849-6
8. Boissin C, Blom L, Wallis L, et al. Image-based teleconsultation using smartphones or tablets: qualitative assessment of medical experts. *Emergency Med J.* 2017;34(2):95–99. doi: 10.1136/emered-2015-205258
9. Beckhauser E, Petrolini VA, Savaris A, et al. Are single-board computers an option for a low-cost multimodal telemedicine platform? First tests in the context of santa catarina state integrated telemedicine and telehealth system. In: Conference: 2016 IEEE 29th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). 2016. P. 163–168. doi: 10.1109/CBMS.2016.57
10. Bhojwani H, Sain GK, Sharma GP. A hybrid connectivity oriented telemedicine system for Indian landscape using raspberry Pi SBC & IOT. In: Conference: 2018 3rd Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON). 2018. P. 1–5. doi: 10.1109/TIMES-iCON.2018.8621799
11. De Oliveira DC, Wehrmeister MA. Using deep learning and low-cost rgb and thermal cameras to detect pedestrians in aerial images captured by multirotor UAV. *Sensors (Basel).* 2018;7(18):2244. doi: 10.3390/s18072244
12. Kim W, Jung WS, Choi HK. Lightweight driver monitoring system based on multi-task mobilenets. *Sensors (Basel).* 2019;14(19):3200. doi: 10.3390/s19143200
13. Peine A, Hallawa A, Schöffski O, et al. A deep learning approach for managing medical consumable materials in intensive care units via convolutional neural networks: technical proof-of-concept study. *JMIR Med Informatics.* 2019;4(7):e14806–e14806. doi: 10.2196/14806
14. Yoo SK, Kim DK, Jung SM, et al. Performance of a web-based, realtime, tele-ultrasound consultation system over high-speed commercial telecommunication lines. *J Telemed Telecare.* 2004;10(3):175–179. doi: 10.1258/135763304323070841
15. Panayides A, Antoniou ZC, Mylonas Y, et al. High-resolution, low-delay, and error-resilient medical ultrasound video communication using H.264/AVC over mobile WiMAX networks. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2013;17(3):619–628. doi: 10.1109/TITB.2012.2232675
16. Arzamasov KM, Bobrovskaya TM, Drogozov VA. Streaming technology: From games to tele-ultrasound. *Digital Diagnostics.* 2022;2(3):131–140. (In Russ). doi: 10.17816/DD100779
17. Arzamasov KM, Drogozov VA. Systematic review of technologies and methods of tele-ultrasound. *Medical Technologies Assessment Choice.* 2020;3(3):44–54. (In Russ). doi: 10.17116/medtech20204103144
18. Le MT, Voigt L, Nathanson R, et al. Comparison of four handheld point-of-care ultrasound devices by expert users. *Ultrasound J.* 2022;14(1):27. doi: 10.1186/s13089-022-00274-6

ОБ АВТОРАХ

* **Арзамасов Кирилл Михайлович**, К.М.Н.;
адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7786-0349>;
eLibrary SPIN: 3160-8062; e-mail: k.arzamasov@npcmr.ru

Дроговоз Виктор Анатольевич, К.Т.Н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9582-7147>;
eLibrary SPIN: 1804-2636; e-mail: Vdrog@mail.ru

Бобровская Татьяна Михайловна;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2746-7554>;
eLibrary SPIN: 3400-8575; e-mail: t.bobrovskaya@npcmr.ru

Владимирский Антон Вячеславович, Д.М.Н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: a.vladimirsky@npcmr.ru

AUTHORS' INFO

* **Kirill M. Arzamasov**, MD, Cand. Sci. (Med.);
address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7786-0349>;
eLibrary SPIN: 3160-8062; e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru

Viktor A. Drogozov, Cand. Sci. (Tech.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9582-7147>;
eLibrary SPIN: 1804-2636; e-mail: Vdrog@mail.ru

Tatiana M. Bobrovskaya, MD;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2746-7554>;
eLibrary SPIN: 3400-8575; e-mail: BobrovskayaTM@zdrav.mos.ru

Anton V. Vladymyrskyy, MD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: VladymirskijAV@zdrav.mos.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD119870>

Низкодозная компьютерная томография органов грудной клетки в диагностике COVID-19: обзор литературы

И.А. Блохин, Д.А. Румянцев, М.М. Сучилова, А.П. Гончар, О.В. Омелянская

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Повышение числа исследований компьютерной томографии во время пандемии COVID-19 актуализировало задачу снижения лучевой нагрузки на пациента, так как воздействие радиационного излучения достоверно связано с повышением риска развития онкологических заболеваний. В работе отделений лучевой диагностики даже в условиях пандемии должен соблюдаться принцип минимальной дозы облучения при максимальном уровне качества диагностики — ALARA (as low as reasonably achievable), предложенный Международной комиссией по радиационной защите.

Цель — систематизация данных о возможностях снижения лучевой нагрузки при диагностике поражения лёгких при COVID-19 методом компьютерной томографии.

Материалы и методы. Проведён анализ релевантных отечественных и зарубежных источников литературы в научных библиотеках PubMed и eLIBRARY по запросам «low dose computed tomography COVID-19» и «низкодозная компьютерная томография COVID-19», опубликованных в период с 2020 по 2022 год. Публикации включались в обзор после оценки их соответствия теме обзора путём анализа названия и абстракта. Списки литературы также были проанализированы на предмет выявления пропущенных при поиске статей, попадающих под критерии включения.

Результаты. Изучение опубликованных результатов исследований позволило обобщить современные данные о лучевой диагностике поражения лёгких при COVID-19 и использовании компьютерной томографии, а также определить возможные варианты снижения дозы лучевой нагрузки.

Заключение. Представлены способы уменьшения лучевой нагрузки при компьютерной томографии органов грудной клетки и сохранения высокого качества диагностического изображения, потенциально достаточного для надёжного выявления признаков COVID-19. Снижение дозы облучения является оправданным подходом к получению актуальной диагностической информации, сохраняющим возможности внедрения технологий продвинутого компьютерного анализа в клиническую практику.

Ключевые слова: компьютерная томография; низкодозная компьютерная томография; обзор литературы; COVID-19; диагностика COVID-19.

Как цитировать

Блохин И.А., Румянцев Д.А., Сучилова М.М., Гончар А.П., Омелянская О.В. Низкодозная компьютерная томография органов грудной клетки в диагностике COVID-19: обзор литературы // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4 № 1. С. 25–37. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD119870>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD119870>

Low-dose computed tomography in COVID-19: systematic review

Ivan A. Blokhin, Denis A. Rumyantsev, Maria M. Suchilova, Anna P. Gonchar, Olga V. Omelyanskaya

Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The increased number of computed tomography scans during the COVID-19 pandemic has emphasized the task of decreasing radiation exposure of patients, since it is known to be associated with an elevated risk of cancer development. The ALARA (as low as reasonably achievable) principle, proposed by the International Commission on Radiation Protection, should be adhered to in the operation of radiation diagnostics departments, even during the pandemic.

AIM: To systematize data on the appropriateness and effectiveness of low-dose computed tomography in the diagnosis of lung lesions in COVID-19.

MATERIALS AND METHODS: Relevant national and foreign literature in scientific libraries PubMed and eLIBRARY, using English and Russian queries “low-dose computed tomography” and “COVID-19,” published between 2020 and 2022 were analyzed. Publications were evaluated after assessing the relevance to the review topic by title and abstract analysis. The references were further analyzed to identify articles omitted during the search that may meet the inclusion criteria.

RESULTS: Published studies summarized the current data on the imaging of COVID-19 lung lesions and the use of computed tomography scans and identified possible options for reducing the effective dose.

CONCLUSION: We present techniques to reduce radiation exposure during chest computed tomography and preserve high-quality diagnostic images potentially sufficient for reliable detection of COVID-19 signs. Reducing radiation dose is a valid approach to obtain relevant diagnostic information, preserving opportunities for the introduction of advanced computational analysis technologies in clinical practice.

Keywords: computed tomography; low-dose computed tomography; literature review; COVID-19; COVID-19 diagnosis.

To cite this article

Blokhin IA, Rumyantsev DA, Suchilova MM, Gonchar AP, Omelyanskaya OV. Low-dose computed tomography in COVID-19: systematic review. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):25–37. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD119870>

Received: 22.12.2022

Accepted: 06.02.2023

Published: 31.03.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD119870>

胸部低剂量计算机断层扫描在COVID-19诊断中的应用：系统综述

Ivan A. Blokhin, Denis A. Rumyantsev, Maria M. Suchilova, Anna P. Gonchar, Olga V. Omelyanskaya

Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

简评

论证。在COVID-19大流行期间，计算机断层扫描检查数量的增加使减少病人的辐射量的任务成为现实，因为暴露于辐射与增加癌症风险有着可靠的联系。国际放射防护委员会提出的在最高诊断质量下的最小辐射剂量原则——ALARA (as low as reasonably achievable)，在辐射诊断部门的工作中应该得到遵守，即使在大流行的情况下。

目的是整理关于通过计算机断层扫描诊断COVID-19肺部病变时减少辐射暴露的潜力的数据。

材料和方法。对PubMed和eLIBRARY科学图书馆中2020年至2022年期间发表的国内外相关文献进行了分析，搜索查询包括“low dose computed tomography COVID-19”和“низкодозная компьютерная томография COVID-19”（低剂量计算机断层扫描COVID-19）。通过分析标题和摘要评估其与综述主题的相关性后，将出版物纳入综述。还对参考文献列表进行了分析，以确定搜索中遗漏的符合纳入标准的文章。

结果。对已发表的研究进行了，研究已发表的科学著作允许总结关于目前COVID-19肺部病变的辐射诊断和计算机断层扫描的使用的数据，并确定减少辐射剂量的可能方法。

结论。介绍了在胸部计算机断层扫描过程中减少辐射量并保留高质量诊断图像的方法，这些图像可能足以可靠地检测COVID-19征候。减少辐射剂量是获得现实诊断信息的一种有道理的方法，保留将先进计算机化分析技术引入临床实践的可能性。

关键词：计算机断层扫描，低剂量计算机断层扫描，文献综述，COVID-19，COVID-19诊断。

To cite this article

Blokhin IA, Rumyantsev DA, Suchilova MM, Gonchar AP, Omelyanskaya OV. 胸部低剂量计算机断层扫描在COVID-19诊断中的应用：系统综述. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):25–37. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD119870>

收到: 22.12.2022

接受: 06.02.2023

发布日期: 31.03.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Количество случаев заболевания новой коронавирусной инфекцией COVID-19 на момент написания статьи (22 декабря 2022 года) достигает 650 миллионов¹. Распространение заболевания и, соответственно, случаи смерти могут быть предупреждены и снижены благодаря комплексу мер, включающих раннюю диагностику².

Основным методом лабораторной диагностики является полимеразная цепная реакция с обратной транскрипцией. На первом пике коронавирусной пандемии обнаружили недостатки этого метода: высокая частота ложноположительных результатов, ограниченная доступность и длительность получения ответа [1]. При этом ложноотрицательные результаты могут быть получены у пациентов с признаками COVID-19 по данным компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки [2].

В соответствии с российскими [3] и международными³ рекомендациями, методами лучевой диагностики COVID-19-ассоциированной пневмонии являются в том числе рентгенография и КТ. Рентгенография органов грудной клетки обладает низкой чувствительностью в диагностике вирусных пневмоний [4], поэтому КТ играет важную роль в диагностике COVID-19-ассоциированной пневмонии и её осложнений [5].

Активное использование КТ во время пандемии создаёт проблему высокой радиационной нагрузки на население [6, 7]. За время пребывания в лечебном учреждении для оценки динамики заболевания пациенту в течение короткого промежутка времени выполняется от 2 до 6 КТ-исследований, поскольку чёткая тенденция к регрессии изменений по данным КТ является одним из критериев к выписке [3]. Лицам с подозрением на COVID-19 могут быть выполнены 1–2 КТ для выявления признаков заболевания в амбулаторных условиях [8, 9].

Воздействие радиационного излучения достоверно связано с повышением риска развития онкологических заболеваний [10]. В работе отделений лучевой диагностики даже в условиях пандемии должен соблюдаться принцип ALARA (as low as reasonably achievable — минимальная доза облучения при максимальном уровне качества диагностики), предложенный Международной комиссией по радиационной защите (International Commission of Radiological Protection) [11]. В марте 2020 года Z. Kang и соавт. предложили использовать низкодозную КТ (НДКТ) в качестве первого этапа лучевой диагностики проявлений коронавирусной пневмонии [6]. Важность использования НДКТ при COVID-19 подчеркнул и проведённый в апреле 2020 года вебинар «COVID-19 and Chest CT:

Protocol and Dose Optimization», в котором приняли участие 1633 человека из 100 стран. В ходе видеоконференции было установлено, что 55% учреждений используют стандартные протоколы (CTDIvol 5–10 мГр), 43% — низкодозные протоколы (CTDIvol <5 мГр), 2% — высокодозные (CTDIvol >10 мГр) [12]. Однако даже поверхностное знакомство с рабочей станцией рентгенолаборанта показывает значительное количество параметров сканирования, влияющих на лучевую нагрузку [13], при этом взаимосвязь между различными настройками протокола и дозой облучения может быть неочевидной, особенно в зависимости от изучаемого патологического процесса.

Целью настоящего литературного обзора является систематизация данных о возможностях снижения лучевой нагрузки при КТ-диагностике поражения лёгких, обусловленного COVID-19.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведён анализ релевантных отечественных и зарубежных источников литературы в научных библиотеках PubMed и eLIBRARY по запросам «low dose computed tomography COVID-19» и «низкодозная компьютерная томография COVID-19», опубликованных в период с 2020 по 2022 год.

Публикации включались в обзор после оценки их соответствия теме обзора путём анализа названия и абстракта. В обзор включали оригинальные исследования и мета-анализы, исключали — обзоры литературы, клинические случаи, тезисы конференций. Списки литературы также были проанализированы на предмет наличия релевантных исследований по общим принципам снижения лучевой нагрузки при КТ, которые могли быть опубликованы ранее 2020 года. При обнаружении схожих статей в обзор включали наиболее позднее исследование.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего было проанализировано 45 статей иностранных авторов и 5 — отечественных. Последняя дата поиска — 22 декабря 2022 года.

Методы уменьшения дозы лучевой нагрузки

Методы снижения лучевой нагрузки, согласно проведённому обзору литературы, можно разделить на аппаратные и программные. К первым относятся напряжение трубки, сила тока трубки, питч-фактор, фильтрация рентгеновского пучка; ко вторым — фильтр реконструкции, толщина среза и итеративные реконструкции.

¹ World Health Organization. Novel Coronavirus (COVID-19) situation. Режим доступа: <https://who.sprinklr.com>.

² Centers for Disease Control and Prevention. Corona virus 2019 disease (COVID-19). Режим доступа: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>.

³ World Health Organization. Use of chest imaging in COVID-19: A rapid advice guide [11 June 2020]. Режим доступа: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332336>.

Аппаратные методы. Напряжение трубки (tube potential, kVp) нелинейно связано с лучевой нагрузкой [14]. F. Zarb и соавт. [15] показали, что снижение напряжения трубки на 14–17% приводит к снижению дозы облучения на 32–38%. Снижение напряжения трубки при этом приводит к повышению уровня шума на исследованиях без контраста: согласно результатам фантомного исследования, эти параметры связаны друг с другом через показатель степени –1,3 [16]. В то же время снижение напряжения трубки в исследованиях с контрастным усилением позволяет улучшить качество изображения, существенно снижая лучевую нагрузку [17].

Сила тока трубки (tube current, mAs) линейно связана с лучевой нагрузкой [18]. Например, уменьшение силы тока трубки на 50% приводит к уменьшению эффективной дозы на 50% [17], при этом отношение «сигнал–шум» обратно пропорционально квадратному корню силы тока [19].

Питч-фактор (pitch) на мультиспиральных компьютерных томографах практически не влияет на лучевую нагрузку [20]. При увеличении питч-фактора снижается отношение «сигнал–шум», и томограф автоматически увеличивает силу тока трубки для предотвращения ухудшения качества изображений [21].

Фильтрация пучка рентгеновского излучения используется для поглощения низкоэнергетических фотонов, не проходящих насквозь ткани пациента и не достигающих детекторов, поэтому использование дополнительного оловянного фильтра позволяет значительно снизить лучевую нагрузку при проведении КТ [22], но требует дополнительных затрат на модификацию сканера.

Программные методы. Выбор фильтра реконструкции (convolution kernel) не влияет на лучевую нагрузку, но оказывает воздействие на отношение «сигнал–шум», подчёркивая или сглаживая разницу между пикселями различных органов или структур [23].

Низкое значение толщины среза уменьшает качество изображения, при этом положительно влияет на риск пропуска патологических изменений малых размеров, поэтому толщину среза можно оптимизировать: например, для оценки лёгочных узлов этот показатель составляет 2 мм [24].

Основным же способом снижения «шума» являются итеративные реконструкции, позволяющие проводить КТ-исследования с более низкими дозами облучения и аналогичным соотношением «сигнал–шум» по сравнению со стандартной методикой реконструкции данных [25]. Одним из перспективных направлений является использование нейронных сетей для реконструкции изображений [26, 27].

На основании изученных литературных данных можно сделать вывод, что для снижения лучевой нагрузки целесообразно уменьшать силу тока трубки, а для оптимизации отношения «сигнал–шум» — использовать

фильтр реконструкции, сглаживающий разницу между соседними пикселями (мягкотканый), и итеративную реконструкцию.

Низкодозная компьютерная томография в диагностике COVID-19

Результаты проведённого анализа литературы указывают на отсутствие единого, чётко определённого низкодозного протокола для COVID-19 (табл. 1 [28–54]). Выявлено, что снижение дозы лучевой нагрузки достигается преимущественно с помощью изменений напряжения трубки, силы тока трубки, использования итеративных реконструкций, оловянного фильтра. В ряде исследований, включённых в обзор, отмечены методологические недостатки в отношении представления результатов: не упоминаются дозиметрические показатели (CTDI, DLP, SSDE, эффективная доза), используются малые размеры выборок.

Интересно, что выбор параметра, изменяемого при оптимизации протокола сканирования, может быть универсальным для различных клинических задач. Так, при НДКТ для скрининга рака лёгкого разными группами авторов также производилось изменение тока трубки [55, 56], тем не менее разработку специализированного протокола НДКТ следует начинать с исследования на модельном объекте (фантоме) для выбора оптимального метода снижения нагрузки. Например, в исследовании В.А. Гомболевского и соавт. [57] по разработке НДКТ для диагностики COVID-19 использовался фантом с утолщающими пластинами, при этом был установлен уровень настройки системы автоматического контроля силы тока трубки (Sure Exposure 3D), достаточный для выявления очагов «матового стекла» при максимальном снижении лучевой нагрузки ($SD=36$). Сравнение выбранного по результатам фантомного исследования протокола со стандартной КТ и НДКТ для скрининга рака лёгкого представлено на рис. 1.

Следует учесть, что любые разработанные специализированные низкодозные протоколы требуют клинической валидации и сравнения с золотым стандартом. Так, проведены клинические испытания разработанного протокола НДКТ для COVID-19 с использованием стандартной КТ в качестве референс-теста [28]. Примеры клинических изображений по разработанному протоколу представлены на рис. 2 и 3.

Ограничения низкодозной компьютерной томографии

Согласно исследованию Y.K. Kim и соавт. [58], ограничением НДКТ органов грудной клетки в рутинной практике представляется ожирение (индекс массы тела >25) за счёт поглощения рентгеновского излучения жировой тканью. Однако результаты исследований согласованности оценки степени тяжести COVID-19 между экспертами указывают на обратное [59].

Таблица 1. Параметры низкодозной компьютерной томографии в диагностике COVID-19 по результатам литературного обзора

Автор, год, ссылка	Напряжение трубки, кВ	Сила тока трубки, мАс	Средняя доза облучения, мЗв	Толщина среза, мм	Фильтр реконструкции	Использование итеративной реконструкции
Блохин и др. (2022) [28]	120	10–500, уровень шума 36 (SD)	3	1	FC51, FC07	Нет
Филатова и др. (2020) [29]	100/110	40–120	1,27	1	-	Да
Afshar и др. (2022) [30]	110	20	1–1,5	2	D40s	-
Fukumoto и др. (2022) [31]	120	20–25	CTDI 1,3 мГр	5	Lung and soft tissue	-
Bieba и др. (2022) [32]	Зависит от веса	Зависит от веса	-	1 и 3	-	-
Barrio и др. (2022) [33]	100/150	Антропоморфная система модуляции тока	-	1	Br32 Bl60	-
Thieß и др. (2022) [34]	100	10–100	0,53	0,5 b 0,625	Fc01 Fc85	Да
Greffier и др. (2021) [35]	100/120	10	0,2	1	I30f, mediastinal, I50f, lung images	Да
Karakaş и др. (2021), [36]	80	40	0,18	5	lung	Да
Julie и др. (2021) [37]	120	45	-	1,2	-	-
Desmet и др. (2021) [38]	80–140	20–30	0,64	0,6	-	-
Aslan и др. (2021) [39]	80	35–50	0,2856	3	lung	Да
Stoleriu и др. (2021) [40]	120	40–113	35–100 мГр×см 0,78–2,91 мГр	1,25	Medium Soft	Да
Bai и др. (2021) [41]	120	120–380	1,21±0,10	1,25	Standard	Да
Agostini и др. (2021) [42]	100	95	0,39	1,5	Sharp	Да
Zali и др. (2021) [43]	100–120	50–100	-	1–3	-	-
Argentieri и др. (2021) [44]	80	20	0,219	2	Sharp	-
Leger и др. (2020) [45]	120	45	0,49	1,2	-	-
Hamper и др. (2020) [46]	100	20–120	0,5	0,625–1	Lung	Да
Li и др. (2020) [47]	120	30	1,22±0,14	1	-	Да
Dangis и др. (2020) [48]	100	20	0,56	1	Lung (150f)	Да
Radpour и др. (2020) [49]	100–120	50–100	-	1–3	-	-
Kang и др. (2020) [6]	80–100	10–25	0,203	0,6	-	Да
Tofighi и др. (2020) [50]	100	40	2,03	-	-	Нет
Tabatabaei и др. (2020) [51]	120	30	1,8	3	-	-
Schulze-Hagen и др. (2020) [52]	80	35	1,7	1 и 3	170f 130f	-
Zhao Yue и др. (2020) [53]	100	50	1,5	1	-	-
Castelli и др. (2020) [54]	120	45	0,47	1,2	-	-

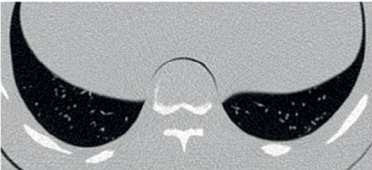
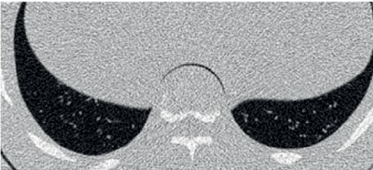
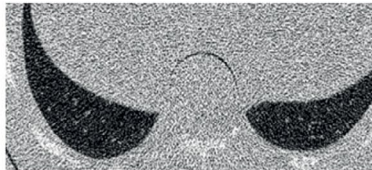
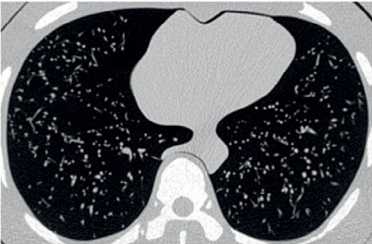
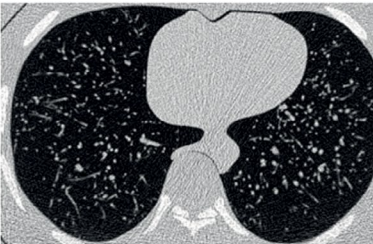
	Стандартный протокол КТ (SD=10)	Выбранный протокол (SD=36)	Протокол для скрининга рака лёгкого (SD=68)
CTDI / DLP	CTDI _{vol} (мГр) : 33.80 DLP (мГрсм) : 947.60	CTDI _{vol} (мГр) : 6.80 DLP (мГрсм) : 198.20	CTDI _{vol} (мГр) : 2.70 DLP (мГрсм) : 67.00
Th11 - Th12			
Th9 - Th10			

Рис. 1. Сравнение специализированного протокола низкодозной компьютерной томографии для COVID-19 (SD=36) со стандартным и низкодозным для скрининга рака лёгкого. Информация о лучевой нагрузке и аксиальные томограммы фантома на уровне нижних и средних зон лёгких. Низкодозная компьютерная томография для скрининга рака лёгкого разработана с учётом ограничения лучевой нагрузки для профилактических мероприятий по СанПин и имеет наименьшее отношение «сигнал-шум». Разработанный протокол низкодозной компьютерной томографии для COVID-19 учитывает денситометрические характеристики «матовых стёкол» при существенном снижении лучевой нагрузки.

Другим общим ограничением НДКТ эмпирически представляется негативное влияние повышенного шума на изображения на работу систем искусственного интеллекта, включая расчёт индекса эмфиземы при денситометрическом анализе [60], и радиомический анализ субсолидных лёгочных узлов [61]. Влияние протокола сканирования на результаты количественного анализа можно уменьшить путём использования относительных показателей, например процента поражённой лёгочной

ткани при COVID-19 [62], или нормализации полученных данных специальными алгоритмами [63].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены способы уменьшения лучевой нагрузки при КТ органов грудной клетки и сохранения высокого качества диагностических изображений, гипотетически достаточного для надёжного выявления

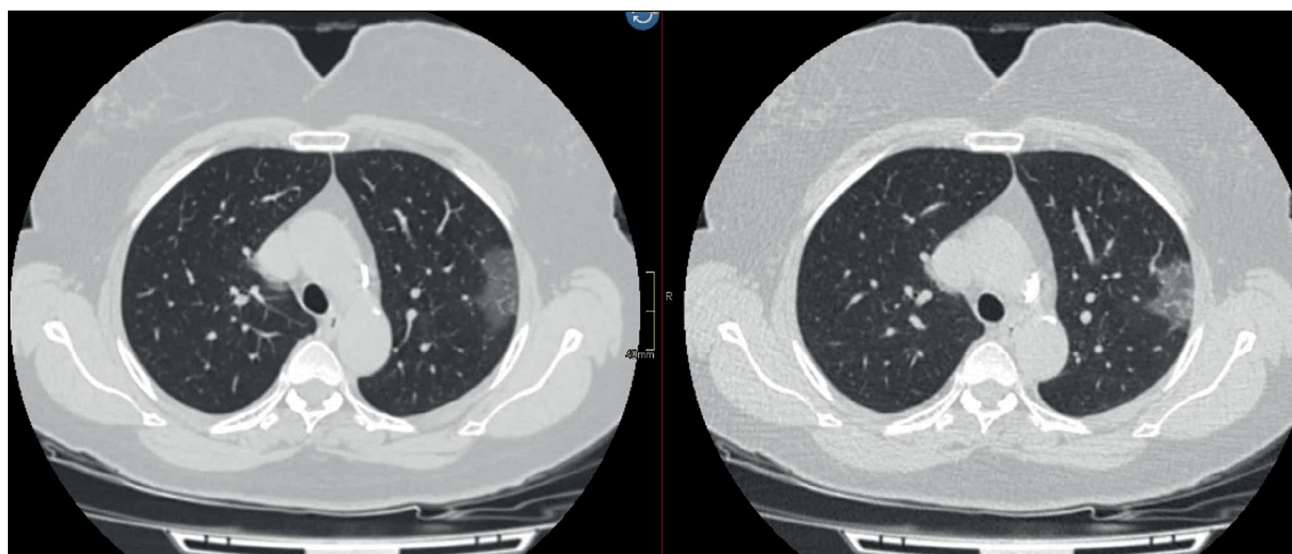


Рис. 2. Снижение лучевой нагрузки в 5 раз. Пациентка, 59 лет, индекс массы тела 29 кг/м². Компьютерная томография с мягкотканым фильтром (эффективная доза — 9,7 мЗв), низкодозная компьютерная томография с мягкотканым фильтром (эффективная доза — 2,1 мЗв). В верхней доле левого лёгкого периферическая зона «матового стекла».

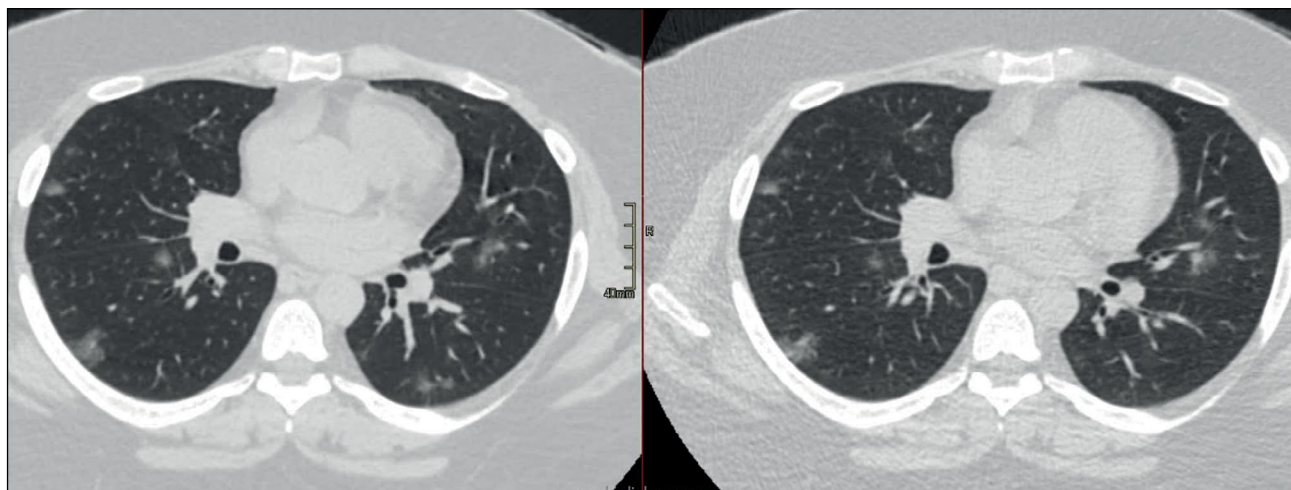


Рис. 3. Снижение лучевой нагрузки в 1,5 раза. Пациент, 44 года, индекс массы тела 46 кг/м². Компьютерная томография с мягкотканым фильтром (эффективная доза — 15,3 мЗв), низкодозная компьютерная томография с мягкотканым фильтром (эффективная доза — 10,5 мЗв). Двусторонние периферические участки «матового стекла».

признаков COVID-19. Несмотря на отсутствие единого способа оптимизации протоколов сканирования, снижение дозы облучения является оправданным подходом, позволяющим получить релевантную диагностическую информацию и сохраняющим возможности для внедрения технологий продвинутого компьютерного анализа в клинические пути.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы (№ ЕГИСУ: AAAA-A20-120071090058-7) в соответствии с Программой Департамента здравоохранения города Москвы «Научное обеспечение столичного здравоохранения» на 2020–2022 годы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли вклад в разработку концепции, проведение работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: И.А. Блохин — редактирование и утверждение

итогового варианта текста рукописи, консультативная поддержка; Д.А. Румянцев — анализ данных, написание текста статьи; М.М. Сучилова, А.П. Гончар — редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи; О.В. Омелянская — концепция и дизайн исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a team of authors as part of the research work (EGISU number: AAAA-A20-120071090058-7) in accordance with the Program of the Moscow Department of Health “Scientific support of metropolitan health” for 2020-2022.

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 largest contributions were distributed as follows: I.A. Blokhin — editing and approval of the final manuscript text, advisory support; D.A. Rumyantsev — data analysis, article text writing; M.M. Suchilova, A.P. Gonchar — editing and approval of the final manuscript text; A.P. O.V. Omelyanskaya — study concept and design.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yang Y., Yang M., Shen C., et al. Evaluating the accuracy of different respiratory specimens in the laboratory diagnosis and monitoring the viral shedding of 2019-nCoV infections // medRxiv. 2020. doi: 10.1101/2020.02.11.20021493
2. Rubin G.D., Ryerson C.J., Haramati L.B., et al. The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 Pandemic: A multinational consensus statement from the fleischner society // Radiology. 2020. Vol. 296, N 1. P. 172–180. doi: 10.1148/radiol.2020201365
3. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 12 (21.09.2021). Москва, 2021. 232 с.
4. Ng M., Lee E.Y., Yang J., et al. Imaging profile of the COVID-19 infection: Radiologic findings and literature review // Radiology: Cardiothoracic Imaging. 2020. Vol. 2, N 1. P. e200034. doi: 10.1148/ryct.2020200034
5. Ai T., Yang Z., Hou H., et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: A report

- of 1014 cases // *Radiology*. 2020. Vol. 296, N 2. P. E32–E40. doi: 10.1148/radiol.2020200642
6. Kang Z., Li X., Zhou S. Recommendation of low-dose CT in the detection and management of COVID-2019 // *European Radiology*. 2020. Vol. 30, N 8. P. 4356–4357. doi: 10.1007/s00330-020-06809-6
 7. Морозов С.П., Кузьмина Е.С., Ледихова Н.В., и др. Мобилизация научно-практического потенциала службы лучевой диагностики г. Москвы в пандемию COVID-19 // *Digital Diagnostics*. 2020. Т. 1, № 1. С. 5–12. doi: 10.17816/DD51043
 8. Pan F., Ye T., Sun P., et al. Time course of lung changes on chest CT during recovery from 2019 novel coronavirus (COVID-19) pneumonia // *Radiology*. 2020. Vol. 295, N 3. P. 715–721. doi: 10.1148/radiol.2020200370
 9. Lei D.P., Fan B., Mao J., et al. The progression of computed tomographic (CT) images in patients with coronavirus disease (COVID-19) pneumonia. Running title: The CT progression of COVID-19 pneumonia // *J Infect*. 2020. Vol. 80, N 6. P. e30–e31. doi: 10.1016/j.jinf.2020.03.020
 10. Power S.P., Moloney F., Twomey M., et al. Computed tomography and patient risk: Facts, perceptions and uncertainties // *World J Radiol*. 2016. Vol. 8, N 12. P. 902–915. doi: 10.4329/wjr.v8.i12.902
 11. Yeung A.W. The “As low as reasonably achievable” (ALARA) principle: A brief historical overview and a bibliometric analysis of the most cited publications // *Radioprotection*. 2019. Vol. 54, N 2. P. 103–109. doi: 10.1051/radiopro/2019016
 12. Kalra M.K., Homayounieh F., Arru C., et al. Chest CT practice and protocols for COVID-19 from radiation dose management perspective // *Eur Radiol*. 2020. Vol. 30, N 12. P. 6554–6560. doi: 10.1007/s00330-020-07034-x
 13. Краснов А.С., Кабанов Д.О., Терещенко Г.В. Основы дозиметрии и оптимизации дозовой нагрузки при проведении мульти-спиральной компьютерной томографии // *Вопросы гематологии, онкологии и иммунопатологии в педиатрии*. 2018. Т. 17, № 3. С. 127–132.
 14. Singh S., Kalra M.K., Thrall J.H., Mahesh M. CT radiation dose reduction by modifying primary factors // *J Am Coll Radiol*. 2011. Vol. 8, N 5. P. 369–372. doi: 10.1016/j.jacr.2011.02.001
 15. Zarb F., Rainford L., McEntee M.F. Developing optimized CT scan protocols: Phantom measurements of image quality // *Radiography*. 2011. Vol. 17, N 2. P. 109–114. doi: 10.1016/j.radi.2010.10.004
 16. Hilts M., Duzenli C. Image noise in X-ray CT polymer gel dosimetry // *J Physics: Conference Series*. 2004. Vol. 3, N 1. P. 252. doi: 10.1088/1742-6596/3/1/040
 17. Lira D., Padole A., Kalra M.K., Singh S. Tube potential and CT radiation dose optimization // *Am J Roentgenol*. 2015. Vol. 204, N 1. P. W4–W10. doi: 10.2214/AJR.14.13281
 18. Reid J., Gamberoni J., Dong F., Davros W. Optimization of kVp and mAs for pediatric low-dose simulated abdominal CT: Is it best to base parameter selection on object circumference? // *AJR Am J Roentgenol*. 2010. Vol. 195, N 4. P. 1015–1020. doi: 10.2214/AJR.09.3862
 19. Khoramian D., Sistani S., Firouzjah R.A. Assessment and comparison of radiation dose and image quality in multi-detector CT scanners in non-contrast head and neck examinations // *Paul J Radiol*. 2019. Vol. 84. P. 61–67. doi: 10.5114/pjr.2019.82743
 20. Mahesh M., Scatarige J.C., Cooper J., Fishman E.K. Dose and pitch relationship for a particular multislice CT scanner // *AJR Am J Roentgenol*. 2001. Vol. 177, N 6. P. 1273–1275. doi: 10.2214/ajr.177.6.1771273
 21. Tack D., Gevenois P.A., Abada H. Radiation dose from adult and pediatric multidetector computed tomography // Springer. 2007. doi: 10.1007/978-3-540-68575-3
 22. Greffier J., Pereira F., Hamard A., et al. Effect of tin filter-based spectral shaping CT on image quality and radiation dose for routine use on ultralow-dose CT protocols: A phantom study // *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2020. Vol. 101, N 6. P. 373–381. doi: 10.1016/j.diii.2020.01.002
 23. Paul J., Krauss B., Banckwitz R., et al. Relationships of clinical protocols and reconstruction kernels with image quality and radiation dose in a 128-slice CT scanner: Study with an anthropomorphic and water phantom // *Eur J Radiology*. 2012. Vol. 81, N 5. P. e699–e703. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.01.078
 24. Hashemi S., Mehrez H., Cobbald R.S., Paul N.S. Optimal image reconstruction for detection and characterization of small pulmonary nodules during low-dose CT // *Eur Radiol*. 2014. Vol. 24, N 6. P. 1239–1250. doi: 10.1007/s00330-014-3142-9
 25. Beister M., Kolditz D., Kalender W.A. Iterative reconstruction methods in X-ray CT // *Physica Medica*. 2012. Vol. 28, N 2. P. 94–108. doi: 10.1016/j.ejmp.2012.01.003
 26. Shiri I., Akhavanallaf A., Sanaat A., et al. Ultra-low-dose chest CT imaging of COVID-19 patients using a deep residual neural network // *Eur Radiology*. 2021. Vol. 31, N 3. P. 1420–1431. doi: 10.1007/s00330-020-07225-6
 27. Shan H., Padole A., Homayounieh F., et al. Competitive performance of a modularized deep neural network compared to commercial algorithms for low-dose CT image reconstruction // *Nat Machine Intelligence*. 2019. Vol. 1, N 6. P. 269–276. doi: 10.1038/s42256-019-0057-9
 28. Blokhin I., Gomboleviskiy V., Chernina V., et al. Inter-observer agreement between low-dose and standard-dose CT with soft and sharp convolution kernels in COVID-19 Pneumonia // *J Clin Med*. 2022. Vol. 11, N 669. doi: 10.3390/jcm11030669
 29. Филатова Д.А., Силицын В.Е., Мершина Е.А. Возможности снижения лучевой нагрузки при проведении компьютерной томографии для оценки изменений в легких, характерных для COVID-19: использование адаптивной статистической итеративной реконструкции // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 2. С. 94–104. doi: 10.17816/DD62477
 30. Afshar P., Rafiee M.J., Naderkhani F., et al. Human-level COVID-19 diagnosis from low-dose CT scans using a two-stage time-distributed capsule network // *Sci Rep*. 2022. Vol. 12, N 1. P. 4827. doi: 10.1038/s41598-022-08796-8
 31. Fukumoto W., Nakamura Y., Yoshimura K., et al. Triaging of COVID-19 patients using low dose chest CT: Incidence and factor analysis of lung involvement on CT images // *J Infect Chemother*. 2022. Vol. 28, N 6. P. 797–801. doi: 10.1016/j.jiac.2022.02.025
 32. Bieba C.M., Desmet J.N., Dubbeldam A., et al. Radiological findings in low-dose CT for COVID-19 pneumonia in 182 patients: Correlation of signs and severity with patient outcome // *Medicine (Baltimore)*. 2022. Vol. 101, N 9. P. e28950. doi: 10.1097/MD.00000000000028950
 33. Piqueras B.M., Casajús E.A., Iriarte U.C., et al. Low-dose chest CT for preoperative screening for SARS-CoV-2 infection // *Radiologia (Engl.)*. 2022. Vol. 64, N 4. P. 317–323. doi: 10.1016/j.rxeng.2021.11.004
 34. Thieß H.M., Bressen K.K., Adams L., et al. Do submillisievert-chest CT protocols impact diagnostic quality in suspected COVID-19 patients? // *Acta Radiol Open*. 2022. Vol. 11, N 1. P. 20584601211073864. doi: 10.1177/20584601211073864

35. Greffier J., Hoballah A., Sadate A., et al. Ultra-low-dose chest CT performance for the detection of viral pneumonia patterns during the COVID-19 outbreak period: A monocentric experience // *Quant Imaging Med Surg.* 2021. Vol. 11, N 7. P. 3190–3199. doi: 10.21037/qims-20-1176
36. Karakaş H.M., Yıldırım G., Çiçek E.D. The reliability of low-dose chest CT for the initial imaging of COVID-19: Comparison of structured findings, categorical diagnoses and dose levels // *Diagn Interv Radiol.* 2021. Vol. 27, N 5. P. 607–614. doi: 10.5152/dir.2021.20802
37. Finance J., Ziesleskewicz L., Habert P., et al. Low dose chest CT and lung ultrasound for the diagnosis and management of COVID-19 // *J Clin Med.* 2021. Vol. 10, N 10. P. 2196. doi: 10.3390/jcm10102196
38. Desmet J., Biebaû C., De Wever W., et al. Performance of low-dose chest CT as a triage tool for suspected COVID-19 patients // *J Belgian Society Radiology.* 2021. Vol. 105, N 1. P. 9. doi: 10.5334/jbsr.2319
39. Aslan S., Bekçi T., Çakır İ.M., et al. Diagnostic performance of low-dose chest CT to detect COVID-19: A Turkish population study // *Diagn Interv Radiol.* 2021. Vol. 27, N 2. P. 181–187. doi: 10.5152/dir.2020.20350
40. Stoleriu M.G., Gerckens M., Obereisenbuchner F., et al. Automated quantitative thin slice volumetric low dose CT analysis predicts disease severity in COVID-19 patients // *Clin Imaging.* 2021. Vol. 79. P. 96–101. doi: 10.1016/j.clinimag.2021.04.008
41. Bai L., Zhou J., Shen C., et al. Assessment of radiation doses and image quality of multiple low-dose CT exams in COVID-19 clinical management // *Chin J Acad Radiol.* 2021. Vol. 4, N 4. P. 257–261. doi: 10.1007/s42058-021-00083-1
42. Agostini A., Borgheresi A., Carotti M., et al. Third-generation iterative reconstruction on a dual-source, high-pitch, low-dose chest CT protocol with tin filter for spectral shaping at 100 kV: A study on a small series of COVID-19 patients // *Radiol Med.* 2021. Vol. 126, N 3. P. 388–398. doi: 10.1007/s11547-020-01298-5
43. Zali A., Sohrabi M.R., Mahdavi A., et al. Correlation between low-dose chest computed tomography and RT-PCR results for the diagnosis of COVID-19: A report of 27,824 cases in Tehran, Iran // *Acad Radiol.* 2021. Vol. 28, N 12. P. 1654–1661. doi: 10.1016/j.acra.2020.09.003
44. Argentieri G., Bellesi L., Pagnamenta A., et al. Diagnostic yield, safety, and advantages of ultra-low dose chest CT compared to chest radiography in early stage suspected SARS-CoV-2 pneumonia: A retrospective observational study // *Medicine (Baltimore).* 2021. Vol. 100, N 21. P. e26034. doi: 10.1097/MD.00000000000026034
45. Leger T., Jacquier A., Barral P.A., et al. Low-dose chest CT for diagnosing and assessing the extent of lung involvement of SARS-CoV-2 pneumonia using a semi quantitative score // *PLoS One.* 2020. Vol. 15, N 11. P. e0241407. doi: 10.1371/journal.pone.0241407
46. Hamper C.M., Fleckenstein F.N., Büttner L., et al. Submillisievert chest CT in patients with COVID-19: Experiences of a German Level-I center // *Eur J Radiol Open.* 2020. Vol. 7. P. 100283. doi: 10.1016/j.ejro.2020.100283
47. Li J., Wang X., Huang X., et al. Application of Care Dose 4D combined with Karl 3D technology in the low dose computed tomography for the follow-up of COVID-19 // *BMC Med Imaging.* 2020. Vol. 20, N 1. P. 56. doi: 10.1186/s12880-020-00456-5
48. Dangis A., Gieraerts C., De Bruecker Y., et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19 // *Radiol Cardiothorac Imaging.* 2020. Vol. 2, N 2. P. e200196. doi: 10.1148/ryct.2020200196
49. Radpour A., Bahrami-Motlagh H., Taaghi M.T., et al. COVID-19 evaluation by low-dose high resolution CT scans protocol // *Acad Radiol.* 2020. Vol. 27, N 6. P. 901. doi: 10.1016/j.acra.2020.04.016
50. Tofighi S., Najafi S., Johnston S.K., Gholamrezanezhad A. Low-dose CT in COVID-19 outbreak: Radiation safety, image wisely, and image gently pledge // *Emerg Radiol.* 2020. Vol. 27, N 6. P. 601–605. doi: 10.1007/s10140-020-01784-3
51. Tabatabaei S.M., Talari H., Gholamrezanezhad A., et al. A low-dose chest CT protocol for the diagnosis of COVID-19 pneumonia: A prospective study // *Emerg Radiol.* 2020. Vol. 27, N 6. P. 607–615. doi: 10.1007/s10140-020-01838-6
52. Schulze-Hagen M., Hübel C., Meier-Schroers M., et al. Low-dose chest CT for the diagnosis of COVID-19: A systematic, prospective comparison with PCR // *Dtsch Arztebl Int.* 2020. Vol. 117, N 22-23. P. 389–395. doi: 10.3238/arztebl.2020.0389
53. Zhao Y., Wang Y., Duan W., et al. Low-dose chest CT presentation and dynamic changes in patients with novel coronavirus disease 2019 // *Radiol Infect Dis.* 2020. Vol. 7, N 4. P. 186–194. doi: 10.1016/j.jrid.2020.08.001
54. Castelli M., Maurin A., Bartoli A., et al. Prevalence and risk factors for lung involvement on low-dose chest CT (LDCT) in a paucisymptomatic population of 247 patients affected by COVID-19 // *Insights Imaging.* 2020. Vol. 11, N 1. P. 117. doi: 10.1186/s13244-020-00939-7
55. Морозов С.П., Кузьмина Е.С., Ветшева Н.Н., и др. Московский скрининг: скрининг рака легкого с помощью низкодозовой компьютерной томографии // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины.* 2019. Т. 27, № С. 630–636. doi: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636
56. Патент РФ № 2701922 С1. Гомболевский В.А., Морозов С.П., Чернина В.Ю., и др. Способ скрининга рака легкого с помощью ультранизкодозной компьютерной томографии у пациентов с массой тела до 69 кг. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2701922C1/ru>. Дата обращения: 15.01.2023.
57. Gombolevskiy V., Morozov S., Chernina V., et al. A phantom study to optimise the automatic tube current modulation for chest CT in COVID-19 // *Eur Radiol Exp.* 2021. Vol. 5, N 1. P. 21. doi: 10.1186/s41747-021-00218-0
58. Kim Y.K., Lee B.E., Lee S.J., et al. Ultra-low-dose CT of the thorax using iterative reconstruction: Evaluation of image quality and radiation dose reduction // *Am J Roentgenol.* 2015. Vol. 204, N 6. P. 1197–1202. doi: 10.2214/AJR.14.13629
59. Блохин И.А., Гончар А.П., Коденко М.Р., и др. Влияние индекса массы тела на надёжность шкалы КТ0–4: сравнение протоколов компьютерной томографии // *Digital Diagnostics.* 2022. Т. 3, № 2. С. 108–118. doi: 10.17816/DD104358
60. Gierada D.S., Bierhals A.J., Choong C.K., et al. Effects of CT section thickness and reconstruction kernel on emphysema quantification // *Academic Radiology.* 2010. Vol. 17, N 2. P. 146–156. doi: 10.1016/j.acra.2009.08.007
61. Gao Y., Hua M., Lv J., et al. Reproducibility of radiomic features of pulmonary nodules between low-dose CT and conventional-dose CT // *Quant Imaging Med Surg.* 2022. Vol. 12, N 4. P. 2368–2377. doi: 10.21037/qims-21-609
62. Blokhin I.A., Solovlev A.V., Vladzimirskiy A.V., et al. Automated analysis of lung lesions in COVID-19: Comparison of standard and low-dose CT // *SJCEM.* 2023. Vol. 37, N 4. P. 114–123. doi: 10.29001/2073-8552-2022-37-4-114-123
63. Bak S.H., Kim J.H., Jin H., et al. Emphysema quantification using low-dose computed tomography with deep learning-based kernel conversion comparison // *Eur Radiol.* 2020. Vol. 30, N 12. P. 6779–6787. doi: 10.1007/s00330-020-07020-3

REFERENCES

1. Yang Y, Yang M, Shen C, et al. Evaluating the accuracy of different respiratory specimens in the laboratory diagnosis and monitoring the viral shedding of 2019-nCoV infections. *medRxiv*. 2020. doi: 10.1101/2020.02.11.20021493
2. Rubin GD, Ryerson CJ, Haramati LB, et al. The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 pandemic: A multinational consensus statement from the Fleischner society. *Radiology*. 2020;296(1):172–180. doi: 10.1148/radiol.20201365
3. Temporary methodological recommendations prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Version 12 (09/21/2021). Moscow; 2021. 232 p.
4. Ng M, Lee EY, Yang J, et al. Imaging profile of the COVID-19 infection: Radiologic findings and literature review. *Radiology: Cardiothoracic Imaging*. 2020;2(1):e200034. doi: 10.1148/ryct.2020200034
5. Ai T, Yang Z, Hou H, et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: A report of 1014 cases. *Radiology*. 2020;296(2):E32–E40. doi: 10.1148/radiol.2020200642
6. Kang Z, Li X, Zhou S. Recommendation of low-dose CT in the detection and management of COVID-2019. *Eur Radiology*. 2020;30(8):4356–4357. doi: 10.1007/s00330-020-06809-6
7. Morozov SP, Kuzmina ES, Ledekhova NV, et al. Mobilization of the scientific and practical potential of the radiation diagnostics service of Moscow in the COVID-19 pandemic. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):5–12. (In Russ). doi: 10.17816/DD51043
8. Pan F, Ye T, Sun P, et al. Time course of lung changes on chest CT during recovery from 2019 novel coronavirus (COVID-19) pneumonia. *Radiology*. 2020;295(3):715–721. doi: 10.1148/radiol.2020200370
9. Lei DP, Fan B, Mao J, et al. The progression of computed tomographic (CT) images in patients with coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: Running title: the CT progression of COVID-19 pneumonia. *J Infect*. 2020;80(6):e30–e31. doi: 10.1016/j.jinf.2020.03.020
10. Power SP, Moloney F, Twomey M, et al. Computed tomography and patient risk: Facts, perceptions and uncertainties. *World J Radiol*. 2016;8(12):902–915. doi: 10.4329/wjr.v8.i12.902
11. Yeung AW. The “As low as reasonably achievable” (ALARA) principle: A brief historical overview and a bibliometric analysis of the most cited publications. *Radioprotection*. 2019;54(2):103–109. doi: 10.1051/radiopro/2019016
12. Kalra MK, Homayounieh F, Arru C, et al. Chest CT practice and protocols for COVID-19 from radiation dose management perspective. *Eur Radiol*. 2020;30(12):6554–6560. doi: 10.1007/s00330-020-07034-x
13. Krasnov AS, Kabanov DO, Tereshchenko GV. Fundamentals of dosimetry and dose load optimization during multispiral computed tomography. *Issues Hematology Oncology Immunopathology Pediatrics*. 2018;17(3):127–132. (In Russ).
14. Singh S, Kalra MK, Thrall JH, Mahesh M. CT radiation dose reduction by modifying primary factors. *J Am Coll Radiol*. 2011;8(5):369–372. doi: 10.1016/j.jacr.2011.02.001
15. Zarb F, Rainford L, McEntee MF. Developing optimized CT scan protocols: Phantom measurements of image quality. *Radiography*. 2011;17(2):109–114. doi: 10.1016/j.radi.2010.10.004
16. Hilts M, Duzenli C. Image noise in X-ray CT polymer gel dosimetry. *J Physics: Conference Series*. 2004;3(1):252. doi: 10.1088/1742-6596/3/1/040
17. Lira D, Padole A, Kalra MK, Singh S. Tube potential and CT radiation dose optimization. *Am J Roentgenol*. 2015;204(1):W4–W10. doi: 10.2214/AJR.14.13281
18. Reid J, Gamberoni J, Dong F, Davros W. Optimization of kVp and mAs for pediatric low-dose simulated abdominal CT: Is it best to base parameter selection on object circumference? *AJR Am J Roentgenol*. 2010;195(4):1015–1020. doi: 10.2214/AJR.09.3862
19. Khoramian D, Sistani S, Firouzjah RA. Assessment and comparison of radiation dose and image quality in multi-detector CT scanners in non-contrast head and neck examinations. *Paul J Radiol*. 2019;84:61–67. doi: 10.5114/pjr.2019.82743
20. Mahesh M, Scatarige JC, Cooper J, Fishman EK. Dose and pitch relationship for a particular multislice CT scanner. *AJR Am J Roentgenol*. 2001;177(6):1273–1275. doi: 10.2214/ajr.177.6.1771273
21. Tack D, Gevenois PA, Abada H. Radiation dose from adult and pediatric multidetector computed tomography. *Springer*. 2007. doi: 10.1007/978-3-540-68575-3
22. Greffier J, Pereira F, Hamard A, et al. Effect of tin filter-based spectral shaping CT on image quality and radiation dose for routine use on ultralow-dose CT protocols: A phantom study. *Diagnostic Interventional Imaging*. 2020;101(6):373–381. doi: 10.1016/j.diii.2020.01.002
23. Paul J, Krauss B, Banckwitz R, et al. Relationships of clinical protocols and reconstruction kernels with image quality and radiation dose in a 128-slice CT scanner: Study with an anthropomorphic and water phantom // *Eur J Radiology*. 2012;81(5):e699–e703. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.01.078
24. Hashemi S, Mehrez H, Cobbold RS, Paul NS. Optimal image reconstruction for detection and characterization of small pulmonary nodules during low-dose CT. *Eur Radiol*. 2014;24(6):1239–1250. doi: 10.1007/s00330-014-3142-9
25. Beister M, Kolditz D, Kalender WA. Iterative reconstruction methods in X-ray CT. *Physica Medica*. 2012;28(2):94–108. doi: 10.1016/j.ejmp.2012.01.003
26. Shiri I, Akhavanallaf A, Sanaat A, et al. Ultra-low-dose chest CT imaging of COVID-19 patients using a deep residual neural network. *Eur Radiology*. 2021;31(3):1420–1431. doi: 10.1007/s00330-020-07225-6
27. Shan H, Padole A, Homayounieh F, et al. Competitive performance of a modularized deep neural network compared to commercial algorithms for low-dose CT image reconstruction. *Nat Machine Intelligence*. 2019;1(6):269–276. doi: 10.1038/s42256-019-0057-9
28. Blokhin I, Gombolevskiy V, Chernina V, et al. Inter-observer agreement between low-dose and standard-dose CT with soft and sharp convolution kernels in COVID-19 pneumonia. *J Clin Med*. 2022;11:669. doi: 10.3390/jcm11030669
29. Filatova DA, Sinitsyn VE, Mershina EA. The possibilities of reducing radiation exposure during computed tomography to assess changes in the lungs characteristic of COVID-19: The use of adaptive statistical iterative reconstruction. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2):94–104. (In Russ). doi: 10.17816/DD62477
30. Afshar P, Rafiee MJ, Naderkhani F, et al. Human-level COVID-19 diagnosis from low-dose CT scans using a two-stage time-distributed capsule network. *Sci Rep*. 2022;12(1):4827. doi: 10.1038/s41598-022-08796-8
31. Fukumoto W, Nakamura Y, Yoshimura K, et al. Triaging of COVID-19 patients using low dose chest CT: Incidence and factor analysis of lung involvement on CT images. *J Infect Chemother*. 2022;28(6):797–801. doi: 10.1016/j.jiac.2022.02.025
32. Bieba CM, Desmet JN, Dubbeldam A, et al. Radiological findings in low-dose CT for COVID-19 pneumonia in 182 patients: Correlation

- of signs and severity with patient outcome. *Medicine (Baltimore)*. 2022;101(9):e28950. doi: 10.1097/MD.00000000000028950
33. Piqueras BM, Casajús EA, Iriarte UC, et al. Low-dose chest CT for preoperative screening for SARS-CoV-2 infection. *Radiologia (Engl Ed)*. 2022;64(4):317–323. doi: 10.1016/j.rxeng.2021.11.004
34. Thieß HM, Bressemer KK, Adams L, et al. Do submillisievert-chest CT protocols impact diagnostic quality in suspected COVID-19 patients? *Acta Radiol Open*. 2022;11(1):20584601211073864. doi: 10.1177/20584601211073864
35. Greffier J, Hoballah A, Sadate A, et al. Ultra-low-dose chest CT performance for the detection of viral pneumonia patterns during the COVID-19 outbreak period: A monocentric experience. *Quant Imaging Med Surg*. 2021;11(7):3190–3199. doi: 10.21037/qims-20-1176
36. Karakaş HM, Yıldırım G, Çiçek ED. The reliability of low-dose chest CT for the initial imaging of COVID-19: Comparison of structured findings, categorical diagnoses and dose levels. *Diagn Interv Radiol*. 2021;27(5):607–614. doi: 10.5152/dir.2021.20802
37. Finance J, Zieleskiewicz L, Habert P, et al. Low dose chest CT and lung ultrasound for the diagnosis and management of COVID-19. *J Clin Med*. 2021;10(10):2196. doi: 10.3390/jcm10102196
38. Desmet J, Biebaû C, De Wever W, et al. Performance of low-dose chest CT as a triage tool for suspected COVID-19 patients. *J Belgian Society Radiology*. 2021;105(1):9. doi: 10.5334/jbsr.2319
39. Aslan S, Bekçi T, Çakır İM, et al. Diagnostic performance of low-dose chest CT to detect COVID-19: A Turkish population study. *Diagn Interv Radiol*. 2021;27(2):181–187. doi: 10.5152/dir.2020.20350
40. Stoleriu MG, Gerckens M, Obereisenbuchner F, et al. Automated quantitative thin slice volumetric low dose CT analysis predicts disease severity in COVID-19 patients. *Clin Imaging*. 2021;79:96–101. doi: 10.1016/j.clinimag.2021.04.008
41. Bai L, Zhou J, Shen C, et al. Assessment of radiation doses and image quality of multiple low-dose CT exams in COVID-19 clinical management. *Chin J Acad Radiol*. 2021;4(4):257–261. doi: 10.1007/s42058-021-00083-1
42. Agostini A, Borgheresi A, Carotti M, et al. Third-generation iterative reconstruction on a dual-source, high-pitch, low-dose chest CT protocol with tin filter for spectral shaping at 100 kV: A study on a small series of COVID-19 patients. *Radiol Med*. 2021;126(3):388–398. doi: 10.1007/s11547-020-01298-5
43. Zali A, Sohrabi MR, Mahdavi A, et al. Correlation between low-dose chest computed tomography and RT-PCR results for the diagnosis of COVID-19: A report of 27,824 cases in Tehran, Iran. *Acad Radiol*. 2021;28(12):1654–1661. doi: 10.1016/j.acra.2020.09.003
44. Argentieri G, Bellesi L, Pagnamenta A, et al. Diagnostic yield, safety, and advantages of ultra-low dose chest CT compared to chest radiography in early stage suspected SARS-CoV-2 pneumonia: A retrospective observational study. *Medicine (Baltimore)*. 2021;100(21):e26034. doi: 10.1097/MD.00000000000026034
45. Leger T, Jacquier A, Barral PA, et al. Low-dose chest CT for diagnosing and assessing the extent of lung involvement of SARS-CoV-2 pneumonia using a semi quantitative score. *PLoS One*. 2020;15(11):e0241407. doi: 10.1371/journal.pone.0241407
46. Hamper CM, Fleckenstein FN, Büttner L, et al. Submillisievert chest CT in patients with COVID-19: experiences of a German Level-I center. *Eur J Radiol Open*. 2020;7:100283. doi: 10.1016/j.ejro.2020.100283
47. Li J, Wang X, Huang X, et al. Application of Care Dose 4D combined with Karl 3D technology in the low dose computed tomography for the follow-up of COVID-19. *BMC Med Imaging*. 2020;20(1):56. doi: 10.1186/s12880-020-00456-5
48. Dangis A, Gieraerts C, De Bruecker Y, et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2020;2(2):e200196. doi: 10.1148/ryct.202000196
49. Radpour A, Bahrani-Motlagh H, Taaghi MT, et al. COVID-19 evaluation by low-dose high resolution CT scans protocol. *Acad Radiol*. 2020;27(6):901. doi: 10.1016/j.acra.2020.04.016
50. Tofighi S, Najafi S, Johnston SK, Gholamrezaezhad A. Low-dose CT in COVID-19 outbreak: Radiation safety, image wisely, and image gently pledge. *Emerg Radiol*. 2020;27(6):601–605. doi: 10.1007/s10140-020-01784-3
51. Tabatabaei SM, Talari H, Gholamrezaezhad A, et al. A low-dose chest CT protocol for the diagnosis of COVID-19 pneumonia: A prospective study. *Emerg Radiol*. 2020;27(6):607–615. doi: 10.1007/s10140-020-01838-6
52. Schulze-Hagen M, Hübel C, Meier-Schroers M, et al. Low-dose chest CT for the diagnosis of COVID-19: A systematic, prospective comparison with PCR. *Dtsch Arztebl Int*. 2020;117(22-23):389–395. doi: 10.3238/arztebl.2020.0389
53. Zhao Y, Wang Y, Duan W, et al. Low-dose chest CT presentation and dynamic changes in patients with novel coronavirus disease 2019. *Radiol Infect Dis*. 2020;7(4):186–194. doi: 10.1016/j.jrid.2020.08.001
54. Castelli M, Maurin A, Bartoli A, et al. Prevalence and risk factors for lung involvement on low-dose chest CT (LDCT) in a paucisymptomatic population of 247 patients affected by COVID-19. *Insights Imaging*. 2020;11(1):117. doi: 10.1186/s13244-020-00939-7
55. Morozov SP, Kuzmina ES, Vetsheva NN, et al. Moscow screening: screening of lung cancer using low-dose computed tomography. *Problems Social Hygiene Healthcare History Med*. 2019;27(S):630–636. (In Russ). doi: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636
56. Patent RUS No. 2701922 C1. Gombolevsky VA, Morozov SP, Chernina VYu, et al. A method for screening lung cancer using ultra-low-dose computed tomography in patients with a body weight of up to 69 kg. mode: Available from: <https://patents.google.com/patent/RU2701922C1/ru>. Accessed: 15.01.2023.
57. Gombolevskiy V, Morozov S, Chernina V, et al. A phantom study to optimise the automatic tube current modulation for chest CT in COVID-19. *Eur Radiol Exp*. 2021;5(1):21. doi: 10.1186/s41747-021-00218-0
58. Kim YK, Lee BE, Lee SJ, et al. Ultra-low-dose CT of the thorax using iterative reconstruction: Evaluation of image quality and radiation dose reduction. *Am J Roentgenol*. 2015;204(6):1197–1202. doi: 10.2214/AJR.14.13629
59. Blokhin IA, Gonchar AP, Kotenko MR, et al. The influence of body mass index on the reliability of the 0–4 CT scale: Comparison of computed tomography protocols. *Digital Diagnostics*. 2022;3(2):108–118. (In Russ). doi: 10.17816/DD104358
60. Gierada DS, Bierhals AJ, Choong CK, et al. Effects of CT section thickness and reconstruction kernel on emphysema quantification. *Academic Radiology*. 2010;17(2):146–156. doi: 10.1016/j.acra.2009.08.007
61. Gao Y, Hua M, Lv J, et al. Reproducibility of radiomic features of pulmonary nodules between low-dose CT and conventional-dose CT. *Quant Imaging Med Surg*. 2022;12(4):2368–2377. doi: 10.21037/qims-21-609

62. Blokhin IA, Solovov AV, Vladzimirskiy AV, et al. Automated analysis of lung lesions in COVID-19: Comparison of standard and low-dose CT. *SJCEM*. 2023;37(4):114–123. (In Russ). doi: 10.29001/2073-8552-2022-37-4-114-123

63. Bak SH, Kim JH, Jin H, et al. Emphysema quantification using low-dose computed tomography with deep learning-based kernel conversion comparison. *Eur Radiol*. 2020;30(12):6779–6787. doi: 10.1007/s00330-020-07020-3

ОБ АВТОРАХ

*** Блохин Иван Андреевич;**

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>;
eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: BlokhinIA@zdrav.mos.ru

Румянцев Денис Андреевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7670-7385>;
eLibrary SPIN: 8734-2085; e-mail: x.radiology@mail.ru

Сучилова Мария Максимовна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1117-0294>;
eLibrary SPIN: 4922-1894; e-mail: SuchilovaMM@zdrav.mos.ru

Гончар Анна Павловна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5161-6540>;
eLibrary SPIN: 3513-9531; e-mail: GoncharAP@zdrav.mos.ru

Омелянская Ольга Васильевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0245-4431>;
eLibrary SPIN: 8948-6152;
e-mail: OmelyanskayaOV@zdrav.mos.ru

AUTHORS' INFO

*** Ivan A. Blokhin;**

address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>;
eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: BlokhinIA@zdrav.mos.ru

Denis A. Rumyantsev;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7670-7385>;
eLibrary SPIN: 8734-2085; e-mail: x.radiology@mail.ru

Maria M. Suchilova;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1117-0294>;
eLibrary SPIN: 4922-1894; e-mail: SuchilovaMM@zdrav.mos.ru

Anna P. Gonchar;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5161-6540>;
eLibrary SPIN: 3513-9531; e-mail: GoncharAP@zdrav.mos.ru

Olga V. Omelyanskaya;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0245-4431>;
eLibrary SPIN: 8948-6152;
e-mail: OmelyanskayaOV@zdrav.mos.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123543>

Основные импульсные последовательности в диагностике абдоминальной патологии

Е.М. Сыркашев^{1,2}, Ф.З. Кадырбердиева², Л.Р. Абуладзе¹,
Д.С. Семенов¹, Е.Г. Привалова¹

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

² Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Магнитно-резонансная томография является одним из основных методов диагностики заболеваний органов брюшной полости и забрюшинного пространства, который позволяет с высокой диагностической точностью и воспроизводимостью визуализировать очаговые или диффузные изменения паренхиматозных и полых органов. Магнитно-резонансная томография имеет определённые преимущества перед компьютерной томографией в чувствительности и специфичности определения патологических изменений паренхиматозных органов, желчевыводящих путей и протоков поджелудочной железы, брюшины и органов забрюшинного пространства.

Мультипараметрический протокол сканирования предоставляет информацию не только о взаимной топографии органов и их структуре, но и о функциональном состоянии тканей, что позволяет перейти от структурной к функциональной оценке изображений. В большинстве случаев стандартный протокол включает сканирование органов брюшной полости (T1-/T2- и диффузионно-взвешенные режимы) и желчевыводящих протоков (магнитно-резонансная холангиопанкреатография), при этом данный протокол может быть значительно сокращён или дополнен в зависимости от целей исследования и состояния пациента.

Существующие технические разработки и достижения позволяют упростить процесс сканирования и сократить время на получение изображений, повышая при этом воспроизводимость методик в разных учреждениях здравоохранения.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; МРТ; протокол сканирования; МРТ органов брюшной полости и забрюшинного пространства.

Как цитировать

Сыркашев Е.М., Кадырбердиева Ф.З., Абуладзе Л.Р., Семенов Д.С., Привалова Е.Г. Основные импульсные последовательности в диагностике абдоминальной патологии // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 1. С. 39–50. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123543>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123543>

Basic pulse sequences in the diagnosis of abdominal pathology

Egor M. Syrkashev^{1, 2}, Faina Z. Kadyrberdieva², Liya R. Abuladze¹,
Dmitriy S. Semenov¹, Ekaterina G. Privalova¹

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Magnetic resonance imaging is used for diagnosing abdominal and retroperitoneal space pathology, which allows visualizing focal or diffuse lesions in the parenchymal and hollow viscera with high diagnostic accuracy and reproducibility. Magnetic resonance imaging has advantages over computed tomography in the sensitivity and specificity of determining pathological changes in parenchymal organs, bile ducts and ducts of the pancreas, peritoneum, and retroperitoneal space.

The multiparametric protocol provides information about the mutual topography of organs and their structure and the functional state of tissues. This allows to move from structural to functional evaluation. In most cases, the standard abdominal protocol includes T1-weighted images, T2-weighted images, diffusion-weighted images, and magnetic resonance cholangiopancreatography. Depending on the objectives and patient's condition, this protocol can be significantly reduced or supplemented.

Existing technical developments and achievements make it possible to simplify the scanning process and reduce the time for obtaining images while increasing the reproducibility of techniques in different healthcare institutions.

Keywords: magnetic resonance imaging; MRI; scanning protocol; abdominal and retroperitoneal MRI.

To cite this article

Syrkashev EM, Kadyrberdieva FZ, Abuladze LR, Semenov DS, Privalova EG. Basic pulse sequences in the diagnosis of abdominal pathology. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):39–50. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123543>

Received: 18.01.2023

Accepted: 10.03.2023

Published: 04.04.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123543>

腹部病理诊断中的关键脉冲序列

Egor M. Syrkashev^{1, 2}, Faina Z. Kadyrberdieva², Liya R. Abuladze¹,
Dmitriy S. Semenov¹, Ekaterina G. Privalova¹

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology, Moscow, Russian Federation

简评

磁共振成像是诊断腹部和腹膜后器官疾病的主要方法之一，它允许显示出实质器官和空腔脏器的病灶或弥漫性变化，具有很高的诊断准确度和可重复性。与计算机断层扫描相比，磁共振成像在确定实质器官、胆道和胰管、腹膜和腹膜后器官的病理变化的敏感性和特异性方面有明显优势。

多参数扫描方案不仅提供器官的相互形貌及其结构的信息，而且提供组织的功能状态，使图像从结构评估过渡到功能评估。在大多数情况下，标准方案包括腹部扫描（T1-/T2-和扩散加权模式）和胆道扫描（磁共振胆胰管成像），但根据检查的目的和病人的情况，这个方案可以大大缩短或补充。

现有的技术发展和成果允许简化扫描过程和缩短成像时间，同时提高技术在不同医疗机构的方法重复性。

关键词：磁共振成像，MRI，扫描方案，腹部和腹膜后的MRI。

To cite this article

Syrkashev EM, Kadyrberdieva FZ, Abuladze LR, Semenov DS, Privalova EG. 腹部病理诊断中的关键脉冲序列. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):39–50.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123543>

收到: 18.01.2023

接受: 10.03.2023

发布日期: 04.04.2023

ВВЕДЕНИЕ

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является одной из наиболее важных модальностей лучевой диагностики, вклад которой в рутинную диагностику заболеваний органов брюшной полости неуклонно растёт. Помимо отсутствия ионизирующего излучения и высокого естественного мягкотканного контраста, МРТ позволяет проводить анализ изображений в любой плоскости с возможностью трёхмерной реконструкции интересующих областей. Активное внедрение диффузионных и перфузионных методик предоставляет информацию не только о структуре тканей, но и её функциональном состоянии, включая определение скорости диффузии молекул воды, аккумуляции и вымывания контрастных препаратов.

В настоящее время МРТ является одним из основных диагностических методов, который имеет определённые преимущества перед компьютерной томографией (КТ) в чувствительности и специфичности определения патологических изменений паренхиматозных органов, желчевыводящих путей и протоков поджелудочной железы, брюшины и органов забрюшинного пространства [1].

ОСНОВНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Особенностью проведения МРТ органов брюшной полости являются сложности, связанные с получением изображений с высоким отношением «сигнал–шум» (SNR, signal-to-noise ratio) от тканей, которые находятся в движении из-за дыхания пациента, перистальтики кишечника, сердечных сокращений и пульсации крупных сосудов. Изначально МРТ выполняли с использованием стандартных спин-эхо (SE, spin-echo) последовательностей с получением T1- и T2-взвешенных изображений

(ВИ). Однако длительный процесс сбора данных требовал дополнительной синхронизации с дыханием, которая в свою очередь значительно увеличивала время сканирования (в отдельных случаях протокол исследования превышал 60 мин) [2, 3]. При этом даже незначительная рассинхронизация с дыханием в некоторых случаях приводила к затруднительной интерпретации изображений.

В настоящее время стандартный протокол исследования органов брюшной полости включает методики, основанные на более коротких последовательностях, которые выполняются на задержке дыхания пациента. К ним относят T1-ВИ с использованием градиентного эхо (SGE, spoiled gradient echo) и изображения, сформированные с половинным Фурье-преобразованием (Half-Fourier Acquisition Single-shot Turbo spin Echo imaging, HASTE, или Single Shot Fast Spin Echo, SSFSE) [4, 5] (табл. 1).

T1- и T2-взвешенные изображения

Получение одного среза T2-ВИ с использованием одноимпульсных спин-эхо последовательностей (single shot spin-echo) занимает примерно 1 сек с центральным заполнением k-пространства. Поскольку контрастность изображения определяется центральными отделами k-пространства, одноимпульсные методики значительно менее чувствительны к движениям пациента, что крайне важно для пациентов, находящихся в бессознательном состоянии. T1-ВИ с использованием градиентного эхо значительно более чувствительны к движениям: даже кратковременные движения во время сканирования приводят к артефактам на изображениях, затрагивающим все срезы. При этом менее чувствительные к движениям методики также доступны, и они основаны на тех же принципах, которые используются при получении одноимпульсных T2-ВИ: быстрое заполнение центрального k-пространства путём анализа одного среза за один

Таблица 1. Название основных импульсных последовательностей у основных производителей магнитно-резонансных томографов

Импульсные последовательности \ Производитель	TOSHIBA	PHILIPS	GE	SIEMENS
Spin-Echo	SE	SE	SE	SE
Fast Spin-Echo	FSE	TSE	FSE	TSE
Single Shot Fast Spin-Echo	FASE	SSh TSE	SSFSE/RARE	HASTE
	FE	FFE	GRASSE, GRE	FISP, GRE
Gradient Echo	T1-FE	CE-FFE T1	SPGR	FLASH
	-	CE-FFE T2	SSFP	PSIF
Steady State Fast Field Echo	TrueSSFP	Balanced FFE (BFFE)	FIESTA	True FISP
Fast Scan	FFE	TFE	Rapid SPGR	TurboFlash
Saturation Bands	PreSat	REST	SAT	PreSAT
Fat, water and Background Suppression	FatSat	SPIR	CHEMSAT	FATSAT

Примечание. Spin-Echo (спиновое эхо); Fast Spin-Echo (быстрое спиновое эхо); Single Shot Fast Spin-Echo (короткое однократное быстрое спиновое эхо); Gradient Echo (градиентное эхо); Steady State Fast Field Echo (стационарная свободная процессия); Fast Scan (быстрое полевое эхо); Saturation Bands (полосы насыщения); Fat, water and background Suppression (последовательности с подавлением сигнала от жира, воды и окружающих тканей).

импульс (например, Turbo fast low-angle shot и Fast inversion-recovery motion-insensitive).

Иным подходом является использование модифицированных 3D-последовательностей (3D gradient echo sequence), которые используются в ангиографии. В зависимости от производителя они имеют различные наименования (первоначально VIBE — Volumetric Interpolated Breath-hold Examination) [6]. Данные последовательности позволяют получать изображения с высоким разрешением (порядка 2–3 мм), почти изотропным размером вокселя, что крайне важно в диагностике патологии печени и её сосудистой анатомии. Кроме того, данная методика используется для мультипланарной реконструкции изображений.

Другим важным элементом применения T1-ВИ является использование внутривенного контрастирования, в том числе специфических контрастных препаратов, например гепатоспецифических, в частности гадопсеновой кислоты, особенностью которой является высокая тропность к гепатоцитам, что позволяет лучше визуализировать образования печени (рис. 1).

Контрастные препараты сокращают время T1-релаксации, что приводит к повышению интенсивности сигнала на T1-ВИ. В зависимости от характера кровоснабжения очаговых или диффузных изменений паренхиматозных органов выделяют различные паттерны контрастирования, которые, как правило, отличаются от смежных неизменённых тканей. Получение изображений в артериальной фазе достигается путём проведения коротких последовательностей сразу после введения гадолинийсодержащих контрастных препаратов.

Основным методом является применение динамических мультифазовых 2D- или 3D-SGE последовательностей, которые могут быть использованы для анализа кривых интенсивности сигнала в зависимости от времени в интересующих зонах. Большинство патологических очаговых изменений лучше всего визуализируются именно в артериальную фазу контрастирования (например, фокальные изменения селезёнки, печени или поджелудочной железы). Изображения, полученные спустя

1,5–10 мин после введения контрастного препарата, находятся в равновесной фазе контрастирования с оптимальным окном 2–5 мин после инъекции. Как правило, спустя 5 мин после введения препарата говорят об отсроченной или экскреторной фазе. Многие воспалительные или опухолевые заболевания визуализируются лучше именно в эту фазу, а дополнительное использование функции подавления сигнала от жира способствует более точному выявлению этих изменений (например, импланты по брюшине, холангиокарцинома, воспалительные заболевания кишечника, а также объёмные образования надпочечников) [7–9].

Очевидно, что увеличение разницы интенсивности сигнала от патологических изменений на фоне неизменённых тканей способствует выявлению заболеваний: изменения, локализованные в жировой клетчатке, достаточно просто определить, варьируя интенсивность сигнала от жира на T1-ВИ и T2-ВИ. Например, фиброзные изменения или перитонеальная жидкость, которые имеют низкую интенсивность сигнала на T1-ВИ, проще идентифицировать на изображениях без подавления сигнала от жировой ткани. С другой стороны, изменения, которые имеют высокую интенсивность сигнала, например гематома в подострой стадии или жидкость с высокобелковым содержимым, проще визуализируются с использованием функции жироподавления.

Диффузионно-взвешенные изображения

Диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ) для построения изображений без необходимости введения экзогенных контрастных веществ основаны на различиях в движении молекул воды (диффузии) во внеклеточном и внутриклеточном пространстве. Данная методика позволяет проводить количественный и качественный анализ не только клеточной плотности, но и целостности клеточных мембран, следовательно, является формой функциональной оценки изображений [10], поэтому должна быть включена в стандартные протоколы сканирования органов брюшной полости и забрюшинного пространства (рис. 2, 3).

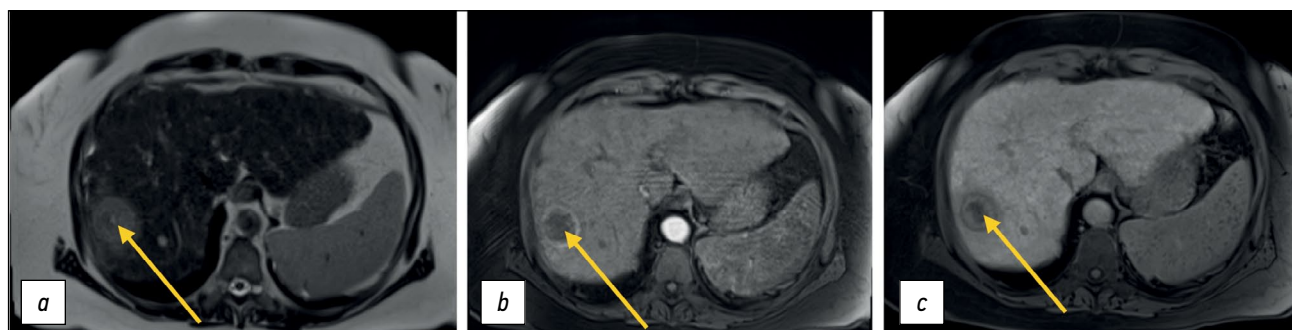


Рис. 1. Магнитно-резонансная томография печени с гепатоспецифическим контрастом. Узел гепатоцеллюлярного рака (стрелки): *a* — T2-взвешенное изображение: определяется узловое гиперинтенсивное образование; *b* — T1-взвешенное изображение, артериальная фаза: определяется кольцевидное накопление контрастного препарата; *c* — T1-взвешенное изображение, гепатоспецифическая фаза, полученная спустя 20 мин после введения контрастного препарата.

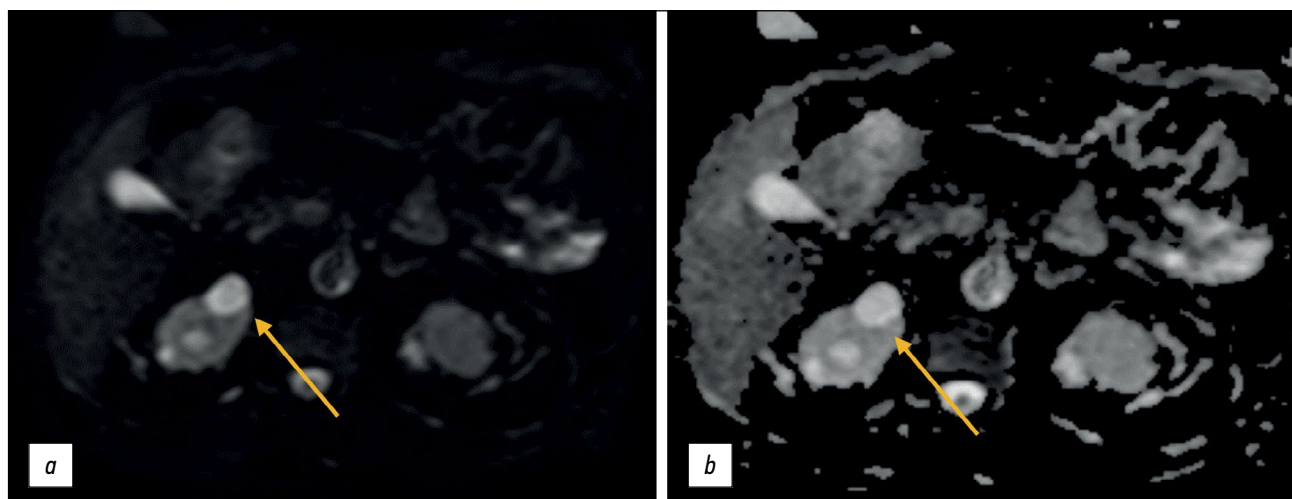


Рис. 2. Магнитно-резонансная томография органов брюшной полости, кортикальные простые кисты почки (стрелки): *a* — диффузионно-взвешенное изображение; *b* — карта измеряемого коэффициента диффузии. Ложное ограничение диффузии.

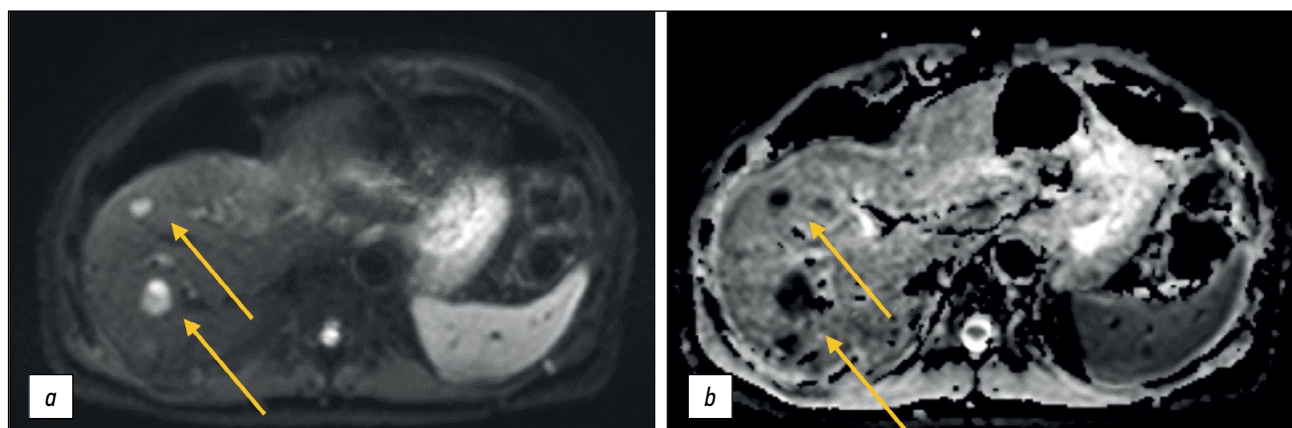


Рис. 3. Магнитно-резонансная томография органов брюшной полости, очаги вторичного генеза в печени (стрелки): *a* — диффузионно-взвешенное изображение; *b* — карта измеряемого коэффициента диффузии. Истинное ограничение диффузии.

Изначально ДВИ наиболее часто использовали в диагностике патологии головного мозга, прежде всего инсультов: изменения сигнала на данной импульсной последовательности позволяют диагностировать ишемические изменения задолго до того, как они становятся очевидными на T2-ВИ. На сегодняшний день благодаря разработке высокоамплитудных градиентов, многоканальных поверхностных катушек и параллельной визуализации ДВИ используют для диагностики различной экстракраниальной патологии [11].

Диффузия пропорциональна клеточной плотности и целостности клеточных мембран: ограничение диффузии наблюдается в тканях с повышенной клеточностью или уменьшением объема внеклеточной жидкости (например, в некоторых опухолях, абсцессах; рис. 4), а также при наличии цитотоксического отека. Относительно свободная диффузия наблюдается в тканях с низкой плотностью клеток или при повреждении их мембран, например в кистах или некротизированных тканях [12, 13].

Чувствительность ДВИ к движениям молекул воды можно варьировать путём изменения амплитуды

градиента, его длительности и временного интервала между парными градиентами. Для этого используется *b*-фактор, который пропорционален вышеописанным критериям. Молекулы воды с высокой степенью движения или большим расстоянием диффузии (например, во внутрисосудистом пространстве) демонстрируют затухание сигнала с малыми значениями *b*-фактора (например, $b = 50\text{--}100 \text{ мм}^2/\text{сек}$). Напротив, высокие значения *b*-фактора (например, $b = 1000 \text{ мм}^2/\text{сек}$) обычно используются для отображения медленно движущихся молекул воды или малых расстояний диффузии, поскольку они демонстрируют более медленное затухание сигнала (с увеличением значений *b*-фактора). Для корректной интерпретации ДВИ должны выполняться с использованием как минимум двух *b*-факторов: $b = 0 \text{ мм}^2/\text{сек}$ и $b = 100\text{--}1000 \text{ мм}^2/\text{сек}$, поскольку ДВИ, полученные с использованием *b*-фактора $= 0 \text{ мм}^2/\text{с}$, представляет собой T2-взвешенную последовательность. При низких значениях *b* (например, $200 \text{ мм}^2/\text{с}$ или меньше) измеряемый коэффициент диффузии зависит от тканевой перфузии и диффузии воды, а при увеличении *b*-фактора эффекты перфузии снижаются. В целом, чем выше *b*-фактор,

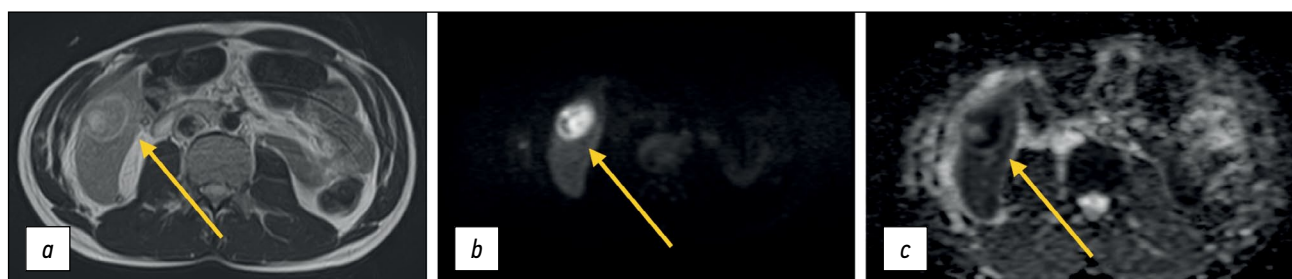


Рис. 4. Магнитно-резонансная томография органов брюшной полости, инкапсулированное объемное образование печени — абсцесс (стрелки): *a* — T2-взвешенное изображение; *b* — измеряемый коэффициент диффузии; *c* — карта измеряемого коэффициента диффузии.

тем более чувствительна последовательность к эффектам диффузии; кроме того, высокие значения *b*-фактора (например, 100–1000 мм²/сек) более оптимальны для подавления фонового сигнала [10, 14].

РУТИННЫЙ ПРОТОКОЛ СКАНИРОВАНИЯ

В большинстве случаев протокол сканирования органов брюшной полости включает T2-ВИ, пре- и постконтрастные T1-ВИ, в том числе с функцией жироподавления, ДВИ и МР-холангиопанкреатографию (МРХПГ). Данные последовательности позволяют с достаточно высокой точностью визуализировать изменения не только паренхиматозных и стенок полых органов, желчных протоков, но и изменения брюшины, органов забрюшинного пространства и клетчаточных пространств (табл. 2). Однако в зависимости от клинической ситуации, целей и задач исследования этот протокол может быть дополнен

или сокращён. По рекомендации Американской ассоциации радиологов (American College of Radiology, ACR), толщина среза не должна превышать 8 мм, расстояние между срезами — не более 2 мм, при этом предпочтительно использовать более тонкие срезы [15].

Стандартные T2-ВИ выполняются во фронтальной и аксиальной проекциях с использованием спинного эха. Данные последовательности имеют относительно длительное время сбора данных, но позволяют получить высокое соотношение «сигнал-шум». На фоне дыхания пациента, пульсации крупных сосудов и перистальтики кишечника рутинное использование данного подхода в абдоминальной радиологии ограничено. В таких случаях может проводиться синхронизация с дыханием, что увеличивает время сканирования (до 5–7 мин), при этом коррекция двигательной активности не является абсолютной: в большинстве случаев наблюдается эффект размывания на границе органов, что потенциально может затруднить

Таблица 2. Основные импульсные последовательности и их значение в диагностике патологии органов брюшной полости и забрюшинного пространства

Импульсная последовательность	Основное значение
T1 FS	Используется для распознавания изменений, состоящих преимущественно из жира или включающих жировую ткань или геморрагический компонент (например, ангиомиолипомы, тератомы, жировая дистрофия поджелудочной железы, кортикомедуллярная дифференцировка почек). Является обзорной при исследовании органов брюшной полости, используется при введении контрастных препаратов
T1 in-phase, out-of-phase	Используются для отображения изменённых тканей, когда в одном и том же вокселе наблюдается совокупность протонов жира и воды (жировая дистрофия печени, аденома надпочечника, гемохроматоз, гемосидероз). Дают информацию об аномально повышенном содержании жидкости или фиброзной ткани (кровоизлияние в подострой стадии, жир или высокобелковое содержимое)
T2, T2 FS	Используются для отображения повышенного количества серозной жидкости, гемангиом, билиарных гамартом, отёка тканей, кист с геморрагическим или высокобелковым содержимым, фиброзных изменений. В совокупности с out-of-phase T1 могут использоваться для детекции железа. Являются обзорными при исследовании органов брюшной полости
DWI	Первичные и вторичные опухоли органов брюшной полости и забрюшинного пространства, в т.ч. не визуализируемые на T1 и T2 (например, диссеминаты по брюшине)
MRCP	Оценка панкреатобилиарной системы (стриктуры, кистозные изменения внутрипечёночных желчных протоков, холедохолитиаз, кистозные изменения поджелудочной железы)

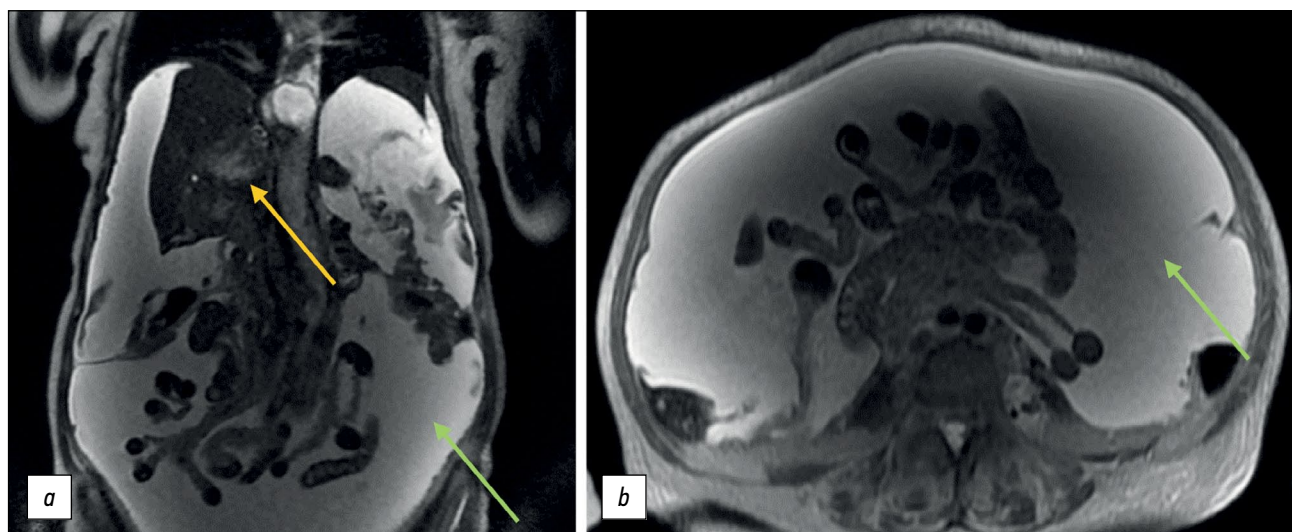


Рис. 5. Режим SSFSE: гепатоцеллюлярный рак с инвазией нижней полой вены (жёлтая стрелка), напряжённым асцитом (зелёная стрелка): *a* — корональная проекция; *b* — аксиальная проекция.

диагностику различной патологии. Именно поэтому в настоящее время T2-ВИ чаще получают с использованием Accelerated fast spin-echo, Single-shot accelerated fast spin-echo или Steady-state free precession последовательностей (рис. 5).

Изображения могут быть получены на задержке дыхания пациента или без неё. При использовании методики без задержки дыхания следует приложить все усилия для сведения к минимуму артефактов от дыхательных движений, используя множественные усреднения сигнала и/или респираторную компенсацию/триггер дыхания. Основным отличием от стандартного спинного эха является относительное снижение тканевого контраста, что потенциально может привести к диагностическим ошибкам, в особенности мелких изменений на фоне неизменной ткани паренхиматозного органа (например, гепатоцеллюлярная карцинома малых размеров). Тем не менее данный недостаток компенсируется T1-ВИ: как правило, данные участки имеют более длительное время T1 относительно неизменной ткани и хорошо визуализируются на нативных SGE-последовательностях или ранних (артериальных) постконтрастных изображениях в виде очаговых изменений со сниженным сигналом.

МРХПГ основана на модифицированной спин-эхо последовательности, где время TE составляет порядка 250–500 мс с получением «сильно-взвешенных» T2-изображений (heavily T2-weighted images). Удлинение TE приводит к «затемнению» мягких тканей, а жидкость, присутствующая в желчных протоках и протоках поджелудочной железы, используется в качестве «собственного» контрастного вещества.

Поскольку заполненные жидкостью структуры в брюшной полости имеют более длительное время релаксации T2, они выглядят гиперинтенсивными на фоне окружающих их мягких тканей. МРХПГ следует

выполнять до того, как контраст попадёт в желчные протоки (при использовании гепатоспецифических контрастных препаратов), так как гадолиний сокращает время T2, что приводит к ухудшению визуализации билиарной системы, поэтому МРХПГ выполняется до или не позже 5 мин после введения контрастного препарата (ДВИ, например, для экономии времени можно выполнять после введения контрастного вещества даже через 5 мин и более). Кроме того, для оптимальной визуализации может проводиться мультипланарная реконструкция полученных изображений (MPR, multiplanar reconstruction) и проекции максимальной интенсивности (MIP, maximum intensity projection).

T1-ВИ выполняют с использованием спин-эхо последовательностей (turbo spin-echo [TSE] or fast spin-echo [FSE]), хотя метод градиентного эха (SGE) обычно более предпочтителен, поскольку имеет гораздо более короткое время сбора данных.

Для более точной оценки стеатоза печени или признаков гемохроматоза в стандартный протокол сканирования должны быть также включены T1-ВИ, выполненные в фазе и противофазе. Кроме того, данная последовательность не менее информативна в диагностике аденомы надпочечника (рис. 6), светлоклеточного рака почки или жировой инфильтрации поджелудочной железы (рис. 7). Очевидно, что данные последовательности должны быть получены до введения контрастного вещества. Изображения вне фазы позволяют оценить потерю сигнала от жировой ткани и жиросодержащих образований, например аденомы печени или гепатоцеллюлярного рака. При этом золотым стандартом неинвазивной количественной оценки стеатоза печени является определение жировой фракции на последовательности, взвешенной по протонной плотности (proton density fat fraction, PDFF). Однако данная последовательность в рутинном протоколе не используется.

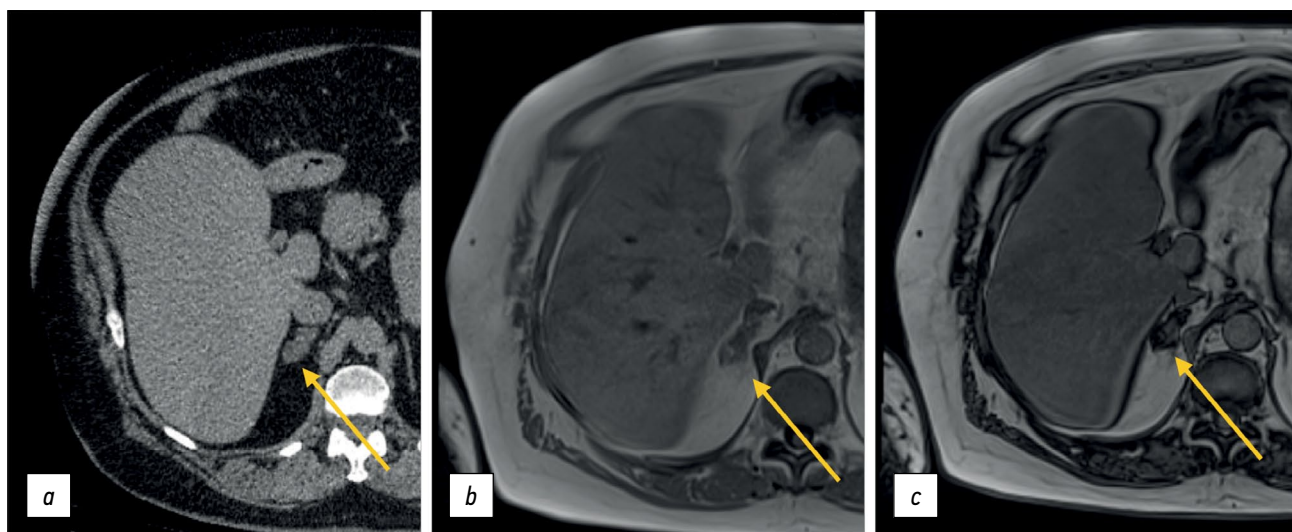


Рис. 6. Компьютерная томография органов брюшной полости, аксиальная проекция (a): определяется образование неоднородной плотности в правом надпочечнике (стрелка); магнитно-резонансная томография органов брюшной полости (b, c), в фазе (b; in phase), противофазе (c; opposed phase): определяется характерное выпадение сигнала от жирового компонента аденомы на противофазе (стрелки).

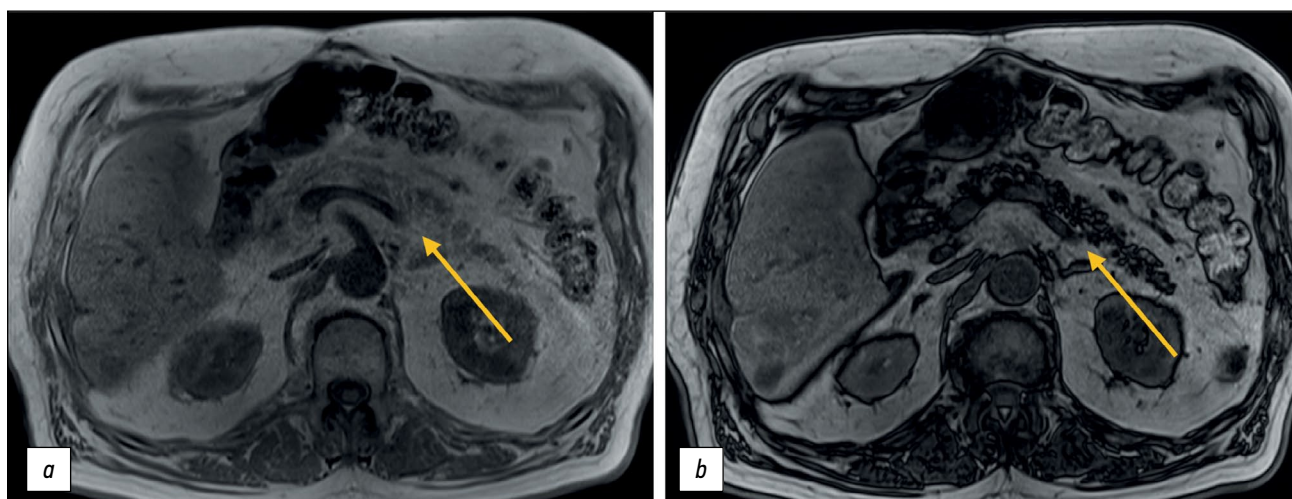


Рис. 7. Магнитно-резонансная томография органов брюшной полости, липоматоз поджелудочной железы (стрелки): a — фаза (in phase), b — противофаза (opposed phase). На opposed phase определяется выпадение сигнала от поджелудочной железы на фоне нормального сигнала от печени.

Динамические пре- и постконтрастные T1-ВИ получают с использованием 2D- или 3D-импульсных последовательностей [6], при этом использование 3D-последовательностей является более предпочтительным, так как минимизация толщины среза позволяет уменьшить артефакты усечения данных (truncation artifacts). Изначально 3D SGE последовательности использовали для визуализации сосудистой анатомии (МР-ангиография; рис. 8). В настоящее время данная техника широко используется для отображения мягкотканых структур брюшной полости и малого таза. Короткие значения TR и TE позволяют получать большое количество тонких срезов за одну задержку дыхания. Потенциальным ограничением данной последовательности является относительно невысокое соотношение «сигнал-шум», однако данный недостаток компенсируется использованием внутривенного контрастирования.

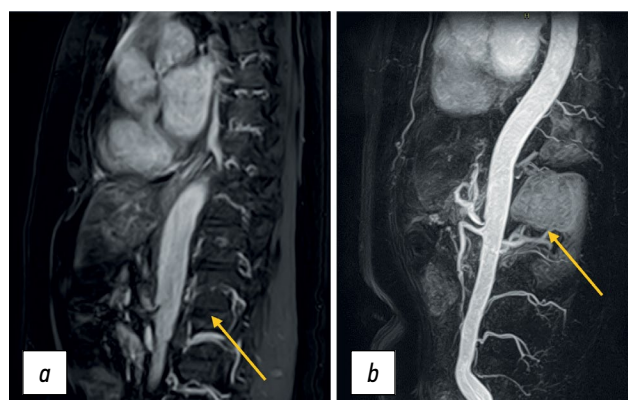


Рис. 8. Магнитно-резонансная артериография брюшной аорты и её ветвей с контрастным усилением. Экстравазальная компрессия чревного ствола ножками диафрагмы (стрелки): a — SSFE; b — с контрастным усилением в режиме 3D.

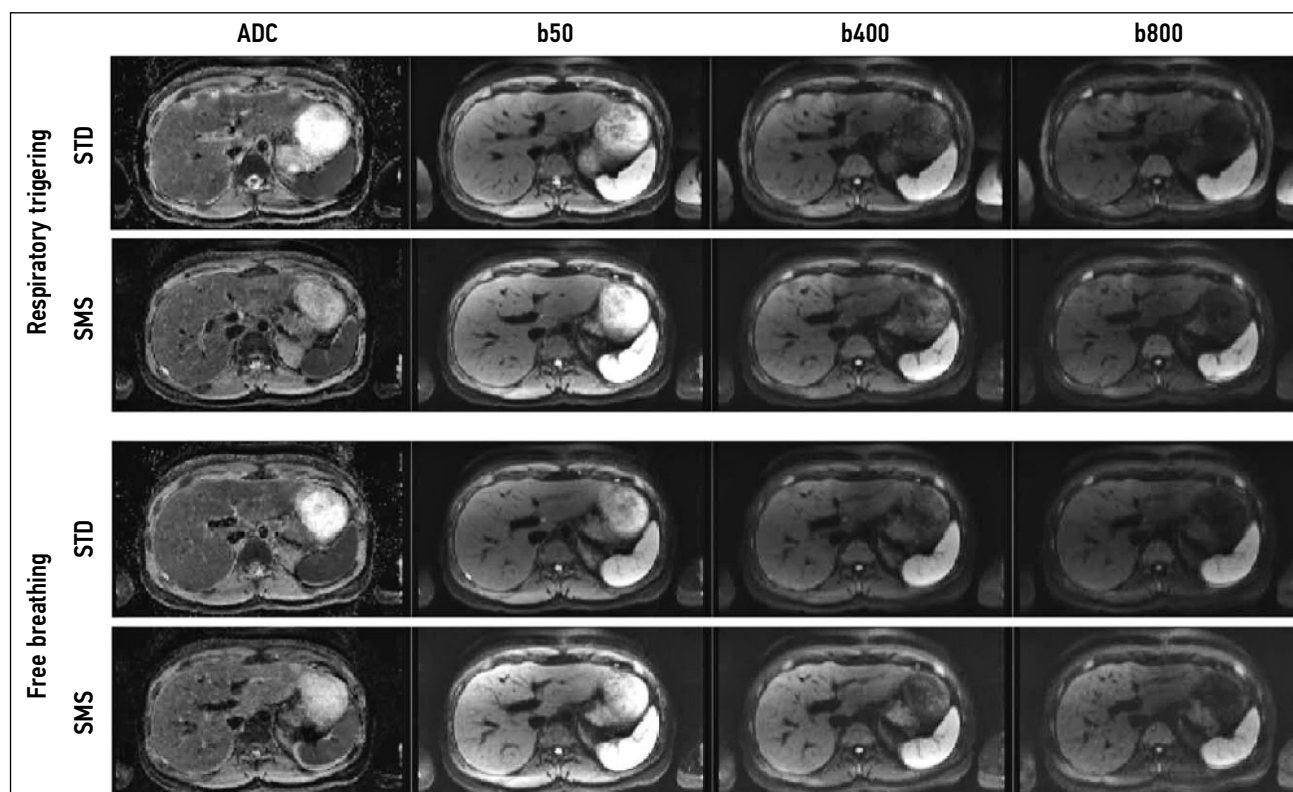


Рис. 9. Сравнение стандартных (STD DWI) и одновременных (SMS DWI) мультисрезовых диффузионно-взвешенных изображений на свободном дыхании (FB) и триггере дыхания (RT) с использованием различных b-факторов (50, 400, 800 с/мм²) и соответствующих измеряемых коэффициентов диффузии (ADC). Среднее время сканирования с использованием стандартных диффузионно-взвешенных изображений составило 10:30 мин (5:56–18:13), с использованием SMS-DWI — 3:29 мин (2:19–4:27) [16].

У неконтактных пациентов SGE могут выполняться без задержки дыхания: к таким последовательностям относят MP-RAGE (magnetization prepared rapid acquisition gradient) и Turbo FLASH (turbo-fast low angle shot). Ограничением данного подхода является относительно низкий T1-взвешенный тканевой контраст (при сравнении со стандартными SGE). Другим недостатком является невозможность использования данной методики для динамического контрастирования печени, особенно при получении ранней артериальной фазы: на получение одного среза требуется около 1,5 сек, поэтому разница во времени при сканировании верхних и нижних отделов печени не позволяет захватить все отделы в течении одной (артериальной) фазы. Напротив, стандартные SGE-последовательности, несмотря на чувствительность к движениям, имеют высокое временное разрешение для отображения нужного объема ткани.

ДВИ широко используются в абдоминальной радиологии. Наиболее часто применяются SS-EPI последовательности (single-shot echo-planar) на задержке дыхания или без неё. Для сокращения времени сканирования и более точного вычисления измеряемого коэффициента диффузии используется параллельный сбор данных, а современные методики позволяют получать ДВИ с высоким пространственным разрешением менее чем

за 1 мин сканирования (simultaneous multislice imaging, SMS DWI) [16] (рис. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

МРТ является одним из основных методов диагностики заболеваний органов брюшной полости и забрюшинного пространства, который позволяет с высокой диагностической точностью и воспроизводимостью визуализировать очаговые или диффузные изменения паренхиматозных и полых органов. Мультипараметрический протокол сканирования предоставляет информацию не только о взаимной топографии органов и их структуре, но и о функциональном состоянии тканей, что позволяет перейти от структурной к функциональной оценке изображений.

В большинстве случаев стандартный протокол сканирования органов брюшной полости включает в себя T1-ВИ, T2-ВИ, ДВИ, МРХПГ, при этом в зависимости от целей исследования и состояния пациента данный протокол может быть сокращён или дополнен.

В настоящее время существует большое количество различных импульсных последовательностей, а существующие технические разработки и достижения позволяют упростить процесс сканирования и сократить время на получение изображений, повышая при этом воспроизводимость методик в различных учреждениях

здравоохранения, даже среди пользователей с небольшим опытом работы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

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 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. Hussain S.M., Sorrell M.F. Liver MRI: Correlation with other imaging modalities and histopathology, second edition. Springer, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-06004-0
2. Runge V.M., Clanton J.A., Partain C.L., James A.E. Respiratory gating in magnetic resonance imaging at 0.5 Tesla // *Radiology*. 1984. Vol. 151, N 2. P. 521–523. doi: 10.1148/radiology.151.2.6709928
3. Bailes D.R., Gilderale D.J., Bydder G.M., et al. Respiratory ordered phase encoding (ROPE): A method for reducing respiratory motion artefacts in MR imaging // *J Comput Assist Tomogr*. 1985. Vol. 9, N 4. P. 835–838.
4. American College of Radiology [интернет-ресурс]. ACR-SAR-SPR practice parameter for the performance of magnetic resonance (MR) Enterography. Режим доступа: <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/MR-Enterog.pdf>. Дата обращения: 17.01.2023.
5. Semelka R.C., Kelekis N.L., Thomasson D., et al. HASTE MR imaging: Description of technique and preliminary results in the abdomen // *J Mag Reson Imaging*. 1996. Vol. 6, N 4. P. 698–699. doi: 10.1002/jmri.1880060420
6. Rofsky N.M., Lee V.S., Laub G., et al. Abdominal MR imaging with a volumetric interpolated breath-hold examination // *Radiology*. 1999. Vol. 212, N 3. P. 876–884. doi: 10.1148/radiology.212.3.r99se34876
7. Syrkashev E.M., Solopova A.E., Kulabukhova E.A. Magnetic resonance imaging in the diagnosis of peritoneal carcinomatosis indissemiated ovarian cancer // *Obstetrics Gynecology*. 2020. N 9. P. 38–47. doi: 10.18565/aig.2020.9.38-47
8. Vanderveen K.A., Hussain H.K. Magnetic resonance imaging of cholangiocarcinoma // *Cancer Imaging*. 2004. Vol. 4, N 2. P. 104–115. doi: 10.1102/1470-7330.2004.0018
9. Kilcoyne A., Kaplan J.L., Gee M.S. Inflammatory bowel disease imaging: Current practice and future directions // *World J Gastroenterol*. 2016. Vol. 22, N 3. P. 917–932. doi: 10.3748/wjg.v22.i3.917

10. Koh D.M., Collins D.J. Diffusion-weighted MRI in the body: Applications and challenges in oncology // *AJR Am J Roentgenol*. 2007. Vol. 188, N 6. P. 1622–1635. doi: 10.2214/AJR.06.1403
11. Abuladze L.R., Semenov D.S., Panina O.Y., Vasilev Y.A. Optimized biparametric magnetic resonance imaging protocol for prostate cancer detection // *Digit Diagnostics*. 2022. Vol. 3, N 3. P. 166–177. doi: 10.17816/dd108484
12. Thoeny H.C., De Keyser F. Extracranial applications of diffusion-weighted magnetic resonance imaging // *Eur Radiol*. 2007. Vol. 17, N 6. P. 1385–1393. doi: 10.1007/s00330-006-0547-0
13. Charles-Edwards E.M., De Souza N.M. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging and its application to cancer // *Cancer Imaging*. 2006. Vol. 6, N 1. P. 135–143. doi: 10.1102/1470-7330.2006.0021
14. Kele P.G., van der Jagt E.J. Diffusion weighted imaging in the liver // *World J Gastroenterol*. 2010. Vol. 16, N 13. P. 1567–1576. doi: 10.3748/wjg.v16.i13.1567
15. Monticciolo L., Podberesky D.J., Pollack M.S., et al. ACR-SAR-SPR practice parameter for the performance of magnetic resonance imaging (MRI) of the abdomen (Excluding the Liver). Semantic Scholar; 2015. Режим доступа: [https://www.semanticscholar.org/paper/ACR-%E2%80%93SAR-%E2%80%93SPR-PRACTICE-PARAMETER-FOR-THE-OF-\(-MRI-Monticciolo-Podberesky/7dc9771a1b5aaec215c99fd74ab5e659738cf4fd](https://www.semanticscholar.org/paper/ACR-%E2%80%93SAR-%E2%80%93SPR-PRACTICE-PARAMETER-FOR-THE-OF-(-MRI-Monticciolo-Podberesky/7dc9771a1b5aaec215c99fd74ab5e659738cf4fd). Дата обращения: 17.01.2023.
16. Taron J., Martirosian P., Erb M., et al. Simultaneous multislice diffusion-weighted MRI of the liver: Analysis of different breathing schemes in comparison to standard sequences // *J Magn Reson Imaging*. 2016. Vol. 44, N 4. P. 865–879. doi: 10.1002/jmri.25204

REFERENCES

1. Hussain SM, Sorrell MF. Liver MRI: Correlation with other imaging modalities and histopathology, second edition. Springer; 2015. doi: 10.1007/978-3-319-06004-0
2. Runge VM, Clanton JA, Partain CL, James AE. Respiratory gating in magnetic resonance imaging at 0.5 Tesla. *Radiology*. 1984;151(2):521–523. doi: 10.1148/radiology.151.2.6709928
3. Bailes DR, Gilderale DJ, Bydder GM, et al. Respiratory ordered phase encoding (ROPE): A method for reducing respiratory motion artefacts in MR imaging. *J Comput Assist Tomogr*. 1985;9(4):835–838.
4. American College of Radiology [online]. ACR-SAR-SPR practice parameter for the performance of magnetic resonance (MR)

- Enterography. Available from: <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/MR-Enterog.pdf>. Accessed: 17.01.2023.
5. Semelka RC, Kelekis NL, Thomasson D, et al. HASTE MR imaging: Description of technique and preliminary results in the abdomen. *J Mag Reson Imaging*. 1996;6(4):698–699. doi: 10.1002/jmri.1880060420
 6. Rofsky NM, Lee VS, Laub G, et al. Abdominal MR imaging with a volumetric interpolated breath-hold examination. *Radiology*. 1999;212(3):876–884. doi: 10.1148/radiology.212.3.r99se34876
 7. Syrkashev EM, Solopova A, Kulabukhova EA. Magnetic resonance imaging in the diagnosis of peritoneal carcinomatosis indissemiated ovarian cancer. *Obstetrics Gynecology*. 2020;(9):38–47. doi: 10.18565/aig.2020.9.38–47
 8. Vanderveen KA, Hussain HK. Magnetic resonance imaging of cholangiocarcinoma. *Cancer Imaging*. 2004;4(2):104–115. doi: 10.1102/1470-7330.2004.0018
 9. Kilcoyne A, Kaplan JL, Gee MS. Inflammatory bowel disease imaging: Current practice and future directions. *World J Gastroenterol*. 2016;22(3):917–932. doi: 10.3748/wjg.v22.i3.917
 10. Koh DM, Collins DJ. Diffusion-weighted MRI in the body: Applications and challenges in oncology. *AJR Am J Roentgenol*. 2007;188(6):1622–1635. doi: 10.2214/AJR.06.1403
 11. Abuladze LR, Semenov DS, Panina OY, Vasilev YA. Optimized biparametric magnetic resonance imaging protocol for

- prostate cancer detection. *Digit Diagnostics*. 2022;3(3):166–177. doi: 10.17816/dd108484
12. Thoeny HC, De Keyser F. Extracranial applications of diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Eur Radiol*. 2007;17(6):1385–1393. doi: 10.1007/s00330-006-0547-0
 13. Charles-Edwards EM, De Souza NM. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging and its application to cancer. *Cancer Imaging*. 2006;6(1):135–143. doi: 10.1102/1470-7330.2006.0021
 14. Kele PG, van der Jagt EJ. Diffusion weighted imaging in the liver. *World J Gastroenterol*. 2010;16(13):1567–1576. doi: 10.3748/wjg.v16.i13.1567
 15. Monticciolo L, Podberesky DJ, Pollack MS, et al. ACR-SAR-SPR practice parameter for the performance of magnetic resonance imaging (MRI) of the abdomen (Excluding the Liver). Semantic Scholar; 2015. Available from: [https://www.semanticscholar.org/paper/ACR-%E2%80%93SAR-%E2%80%93SPR-PRACTICE-PARAMETER-FOR-THE-OF-\(MRI-Monticciolo-Podberesky/7dc9771a1b5aacc215c99fd74ab5e659738cf4fd](https://www.semanticscholar.org/paper/ACR-%E2%80%93SAR-%E2%80%93SPR-PRACTICE-PARAMETER-FOR-THE-OF-(MRI-Monticciolo-Podberesky/7dc9771a1b5aacc215c99fd74ab5e659738cf4fd). Accessed: 17.01.2023.
 16. Taron J, Martirosian P, Erb M, et al. Simultaneous multislice diffusion-weighted MRI of the liver: Analysis of different breathing schemes in comparison to standard sequences. *J Magn Reson Imaging*. 2016;44(4):865–879. doi: 10.1002/jmri.25204

ОБ АВТОРАХ

* Сыркашев Егор Михайлович, к.м.н.;

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4043-907X>;
eLibrary SPIN: 1901-5364; e-mail: egorsrkshv@mail.ru

Кадырбердиева Фаина Залимхановна, к.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7787-3413>;
e-mail: k.faina1992@mail.ru

Абуладзе Лиля Руслановна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>;
eLibrary SPIN: 8640-9989; e-mail: AbuladzeLR@zdrav.mos.ru

Семенов Дмитрий Сергеевич,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;
eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: semenovds4@zdrav.mos.ru

Привалова Екатерина Геннадьевна, д.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9851-9390>;
eLibrary SPIN: 6546-5135; e-mail: e-privalova@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Egor M. Syrkashev, MD, Cand Sci (Med.);

address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4043-907X>;
eLibrary SPIN: 1901-5364; e-mail: egorsrkshv@mail.ru

Faina Z. Kadyrberdieva, MD, Cand Sci (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7787-3413>;
e-mail: k.faina1992@mail.ru

Liya R. Abuladze, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>;
eLibrary SPIN: 8640-9989; e-mail: AbuladzeLR@zdrav.mos.ru

Dmitriy S. Semenov;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;
eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: semenovds4@zdrav.mos.ru

Ekaterina G. Privalova, MD, Dr.Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9851-9390>;
eLibrary SPIN: 6546-5135; e-mail: e-privalova@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD112093>

Диагностика патологии и аномалии сосково-ареолярного комплекса: серия клинических случаев

Е.Н. Каранадзе¹, В.Е. Синицын², М.А. Каранадзе³¹ Клинико-диагностический центр МЕДСИ на Красной Пресне, Москва, Российская Федерация² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Медицинский научно-образовательный центр, Москва, Российская Федерация³ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Сосково-ареолярный комплекс — особая анатомическая и гистологическая структура. Вариабельность нормального строения, широкий спектр патологических процессов и сложность диагностической визуализации вызывают трудности у врачей лучевой диагностики и клиницистов.

Наиболее часто в диагностике патологии сосково-ареолярного комплекса используют ультразвуковую диагностику и маммографию. При неоднозначных результатах предшествующих методов и для оценки распространённости процесса применяют магнитно-резонансную томографию с внутривенным контрастированием.

Магнитно-резонансная томография молочной железы — наиболее чувствительный метод выявления особенностей строения, диагностики доброкачественных и злокачественных заболеваний, затрагивающих сосково-ареолярный комплекс. Магнитно-резонансная томография полезна в качестве дополнительного диагностического инструмента при неоднозначных результатах маммографии и ультразвукового исследования. Магнитно-резонансная томография позволяет визуализировать ретроареолярную зону, подходит для диагностики папиллом, аденом, болезни Педжета, протоковой карциномы *in situ* и инвазивного рака.

В статье дано описание клинических случаев диагностики патологии и аномалий сосково-ареолярного комплекса, что может быть полезно для врачей лучевой диагностики, гинекологов, клинических ординаторов.

Ключевые слова: клинический случай; рак молочной железы; сосково-ареолярный комплекс; маммография.

Как цитировать

Каранадзе Е.Н., Синицын В.Е., Каранадзе М.А. Диагностика патологии и аномалии сосково-ареолярного комплекса: серия клинических случаев // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 1. С. 51–60. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD112093>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD112093>

Diseases and abnormalities of the nipple-areolar complex: a case report series

Elena N. Karanadze¹, Valentin E. Sinitsyn², Mariia A. Karanadze³

¹ Clinical Diagnostic Center MEDSI on Krasnaya Presnya, Moscow, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, Medical Scientific and Educational Center, Moscow, Russian Federation

³ The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

The nipple-areolar complex is a specific anatomical and histological structure. Normal structure and pathological process variabilities and the complexity of diagnostic imaging cause difficulties for radiologists and physicians. Breast magnetic resonance imaging is highly sensitive for structural features and nipple-areolar complex cancer detection. Magnetic resonance imaging is a useful diagnostic tool when mammography and ultrasound findings are inconclusive. It allows visualization of the retroareolar region, suitable for the diagnosis of papillomas, adenomas, Paget's disease, ductal carcinoma in situ, and invasive ductal carcinoma.

This is a case report on identifying the pathology and anomalies of the nipple-areolar complex, which may benefit radiologists, gynecologists, and residents.

Keywords: case report, breast disease, nipple-areolar complex, mammography.

To cite this article

Karanadze EN, Sinitsyn VE, Karanadze MA. Diseases and abnormalities of the nipple-areolar complex: a case report series. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):51–60.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD112093>

Received: 26.10.2022

Accepted: 24.03.2023

Published: 03.04.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD112093>

乳头乳晕复合体的病理和异常的诊断： 一系列临床病例

Elena N. Karanadze¹, Valentin E. Sinitsyn², Mariia A. Karanadze³

¹ Clinical Diagnostic Center MEDSI on Krasnaya Presnya, Moscow, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, Medical Scientific and Educational Center, Moscow, Russian Federation

³ The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russian Federation

简评

乳头乳晕复合体是一种特殊的解剖学和组织学结构。正常结构的变异性、病理过程的广泛性和诊断成像的复杂性给放射科医生和临床医生带来困难。乳房磁共振成像是检测结构特征、诊断涉及乳头乳晕复合体的良性和恶性疾病的最灵敏方法。在乳腺钼靶和超声检查结果不明确的情况下，磁共振成像作为一种额外的诊断工具非常有用。磁共振成像允许看到乳腺后区，适合诊断乳头瘤、腺瘤、佩吉特氏病、导管原位癌和浸润性癌。

我们在这篇文章中描述了乳头乳晕复合体的病理和异常的临床病例，这可能会对放射科医生、妇科医生和临床住院医师有用。

关键词：临床病例，乳腺癌，乳头乳晕复合体，乳腺钼靶。

To cite this article

Karanadze EN, Sinitsyn VE, Karanadze MA. 乳头乳晕复合体的病理和异常的诊断：一系列临床病例. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):51–60.
DOI: <https://doi.org/10.17816/DD112093>

收到: 26.10.2022

接受: 24.03.2023

发布日期: 03.04.2023

АКТУАЛЬНОСТЬ

Сосково-ареолярный комплекс — область молочной железы, обладающая уникальными характеристиками. Комплекс состоит из различных клеток и специфических тканей, основной функцией которых является обеспечение оттока и секреции грудного молока во время лактации [1]. Сосково-ареолярный комплекс подвержен широкому спектру патологических состояний, включая аномалии развития, доброкачественные процессы (воспаление, инфекция, доброкачественные опухоли), а также инвазивные и неинвазивные виды рака [2].

Оценка сосково-ареолярного комплекса представляет собой сложную задачу для клиницистов и врачей лучевой диагностики. Патологические процессы в этой зоне часто имеют неспецифическую клиническую картину и рентгенологические признаки, что затрудняет и затягивает установление верного диагноза.

Дифференциальная диагностика поражений сосково-ареолярного комплекса начинается со сбора анамнеза, визуальной оценки кожи, патологических выделений из соска, ретракции, инверсии, пальпируемых образований и т.д.

В диагностике состояний сосково-ареолярного комплекса важную роль играет визуализация. Стандартная маммография и ультразвуковое исследование (УЗИ) имеют ряд ограничений. Особые сложности в интерпретации изображений создают подвижность, поверхностное расположение, различия по плотности структур молочной железы. На маммограммах трудно оценить ретроареолярную область, поэтому патология этой зоны часто остаётся незамеченной. По этой причине увеличивается значение магнитно-резонансной томографии (МРТ) в диагностике патологии сосково-ареолярного комплекса.

На этапе планирования хирургического лечения важно определить вовлечение сосково-ареолярного комплекса в опухолевый процесс. При распространении рака молочной железы на сосково-ареолярный

комплекс опухоль классифицируется как T4, что определяет стадию (прогноз) заболевания и делает невозможным сохранение соска при мастэктомии. С другой стороны, прецизионное определение границ опухоли при непоражённом сосково-ареолярном комплексе расширяет возможности органосохраняющих операций на молочной железе [3].

МРТ с контрастным усилением является наиболее чувствительным методом в диагностике рака молочной железы [4]. Показанием к проведению МРТ молочной железы являются противоречивые данные маммографии и УЗИ, стадирование рака молочной железы, оценка эффективности неoadъювантной химиотерапии, уточнение локализации патологического процесса при проведении биопсии [5]. МРТ молочной железы может быть полезна у пациенток с патологическими выделениями из соска в качестве дополнительного диагностического инструмента, когда обычная маммография и УЗИ не дают однозначных результатов [6].

ОПИСАНИЕ СЕРИИ СЛУЧАЕВ

Клинический случай 1

Пациентка, 59 лет, с жалобами на эрозивные изменения соска (рис. 1). Физикальный осмотр выявил эритему, эрозию и ретракцию соска. При УЗИ с использованием цветового доплеровского картирования в проекции соска определялся усиленный кровоток (рис. 2). При маммографии патологических изменений не выявлено. Для уточнения распространённости процесса выполнена МРТ молочных желёз с контрастированием. На ранней постконтрастной серии (рис. 3) и на MIP-изображениях (рис. 4) ретроареолярно выявлена зона сегментарного контрастирования, распространяющаяся от уровня соска до задних отделов молочной железы. В результате проведённой core-биопсии под контролем УЗИ с последующим иммуногистохимическим анализом выявлена болезнь Педжета соска в сочетании с внутритротоковой карциномой *in situ*



Рис. 1. Эрозивные изменения соска при болезни Педжета.

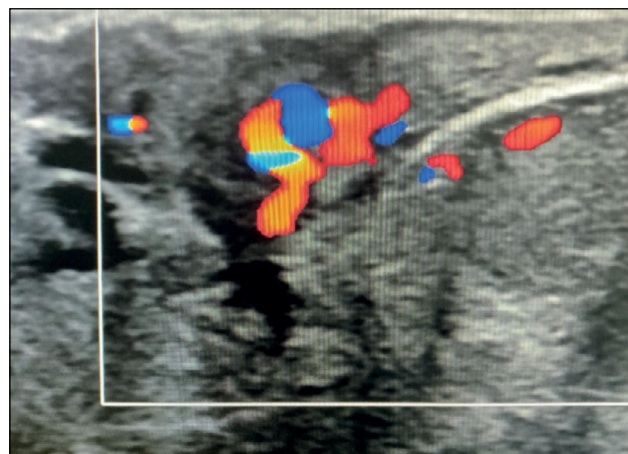


Рис. 2. Болезнь Педжета: усиление кровотока при цветовом доплеровском картировании.



Рис. 3. Болезнь Педжета на магнитно-резонансной томографии (фаза раннего контрастирования): ретроареоларно зона сегментарного контрастирования, распространяющаяся от уровня соска до задних отделов молочной железы (стрелка).

высокой степени злокачественности: рецепторы к эстрогену (G3 ER) и прогестерону (PR) — отрицательные, онкогенный белок Ki-67 — 45%.

Клинический случай 2

Пациентка, 38 лет, с жалобами на зуд правого соска в течение месяца, изменение цвета кожи. Результаты УЗИ и маммографии (рис. 5, 6) без особенностей. Выполнена МРТ молочных желёз с контрастированием. На ранней постконтрастной серии выявлено образование правого соска, гомогенно накапливающее контрастный препарат

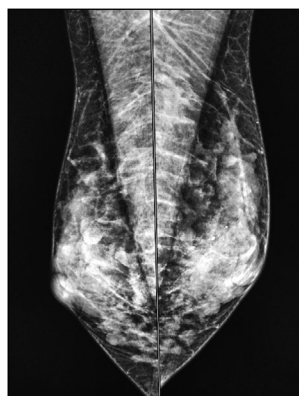


Рис. 5. Аденома соска: маммография (косая проекция, MLO).

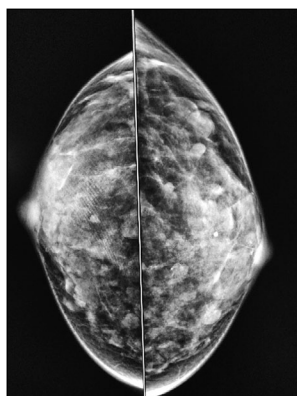


Рис. 6. Аденома соска: маммография (прямая проекция, CC).

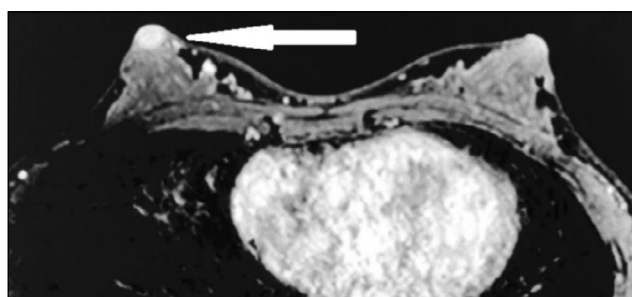


Рис. 7. Аденома соска на магнитно-резонансной томографии (ранняя постконтрастная серия): образование правого соска, гомогенно накапливающее контрастный препарат (стрелка).

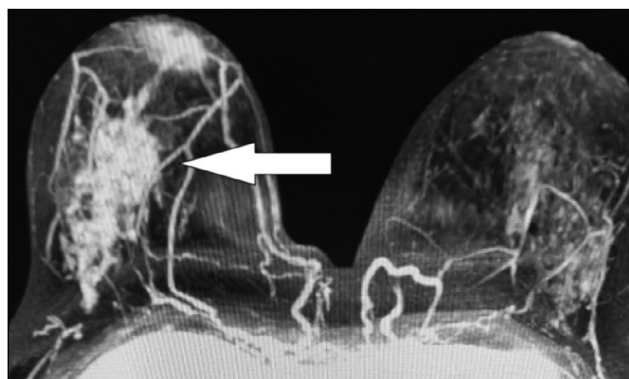


Рис. 4. Болезнь Педжета на магнитно-резонансной томографии (проекция максимальной интенсивности, MIP): ретроареоларно зона сегментарного контрастирования, распространяющаяся от уровня соска до задних отделов молочной железы (стрелка).

(рис. 7), на параметрической карте — образование соска с быстрым контрастным усилением и последующим сбросом, III тип графической кривой (рис. 8). При морфологической верификации диагностирована аденома соска.

Клинический случай 3

Пациентка, 43 года, жалоб нет. Выполнила МРТ молочных желёз для определения целостности имплантов. Случайной находкой явилась асимметрия контрастирования левого соска (рис. 9, 10). При динамическом наблюдении в течение 3 лет отрицательной динамики не выявлено.

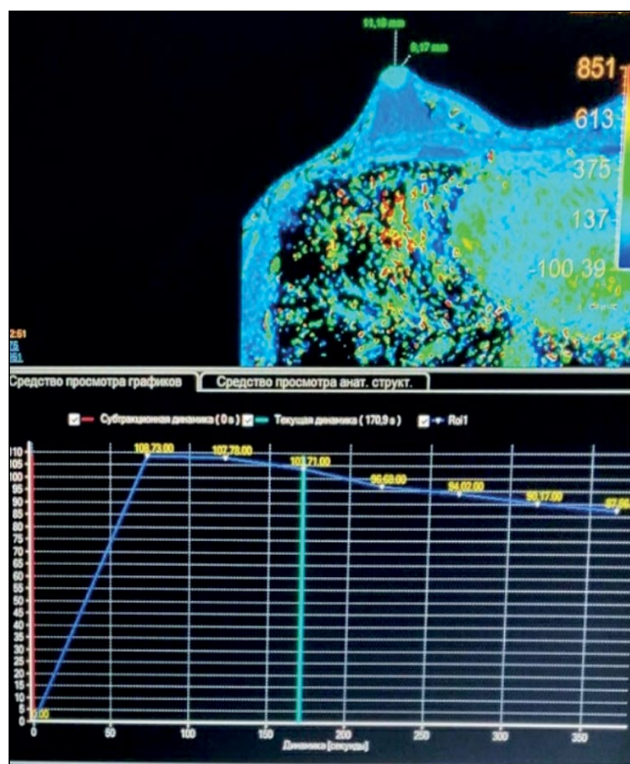


Рис. 8. Аденома соска на магнитно-резонансной томографии (параметрическая карта): образование правого соска с быстрым контрастным усилением и последующим сбросом, III тип графической кривой.

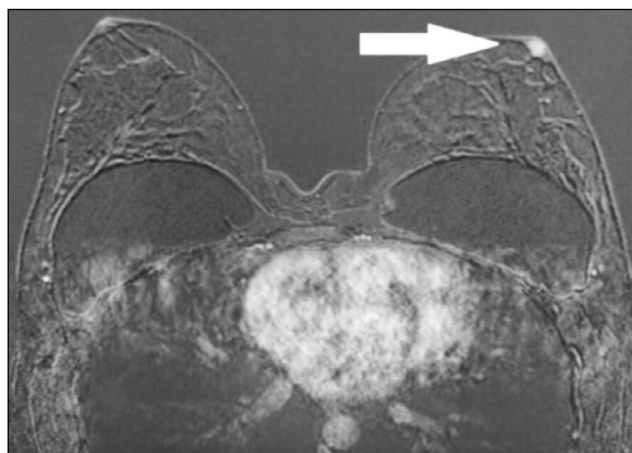


Рис. 9. Магнитно-резонансная томография (ранняя постконтрастная серия): асимметрия накопления контрастного препарата левого соска, норма (стрелка).

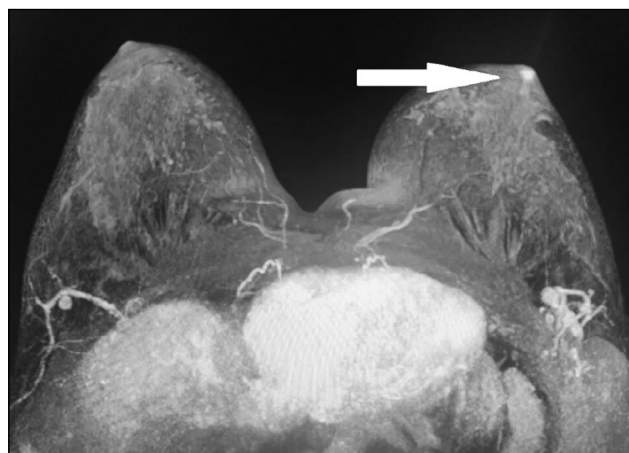


Рис. 10. Магнитно-резонансная томография (MIP): асимметрия накопления контрастного препарата левого соска, норма (стрелка).

Клинический случай 4

Пациентка, 38 лет, жалоб нет. При плановом медицинском осмотре выявлена инверсия левого соска. При УЗИ левой молочной железы патологии не выявлено (рис. 11). При МРТ с внутривенным контрастированием (рис. 12) — асимметричное накопление контрастного препарата, ретроареолярное образование, накапливающее контрастный препарат (инвертированный сосок), очаговой патологии молочной железы не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сосково-ареолярный комплекс представляет собой пигментированную область в наиболее выступающей части молочной железы, в которой сходятся млечные протоки, дренирующие 15–20 долей молочной железы [7]. Эта область молочной железы из-за её анатомической сложности [8], поверхностного расположения и подвижности требует особого внимания при клиническом осмотре и инструментальной визуализации.

Наиболее часто в клинической практике для диагностики патологии сосково-ареолярного комплекса используют

УЗИ и маммографию. При неоднозначных результатах предшествующих методов и для оценки распространённости процесса применяется МРТ с внутривенным введением контрастного препарата.

УЗИ имеет ряд преимуществ в исследовании сосково-ареолярного комплекса: в частности, метод широко доступен, не имеет ионизирующего излучения, обеспечивает хорошее пространственное разрешение ретроареолярной области, что позволяет выявлять в ней небольшие поражения [9].

Маммография — наиболее чувствительный метод для выявления кальцинатов. В сосково-ареолярном комплексе кальцификация встречается редко и обычно имеет доброкачественное происхождение (кожная, внутрипротоковый детрит, кальцификация жирового некроза и т.д.). Микрокальцинаты могут быть следствием внутрипротоковой карциномы, иногда — болезни Педжета [10]. Маммография менее чувствительна по сравнению с УЗИ в оценке ретроареолярной области, что связано с большей плотностью и подвижностью этой части молочной железы [11].

При проведении маммографии большое значение имеет правильная укладка молочной железы [10].

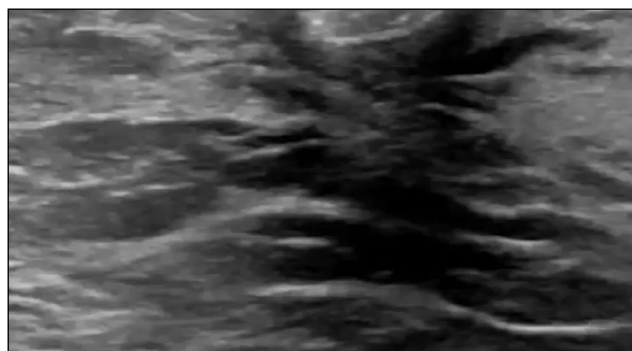


Рис. 11. Ультразвуковое исследование левой молочной железы при инверсии соска.

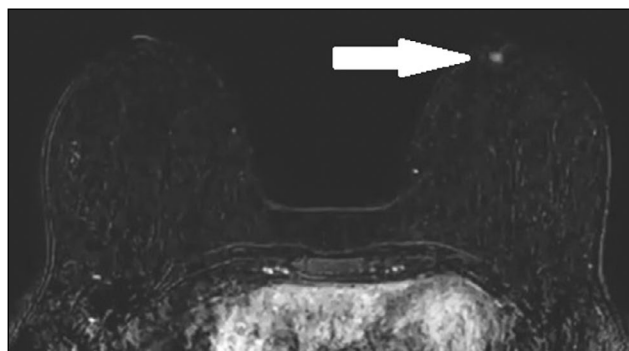


Рис. 12. Магнитно-резонансная томография (субтракция): ретроареолярное образование, накапливающее контрастный препарат (инвертированный сосок, стрелка).

Принципиально тангенциальное расположение соска как минимум в одной проекции, в идеале — как в краиниокаудальной, так и медиолатеральной проекциях. У пациенток с втянутыми сосками (вариант нормы) соски должны быть тангенциальными и симметричными.

Динамическая МРТ с контрастным усилением является наиболее чувствительным методом диагностики заболеваний молочной железы. При злокачественных опухолях молочной железы МРТ даёт ценную информацию о распространённости процесса, помогает спланировать лечение и определить прогноз [12]. При оценке опухолевого поражения сосково-ареолярного комплекса МРТ обладает высокой чувствительностью (90–100%), умеренной специфичностью (80–90%) и высокой отрицательной прогностической ценностью (98%) [3], что позволяет окончательно установить диагноз при неоднозначных результатах маммографии и УЗИ и стёртой клинической симптоматике [13]. Преимущества МРТ заключаются в высокой разрешающей способности и возможности выполнения динамического контрастного усиления. Асимметричное неоднородное раннее и интенсивное накопление контраста с последующим его выведением может быть признаком злокачественного новообразования [14]. МРТ нужна на этапе предоперационного планирования, в аспекте распространения мастэктомии с сохранением сосков в лечении пациенток с раком молочной железы [15–17]. Наконец, МРТ полезна как дополнение к маммографии и ультразвуку в диагностике патологических выделений из соска и проведения чрескожной биопсии [18].

Нами описан клинический случай диагностики болезни Педжета при ложноотрицательном результате маммографии. МРТ с внутривенным введением контраста позволила оценить истинную распространённость процесса. Болезнь Педжета составляет от 1 до 3% всех карцином молочной железы. Представляет собой наличие неопластических клеток в эпидермисе соска [19]. Клинически проявляется эритемой, эрозией и изъязвлением соска, что иногда сочетается с пальпируемым ретроареолярным образованием и/или втяжением или выделением из соска. Дифференциальную диагностику следует проводить с атопическим или контактным дерматитом, злокачественной меланомой, карциномой из клеток Меркеля, грибовидным микозом, аденомой соска и протоковой экзокринной карциномой. Для окончательного диагноза, как и в нашем случае, требуется биопсия кожи и иммуногистохимическое исследование.

Методы визуализации имеют определяющее значение, поскольку в 90% случаев болезнь Педжета сочетается с протоковой карциномой *in situ* или инвазивным раком [13, 20]. При первичной маммографии важно оценивать изображения с увеличением сосково-ареолярного комплекса и передней трети молочной железы. Могут определяться утолщение кожи, ретроареолярное образование или плеоморфные микрокальцинаты. Ультразвуковая картина не имеет характерных признаков, возможно

выявление расширенных субареолярных протоков, кальцинатов, изменений соска.

Важно отметить, что в 22–71% случаев маммография даёт ложноотрицательный результат [21], в таком случае с целью выявления патологии и определения распространённости процесса назначается МРТ молочных желёз [20]. Характерные МРТ-признаки включают асимметрию, утолщение, уплощение, ретракцию сосково-ареолярного комплекса, а также неравномерное накопление контраста в этой области. МРТ позволяет оценить структуры, окружающие молочную железу и подмышечные лимфоузлы.

Клинический случай 2 демонстрирует сложности диагностического поиска при аденоме соска. В описанном примере УЗИ и маммография не выявили патологии, и только МРТ с последующей биопсией позволили установить верный диагноз. Аденома соска (эрозивный аденоматоз или субареолярный папилломатоз) — это редкий вариант внутрипротоковой папилломы. Клинически проявляется небольшим пальпируемым узелком под кожей соска, который обычно сопровождается воспалительными изменениями в соске (боль, покраснение и отёк). Вовлечение кожи происходит в результате роста железистого эпителия по направлению к поверхности кожи. Кожные проявления сходны с болезнью Педжета, плоскоклеточным раком, экземой, псориазом или инфекцией. «Золотым стандартом» для установления окончательного диагноза является гистологическая верификация. Маммография и УЗИ, как правило, не дают ценной информации. При УЗИ может определяться гипоехогенный узел в соске или субареолярной области [22].

Клинические случаи 3 и 4 доказывают, что асимметричное накопление контрастного препарата при МРТ не обязательно является признаком патологического процесса. В норме на МРТ оба соска накапливают контраст с одинаковой скоростью и интенсивностью. Однако возможны нормальные варианты асимметрии сосков: это может быть связано с особенностями анатомии сосково-ареолярного комплекса, размером молочных желёз, компрессией и трением молочных желёз одеждой, вариантами кровоснабжения, местным воспалением [12]. Накопление контрастного препарата в структурах сосково-ареолярного комплекса имеет физиологические особенности и различия. Тонкое кольцо усиления обычно симметрично в обеих молочных железах; иногда усиление асимметрично на ранней стадии, становясь симметричным на более поздних фазах. В исследовании 530 нормальных сосков у 265 бессимптомных женщин на T1-взвешенных изображениях сосково-ареолярного комплекса Y. Gao и соавт. [12] описали три области усиления.

Инверсия соска (встречается у 4% женщин и мужчин) — это доброкачественное состояние, связанное с недостаточной способностью мезенхимальной ткани удерживать сосок в нужном положении [12]. Сосок имеет выпуклую форму у 75% женщин, плоскую — у 23%, втянутую — у 2%. Для оценки морфологии и симметрии

сосково-ареолярного комплекса хорошо подходят изображения МР. На постконтрастных изображениях сосок должен быть гипо- или изоинтенсивным по сравнению с усиленной паренхиматозной тканью на заднем плане [12].

Инверсия, ретракция и асимметрия сосков встречаются в норме, но могут быть и признаком патологического процесса. В дифференциальной диагностике обычно помогают тщательный сбор анамнеза, сравнение с результатами предыдущих исследований и динамическое наблюдение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анатомическая сложность сосково-ареолярного комплекса требует особого мультимодального подхода к диагностике патологии этой зоны. Зачастую патологические процессы имеют неспецифические клинические и рентгенологические проявления, что может затруднить постановку диагноза. Методы визуализации играют важную роль в этом процессе. Клиницисты и врачи лучевой диагностики должны знать плюсы и минусы и уметь интерпретировать результаты различных модальностей. Для постановки точного диагноза важно комплексно оценивать клинические, рентгенологические и гистологические данные. Описанные клинические случаи являются примером асимметричных изменений сосково-ареолярного комплекса в норме и при патологии.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stone K., Wheeler A. A review of anatomy, physiology, and benign pathology of the nipple // *Ann Surg Oncol*. 2015. Vol. 22, N 10. P. 3236–3240. doi: 10.1245/s10434-015-4760-4
2. Reisenbichler E., Hanley K.Z. Seminars in diagnostic pathology developmental disorders and malformations of the breast // *Semin Diagn Pathol*. 2019. Vol. 36, N 1. P. 11–15. doi: 10.1053/j.semdp.2018.11.007
3. Liao C.Y., Wu Y.T., Wu W.P., et al. Role of breast magnetic resonance imaging in predicting malignant invasion of the nipple-areolar complex: Potential predictors and reliability between inter-observers // *Medicine (Baltimore)*. 2017. Vol. 96, N 28. P. e7170. doi: 10.1097/MD.00000000000007170
4. Milon A., Wahab C.A., Kermarrec E., et al. Breast MRI: Is faster better? // *AJR Am J Roentgenol*. 2020. Vol. 214, N 2. P. 282–295. doi: 10.2214/AJR.19.21924
5. Acrpractice parameter for the performance of contrast-enhanced magnetic resonance imaging (MRI) of the breast. ACoR,

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: В.Е. Синицын — концепция и дизайн работы, редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи; Е.Н. Каранадзе — концепция и дизайн работы, анализ данных, написание текста статьи, редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи; М.А. Каранадзе — написание текста статьи, редактирование.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов 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. V.E. Sinitsyn — concept and design of the work, editing and approval the final version of the manuscript; E.N. Karanadze — concept and design of the work, data analysis, writing the text of the article, editing and approval the final version of the manuscript; M.A. Karanadze — writing the text of the article, editing.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript in Digital Diagnostics journal.

2018. Режим доступа: <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/MR-Contrast-Breast.pdf>. Дата обращения: 15.01.2023.

6. Lee S.J., Trikha S., Moy L., et al. ACR appropriateness criteria evaluation of nipple discharge // *J Am Coll Radiol*. 2017. Vol. 14, N 5s. P. 138–153. doi: 10.1016/j.jacr.2017.01.030
7. Ferris-James D.M., Iuanow E., Mehta T.S., et al. Imaging approaches to diagnosis and management of common ductal abnormalities // *Radiographics*. 2012. Vol. 32, N 4. P. 1009–1030. doi: 10.1148/rg.324115150
8. Del Riego J., Pitarch M., Codina C., et al. Multimodality approach to the nipple-areolar complex: A pictorial review and diagnostic algorithm // *Insights Imaging*. 2020. Vol. 11, N 4. P. 89. doi: 10.1186/s13244-020-00896-1
9. Yoon J.H., Yoon H., Kim E.K., et al. Ultrasonographic evaluation of women with pathologic nipple discharge // *Ultrasonography*. 2017. Vol. 36, N 4. P. 310–320. doi: 10.14366/usb.17013

10. Huppe A.I., Overman K.L., Gatewood J.B., et al. Mammography positioning standards in the digital era: Is the status quo acceptable? // *AJR Am J Roentgenol.* 2017. Vol. 209, N 6. P. 1419–1425. doi: 10.2214/AJR.16.17522
11. Horvat J.V., Keating D.M., Rodrigues-Duarte H., et al. Calcifications at digital breast tomosynthesis: imaging features and biopsy techniques // *Radiographics.* 2019. Vol. 39, N 2. P. 307–318. doi: 10.1148/rg.2019180124
12. Gao Y., Brachtel E.F., Hernandez O., Heller S.L. An analysis of nipple enhancement at breast MRI with radiologic-pathologic correlation // *Radiographics.* 2019. Vol. 39, N 1. P. 10–27. doi: 10.1148/rg.2019180039
13. Lim H.S., Jeong S.J., Lee J.S., et al. Paget disease of the breast: Mammographic, US, and MR Imaging findings with pathologic correlation // *Radiographics.* 2011. Vol. 31, N 7. P. 1973–1987. doi: 10.1148/rg.317115070
14. Geffroy D., Doutriaux-Dumoulin I. Clinical abnormalities of the nipple-areola complex: The role of imaging // *Diagn Interv Imaging.* 2015. Vol. 96, N 10. P. 1033–1044. doi: 10.1016/j.diii.2015.07.001
15. Moon J.Y., Chang Y.W., Lee E.H., Seo D.Y. Malignant invasion of the nipple-areolar complex of the breast: Usefulness of breast MRI // *AJR Am J Roentgenol.* 2013. Vol. 201, N 2. P. 448–455. doi: 10.2214/AJR.12.9186
16. Максимов Д.А., Сергеев А.Н., Морозов А.М., и др. О современных видах хирургического лечения рака молочной

- железы (обзор литературы) // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.* 2021. № 1. С. 7–13. doi: 10.24412/2075-4094-2021-1-1-1
17. Зикиряходжаев А.Д., Волченко Н.Н., Сарибекян Э.К., Рассказова Е.А. Поражение сосково-ареолярного комплекса при раке молочной железы // *Вопросы онкологии.* 2017. Т. 63, № 4. С. 593–597.
18. Левчук А.Л., Ходырев С.А., Шабаетов Р.М. Современное состояние реконструктивно-восстановительной хирургии молочных желёз // *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* 2021. Т. 16, № 2. С. 122–127. doi: 10.25881/20728255-2021-16-2-122
19. Berger N., Luparia A., Di Leo G., et al. Diagnostic performance of MRI versus galactography in women with pathologic nipple discharge: A systematic review and meta-analysis // *AJR Am J Roentgenol.* 2017. Vol. 209, N 2. P. 465–471. doi: 10.2214/AJR.16.16682
20. Sripathi S., Ayachit A., Kadavigere R., et al. Spectrum of imaging findings in Paget's disease of the breast: A pictorial review // *Insights Imaging.* 2015. Vol. 6, N 4. P. 419–429. doi: 10.1007/s13244-015-0415-z
21. Da Costa D., Taddese A., Cure M.L., et al. Common and unusual diseases of the nipple-areolar complex // *Radiographics.* 2007. Vol. 27, Suppl. 1. P. S65–S77. doi: 10.1148/rg.27si075512
22. Alhaya S.T., Edirimanne S. Clinically challenging case of nipple adenoma // *Breast J.* 2018. Vol. 24, N 6. P. 1084–1085. doi: 10.1111/tbj.13089

REFERENCES

1. Stone K, Wheeler A. A Review of anatomy, physiology, and benign pathology of the nipple. *Ann Surg Oncol.* 2015;22(10):3236–3240. doi: 10.1245/s10434-015-4760-4
2. Reisenbichler E, Hanley KZ. Seminars in diagnostic pathology developmental disorders and malformations of the breast. *Semin Diagn Pathol.* 2019;36(1):11–15. doi: 10.1053/j.semmp.2018.11.007
3. Liao CY, Wu YT, Wu WP, et al. Role of breast magnetic resonance imaging in predicting malignant invasion of the nipple-areolar complex: Potential predictors and reliability between inter-observers. *Medicine (Baltimore).* 2017;96(28):e7170. doi: 10.1097/MD.00000000000007170
4. Milon A, Wahab CA, Kermarrec E, et al. Breast MRI: Is faster better? *AJR Am J Roentgenol.* 2020;214(2):282–95. doi: 10.2214/AJR.19.21924
5. Acrpractice parameter for the performance of contrast-enhanced magnetic resonance imaging (MRI) of the breast. ACR; 2018. Available from: <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/MR-Contrast-Breast.pdf>. Accessed: 15.01.2023.
6. Lee SJ, Trikha S, Moy L, et al. ACR appropriateness criteria evaluation of nipple discharge. *J Am Coll Radiol.* 2017;14(5s):S138–53. doi: 10.1016/j.jacr.2017.01.030
7. Ferris-James DM, Iuanow E, Mehta TS, et al. Imaging approaches to diagnosis and management of common ductal abnormalities. *Radiographics.* 2012;32(4):1009–1030. doi: 10.1148/rg.324115150
8. Del Riego J, Pitarch M, Codina C, et al. Multimodality approach to the nipple-areolar complex: A pictorial review and diagnostic algorithm. *Insights Imaging.* 2020 5;11(1):89. doi: 10.1186/s13244-020-00896-1
9. Yoon JH, Yoon H, Kim EK, et al. Ultrasonographic evaluation of women with pathologic nipple discharge. *Ultrasonography.* 2017;36(4):310–320. doi: 10.14366/usg.17013
10. Horvat JV, Keating DM, Rodrigues-Duarte H, et al. Calcifications at digital breast tomosynthesis: Imaging features and biopsy techniques. *Radiographics.* 2019;39(2):307–318. doi: 10.1148/rg.2019180124
11. Huppe AI, Overman KL, Gatewood JB, et al. Mammography positioning standards in the digital era: Is the status quo acceptable? *AJR Am J Roentgenol.* 2017;209(6):1419–1425. doi: 10.2214/AJR.16.17522
12. Gao Y, Brachtel EF, Hernandez O, Heller SL. An analysis of nipple enhancement at breast MRI with radiologic-pathologic correlation. *Radiographics.* 2019;39(1):10–27. doi: 10.1148/rg.2019180039
13. Lim HS, Jeong SJ, Lee JS, et al. Paget disease of the breast: Mammographic, US, and MR Imaging findings with pathologic correlation. *Radiographics.* 2011;31(7):1973–1987. doi: 10.1148/rg.317115070
14. Geffroy D, Doutriaux-Dumoulin I. Clinical abnormalities of the nipple-areola complex: The role of imaging. *Diagn Interv Imaging.* 2015;96(10):1033–1044. doi: 10.1016/j.diii.2015.07.001
15. Moon JY, Chang YW, Lee EH, Seo DY. Malignant invasion of the nipple-areolar complex of the breast: Usefulness of breast MRI. *AJR Am J Roentgenol.* 2013;201(2):448–455. doi: 10.2214/AJR.12.9186
16. Maksimov DA, Sergeev AN, Morozov AM, et al. About modern types of surgical treatment for breast cancer (literature review). *Journal of new medical technologies, eEdition.* 2021;(1):7–13. (In Russ). doi: 10.24412/2075-4094-2021-1-1-1
17. Zikiryakhodzaev AD, Volchenko NN, Saribekyan EK, Rasskazova EA. Lesion of the nipple-areola complex in patients with breast cancer. *Problems in oncology.* 2017;63(4):593–597. (In Russ).
18. Levchuk AL, Khodyrev SA, Shabaev RM. Current state of breast reconstructive surgery. *Bulletin of Pirogov National*

Medical & Surgical Center. 2021;16(2):122–127. (In Russ). doi: 10.25881/20728255-2021-16-2-122

19. Berger N, Luparia A, Di Leo G, et al. Diagnostic performance of MRI versus galactography in women with pathologic nipple discharge: A systematic review and meta-analysis. *AJR Am J Roentgenol.* 2017;209(2):465–471. doi: 10.2214/AJR.16.16682

20. Sripathi S, Ayachit A, Kadavigere R, et al. Spectrum of imaging findings in Paget's disease of the breast: A

pictorial review. *Insights Imaging.* 2015;6(4):419–429. doi: 10.1007/s13244-015-0415-z

21. Da Costa D, Taddese A, Cure ML, et al. Common and unusual diseases of the nipple-areolar complex. *Radiographics.* 2007;27(Suppl. 1):S65–S77. doi: 10.1148/rg.27si075512

22. Alhaya ST, Edirimanne S. Clinically challenging case of nipple adenoma. *Breast J.* 2018;24(6):1084–1085. doi: 10.1111/tbj.13089

ОБ АВТОРАХ

* **Каранадзе Елена Николаевна**, к.м.н.;

адрес: Россия, 123242, Москва, ул. Красная Пресня, д. 16;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5147-4095>;

e-mail: ekaranadze@mail.ru

Синицын Валентин Евгеньевич, д.м.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>;

eLibrary SPIN: 8449-6590; e-mail: info@npcmr.ru

Каранадзе Мария Алексеевна;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1723-6796>;

e-mail: ekaranadze@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Elena N. Karanadze**, MD, Cand. Sci. (Med.);

address: 16 Krasnaya Presnia street, 123242 Moscow, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>;

e-mail: ekaranadze@mail.ru

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>;

eLibrary SPIN: 8449-6590; e-mail: info@npcmr.ru

Mariia A. Karanadze, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1723-6796>;

e-mail: ekaranadze@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD227288>

Магнитно-резонансная томография в диагностике некроза низведённого сегмента толстой кишки после брюшно-анальной резекции прямой кишки по поводу рака

С.А. Мялина¹, К.И. Пазюк², Т.П. Березовская¹, А.А. Невольских^{1, 2},
А.Л. Потапов¹, С.А. Иванов^{1, 2, 3}

¹ Национальный медицинский исследовательский центр радиологии, Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф. Цыба, Обнинск, Российская Федерация

² Обнинский институт атомной энергетики — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Обнинск, Российская Федерация

³ Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

В работе представлен случай некроза низведённой толстой кишки после брюшно-анальной резекции прямой кишки, для диагностики которого была использована магнитно-резонансная томография.

Пациенту (мужчина, 47 лет) в ходе комбинированного лечения местно-распространённого рака прямой кишки выполнена лапароскопически ассистированная брюшно-анальная резекция прямой кишки с формированием колопластического резервуара и трансверзостомы. Послеоперационный период осложнился развитием синдрома воспалительной реакции. На 3-й послеоперационный день методом магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением выявлен отёк 15-сантиметрового сегмента низведённой толстой кишки до колоанального анастомоза с резко ослабленным контрастированием; при ректоскопии изменений не выявлено. На 6-й послеоперационный день методом магнитно-резонансной томографии обнаружен дефект передней стенки колопластического резервуара с формированием пристеночной воздушной полости, при ректоскопии — признаки некроза стенки кишки. На 10-й послеоперационный день картина магнитно-резонансной томографии без динамики. В связи с нарастающими признаками воспаления выполнена релапаротомия с разобщением анастомоза и резекцией некротизированного сегмента кишки.

Ишемия низведённой толстой кишки после операций на прямой кишке является редким, но крайне серьёзным осложнением. Наше клиническое наблюдение демонстрирует возможности магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением в качестве неинвазивного метода динамического наблюдения пациентов с осложнённым послеоперационным периодом с целью ранней диагностики ишемии и дефектов стенки кишки, что способствует принятию верной тактики ведения пациента.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; рак прямой кишки; брюшно-анальная резекция прямой кишки; диагностика послеоперационных осложнений; ишемия толстой кишки; некроз толстой кишки; клинический случай.

Как цитировать

Мялина С.А., Пазюк К.И., Березовская Т.П., Невольских А.А., Потапов А.Л., Иванов С.А. Магнитно-резонансная томография в диагностике некроза низведённого сегмента толстой кишки после брюшно-анальной резекции прямой кишки по поводу рака // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 1. С. 61–69. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD227288>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD227288>

Magnetic resonance imaging in the diagnosis of necrosis of a pulled-through colon segment after abdomino-anal resection of the rectum for cancer

Sofiya A. Myalina¹, Ksenia I. Paziuk², Tatiana P. Berezovskaya¹, Alexey A. Nevolskikh^{1,2}, Aleksandr L. Potapov¹, Sergey A. Ivanov^{1,2,3}

¹ National Medical Research Radiological Center, A. Tsyb Medical Radiological Research Centre, Obninsk, Russian Federation

² Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering — National Research Nuclear University MEPhI, Obninsk, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

This study presents a case of necrosis of the pulled-through colon after abdomino-anal resection of the rectum, which was diagnosed by magnetic resonance imaging.

A 47-year-old man underwent laparoscopically assisted abdomino-anal resection of the rectum with reconstruction of a coloplasty pouch and transverse colostomy in the course of combination treatment for locally advanced rectal cancer. The postoperative period was complicated by the development of an inflammatory response syndrome. On postoperative day 3, contrast-enhanced magnetic resonance imaging revealed swelling of the 15-cm segment of pulled-through colon up to the coloanal anastomosis with sharply attenuated contrast enhancement, whereas rectoscopy showed no changes. On postoperative day 6, a magnetic resonance imaging scan revealed a defect in the anterior wall of the coloplasty pouch with a parietal aerocele, and rectoscopy showed signs of necrosis of the bowel wall. On postoperative day 10, the magnetic resonance imaging scan presented no changes. Because of increasing signs of inflammation, relaparotomy with anastomosis disconnection and resection of the necrotized bowel segment were performed.

Ischemia of the pulled-through colon after rectal surgery is a rare but serious complication. Our clinical case report demonstrates the potential of contrast-enhanced magnetic resonance imaging as a non-invasive method in case follow-up in patients with a complicated postoperative period for early diagnosis of ischemia and bowel wall defects, which helps to make the appropriate patient management plan.

Keywords: magnetic resonance imaging; rectal cancer; abdomino-anal resection of the rectum; diagnosis of postoperative complications; colonic ischemia; colonic necrosis; case report.

To cite this article

Myalina SA, Paziuk KI, Berezovskaya TP, Nevolskikh AA, Potapov AL, Ivanov SA. Magnetic resonance imaging in the diagnosis of necrosis of a pulled-through colon segment after abdomino-anal resection of the rectum for cancer. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):61–69. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD227288>

Received: 13.02.2023

Accepted: 10.03.2023

Published: 30.03.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD227288>

磁共振成像在腹腔肛管直肠癌切除术后降结肠坏死的诊断中的作用

Sofiya A. Myalina¹, Ksenia I. Paziuk², Tatiana P. Berezovskaya¹,
Alexey A. Nevolskikh^{1, 2}, Aleksandr L. Potapov¹, Sergey A. Ivanov^{1, 2, 3}

¹ National Medical Research Radiological Center, A. Tsyb Medical Radiological Research Centre, Obninsk, Russian Federation

² Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering — National Research Nuclear University MEPhI, Obninsk, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

简评

本文介绍了一个通过磁共振成像诊断的腹腔直肠切除术后降结肠坏死的病例。

一名47岁的男性患者在局部晚期直肠癌的联合治疗期间接受了腹腔镜辅助下的腹腔肛管直肠切除术，并医生形成了结肠贮袋和横结肠造口。手术后发生了并发症，即炎症反应综合征。手术后第3天，造影剂增强磁共振成像显示了降结肠至结肠肛门吻合的15厘米处肿胀，造影剂急剧减少；直肠镜检查没显示变化。手术后第6天，磁共振成像显示了结肠贮袋前壁有缺陷，形成了壁性气腔；直肠镜检查显示了肠壁有坏死迹象。手术后第10天，磁共振成像检查结果没有任何动态变化。由于炎症的迹象越来越明显，因此重新进行了吻合口隔绝术，并切除了坏死的肠段。

直肠手术后降结肠缺血是一种罕见但非常严重的并发症。我们的临床观察表明造影剂增强磁共振成像的优点，具体来说，作为一种对手术后有并发症的患者进行动态监测的非侵入性方法，为了早期诊断缺血和肠壁缺陷，造影剂增强磁共振成像有助于采取正确的患者管理策略。

关键词：磁共振成像，直肠癌，腹腔肛管直肠切除术，术后并发症的诊断，结肠缺血，结肠坏死，临床病例。

To cite this article

Myalina SA, Paziuk KI, Berezovskaya TP, Nevolskikh AA, Potapov AL, Ivanov SA. 磁共振成像在腹腔肛管直肠癌切除术后降结肠坏死的诊断中的作用. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):61–69. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD227288>

收到: 13.02.2023

接受: 10.03.2023

发布日期: 30.03.2023

АКТУАЛЬНОСТЬ

За последние десятилетия были достигнуты значительные успехи в разработке техники хирургических вмешательств при раке прямой кишки, направленные на улучшение результатов хирургического лечения больных и снижение риска периоперационных осложнений [1]. Резко увеличилось число сфинктерсохраняющих операций, таких как низкая передняя резекция и брюшно-анальная резекция прямой кишки [2, 3] с формированием колоанального анастомоза. Тем не менее доля ранних послеоперационных осложнений, по данным разных авторов, достигает 20% и более. Вторым по распространённости тяжёлым осложнением после несостоятельности межкишечного анастомоза является некроз низводимого в таз сегмента толстой кишки [3, 4]. В связи с этим особую важность приобретает вопрос поиска неинвазивных методов ранней диагностики развивающихся осложнений и динамического наблюдения пациентов в послеоперационном периоде.

Для диагностики послеоперационных осложнений применяют проктографию, ультразвуковое исследование и компьютерную томографию, однако эти методы имеют ряд ограничений, связанных как с недостаточным обзором области таза, так и с лучевой нагрузкой. Увеличившаяся в последние годы доступность магнитно-резонансной томографии (МРТ) при отсутствии лучевой нагрузки позволяет рассматривать её как перспективный метод выявления и контроля послеоперационных осложнений у пациентов, перенёвших резекцию прямой кишки. Преимуществом метода являются хороший контраст мягких тканей, позволяющий оценить непрерывность колоректального анастомоза, выявить наличие патологических скоплений жидкости/крови/гноя/газа в области таза, в том числе в пресакральной области, а также возможность оценивать кровоснабжение низведённого участка толстой кишки на постконтрастных изображениях.

Приводим описание клинического случая развития некроза толстой кишки после лапароскопически асстизированной брюшно-анальной резекции прямой кишки с формированием колопластического резервуара и колоанального анастомоза с целью иллюстрации возможностей МРТ-наблюдения в диагностике этого осложнения.

ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

О пациенте

Пациент, мужчина, 47 лет, находился на лечении в клинике МРНЦ им. А.Ф. Цыба (Обнинск) с диагнозом «С20 Злокачественное новообразование прямой кишки cT4bN1aM0 Стадия IIIB». Пациенту проведено комбинированное лечение, включавшее предоперационную химиолучевую терапию (суммарная очаговая доза 50 Гр + капецитабин), 4 цикла неоадьювантной химиотерапии в режиме FOLFOX6 и лапароскопически асстизированную

брюшно-анальную резекцию прямой кишки с формированием колопластического резервуара и колоанального анастомоза, трансверзостомию. В ходе операции выполнена мобилизация всей левой половины ободочной кишки с селезёночным изгибом, с перевязкой нижней брыжеечной артерии в основании и нижней брыжеечной вены в области связки Трейца. С техническими трудностями, обусловленными постлучевыми изменениями полости малого таза (отёк мягких тканей, фиброзные изменения) и антропометрическими данными, выполнена мобилизация прямой кишки по всем стенкам до анального канала. Толстая кишка пересечена на уровне средней трети сигмовидной кишки. Произведены рассечение слизистой прямой кишки по границе зубчатой линии, мобилизация прямой кишки с резекцией внутренней порции сфинктера; препарат удалён через брюшную полость. Нисходящая кишка полностью мобилизована, низведена через анальный канал, сформированы колопластический резервуар и ручной колоанальный анастомоз. При гистологическом исследовании операционного препарата диагностирован полный патоморфологический ответ на неоадьювантное лечение.

Динамическое наблюдение

Начиная с 1-го послеоперационного дня (ПОД) у пациента наблюдались интермиттирующая субфебрильная лихорадка, высокая концентрация С-реактивного белка (СРБ) в сыворотке крови (рис. 1). В связи с описанной клинической картиной пациенту на ПОД 3 были выполнены инструментальные исследования, включавшие МРТ и ректоскопию. МРТ области таза выполнялась с получением T2-взвешенных изображений (ВИ) высокого разрешения в трёх ортогональных плоскостях и в режиме T1 с подавлением жира (FS) с внутривенным контрастным усилением гадолинийсодержащими препаратами. Выявлен диффузный отёк стенок толстой кишки на протяжении 15 см проксимальнее колоанального анастомоза с резко ослабленным накоплением контрастного средства, что было расценено как нарушение кровоснабжения низведённого в таз дистального сегмента толстой кишки (рис. 2). При ректоскопии слизистая низведённой кишки розовая, без признаков ишемии, некроза, в просвете слизи.

Пациент находился под динамическим наблюдением, ему проводилось консервативное лечение, включавшее инфузионную терапию, антибиотики, антикоагулянты.

На ПОД 6 у пациента сохранялись гипертермия (37,6°C) и высокая концентрация СРБ (до 114,6 мг/л), в связи с чем проведено повторное инструментальное обследование.

При контрольной МРТ без контрастного усиления к ранее выявленным изменениям в виде диффузного отёка стенок дистального сегмента толстой кишки присоединился дефект передней стенки колопластического резервуара с пристеночной воздушной полостью, на дне которой определялось небольшое количество экссудата

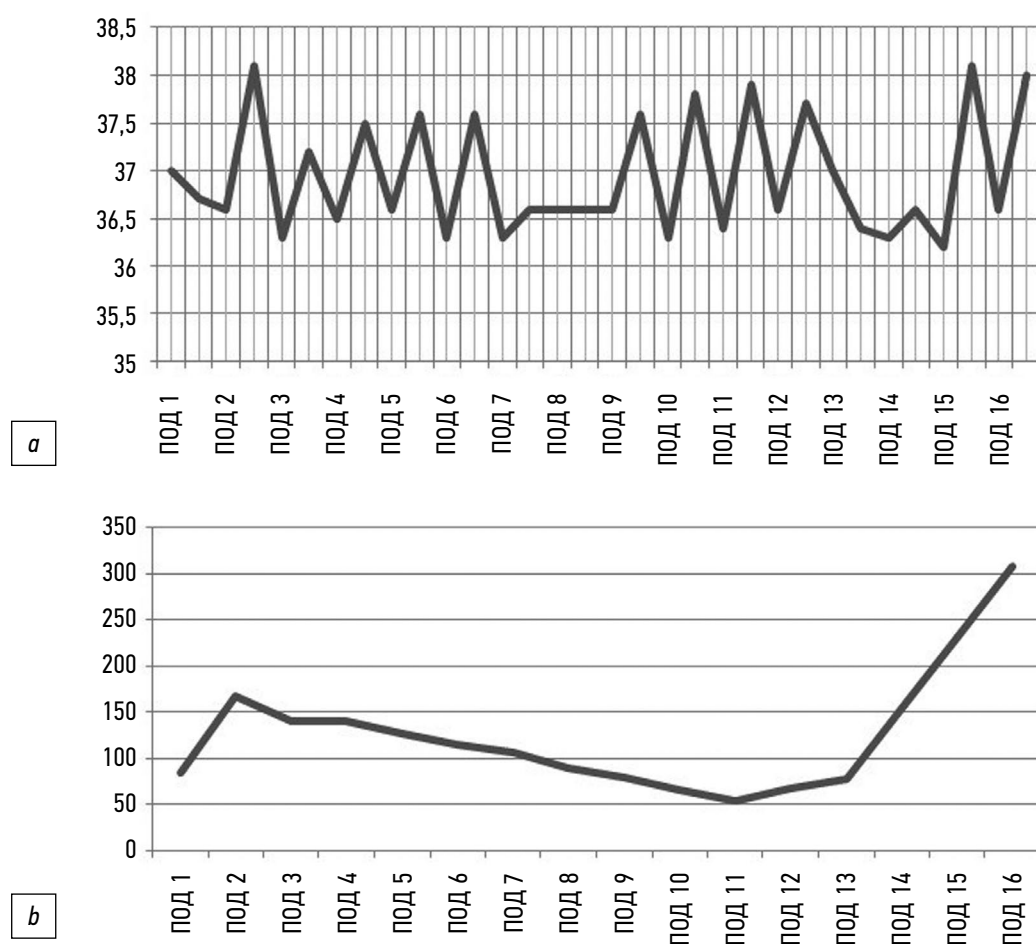


Рис. 1. Графики температуры (*a*; в °C) и уровня С-реактивного белка в сыворотке крови (*b*; в мг/л) с первого послеоперационного дня (ПОД 1) до релапаротомии (ПОД 16).

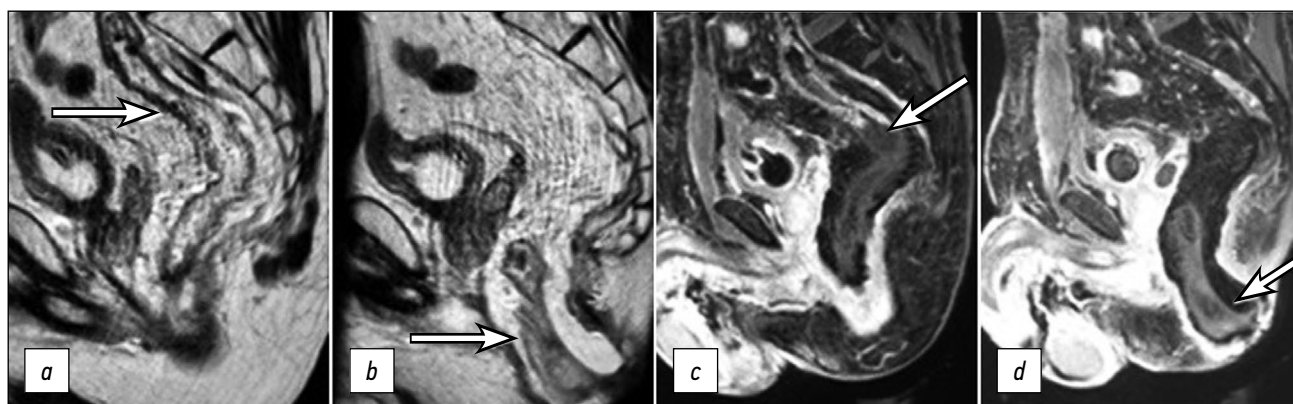


Рис. 2. Магнитно-резонансные изображения на 3-й послеоперационный день двух соседних сагиттальных срезов малого таза в режимах T2 (*a*, *b*) и T1-FS с контрастным усилением (*c*, *d*): верхний (*a*, *c*) и нижний (*b*, *d*) участки низведённого в таз сегмента толстой кишки с утолщёнными стенками и резко ослабленным контрастированием общей протяжённостью 15 см с чёткой границей между ишемизированным и нормальным сегментом толстой кишки (стрелки).

(рис. 3). При ректоскопии были выявлены признаки некроза низведённой кишки (рис. 4): слизистая оболочка фиолетово-серого цвета, тусклая; просвет деформирован, складки не выражены; в просвете изменённая кровь, некротические массы; отмечается зловонный гнилостный запах.

По результатам консилиума, единственно возможным вариантом хирургического лечения в этом случае признано разобщение анастомоза с резекцией некротизированного участка низведённой кишки. Однако, учитывая отсутствие клинической картины тотального некроза низведённой кишки и гнойно-септических осложнений,

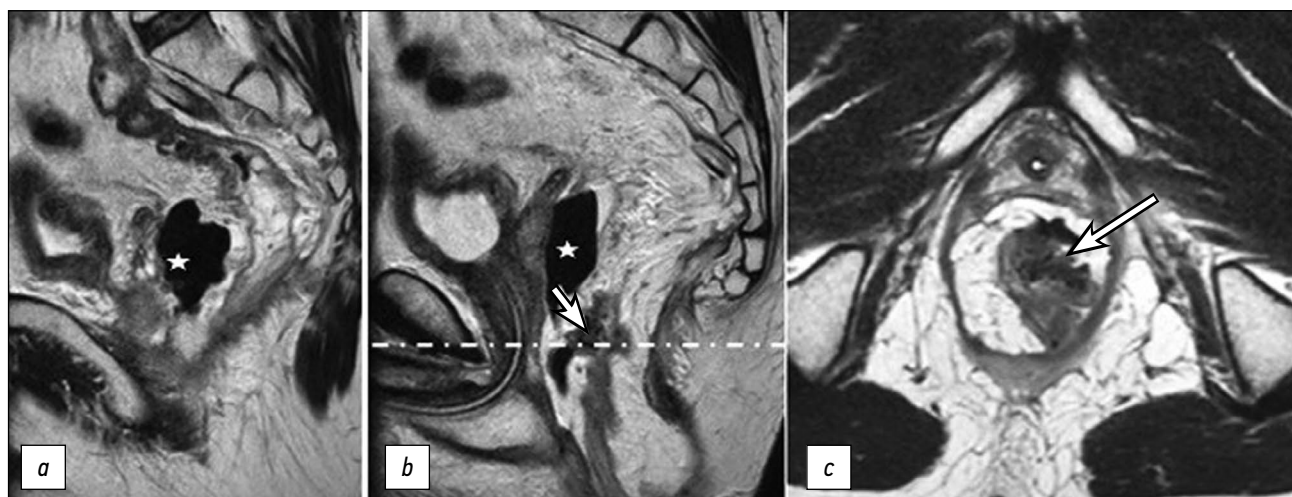


Рис. 3. Магнитно-резонансные томограммы малого таза на 6-й послеоперационный день в режиме T2: два соседних сагиттальных среза с верхним (а) и нижним (b) участком низведённого сегмента толстой кишки с сохраняющимся диффузным отёком стенок; аксиальный срез (с) на уровне пунктирной линии. Дефект в передней стенке колопластического резервуара (стрелка) с формированием пристеночной воздушной полости (звёздочка).

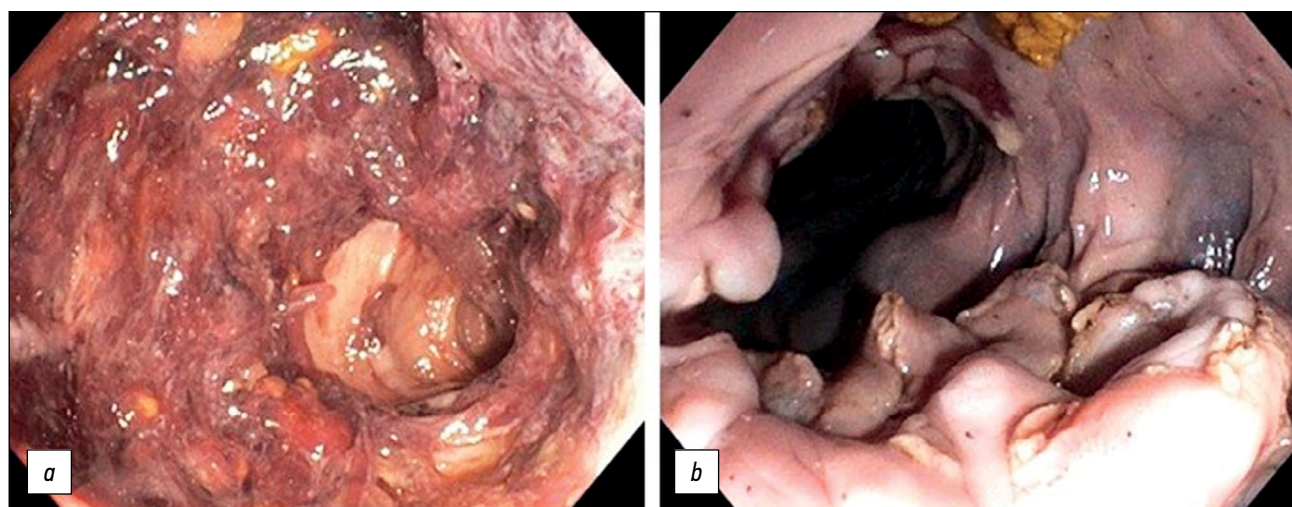


Рис. 4. Эндоскопическая картина на 6-й послеоперационный день: участки некротических изменений (а); деформация стенок кишки, слизистая оболочка фиолетово-серого цвета, тусклая (b).

положительную динамику температуры и СРБ, а также относительно удовлетворительное состояние пациента, принято решение о продолжении консервативного лечения с контролем лабораторных показателей.

На ПОД 10 у пациента сохранялась температура до 37,8°C при снижении концентрации СРБ до 78,8 мг/л. Выполнена третья контрольная МРТ с контрастным усилением: выявлены сохраняющийся дефект в стенке колопластического резервуара, пристеночная воздушная полость при отсутствии контрастирования низведённого в таз сегмента толстой кишки (рис. 5).

Учитывая стойкие признаки нарушения кровоснабжения сегмента низведённой толстой кишки, рост уровня СРБ до 307,5 мг/л, повышение температуры тела до 38,1°C, на ПОД 17 выполнено хирургическое вмешательство в объёме резекции низведённой толстой кишки с разобщением колоанального анастомоза, формированием концевой колостомы, санацией и дренированием полости малого таза.

При ревизии в брюшной полости выпота не было; прядь большого сальника тампонирует вход в малый таз; ободочная кишка до уровня входа в малый таз была без признаков ишемии, некроза. Выполнена мобилизация левой половины ободочной кишки до стомы, кишка пересечена на уровне трансверзостомы; дистальный отрезок кишки с признаками ишемических нарушений выделен из полости малого таза, колоанальный анастомоз разобщён, препарат удалён. Полость малого таза санирована, тампонируется через анус. В левом подреберье сформирована концевая трансверзостома.

При патоморфологическом исследовании удалённого препарата выявлены очаги некроза слизистой оболочки левой половины ободочной кишки, часть из которых распространялась на всю толщу стенки толстой кишки. В прилежащей жировой клетчатке брыжейки липоксантогранулёмы, очаги некроза. На серозной оболочке толстой кишки и прилежащей брыжейке определялись

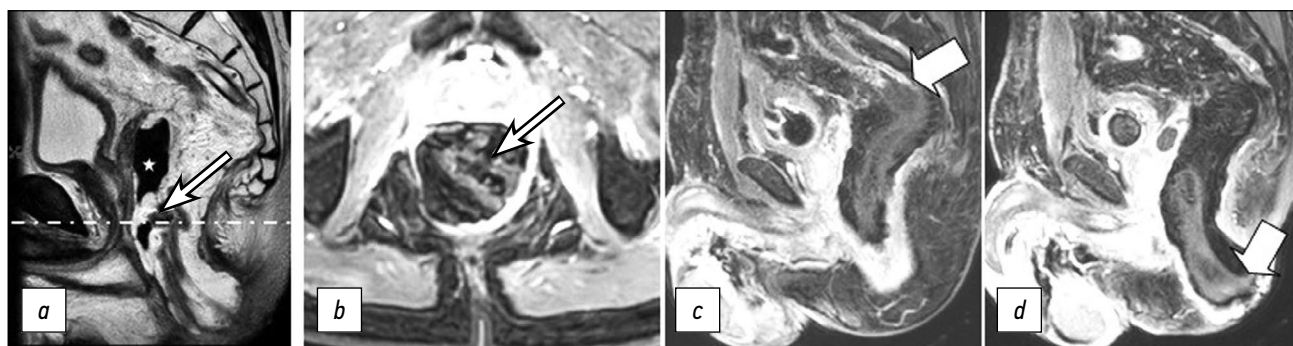


Рис. 5. Магнитно-резонансные томограммы малого таза на 10-й послеоперационный день в режимах T2 (a) и T1-FS с контрастным усилением на уровне пунктирной линии в аксиальной плоскости (b): дефект стенки колопластического резервуара (стрелка) и воздушная полость (звёздочка); два соседних среза в сагиттальной плоскости в режиме T1-FS с контрастным усилением (c, d): верхний и нижний край ишемизированного сегмента толстой кишки (стрелки).

налёты фибрина и детрит. Послеоперационный период протекал гладко.

ОБСУЖДЕНИЕ

При брюшно-анальной резекции прямой кишки с формированием колоанального анастомоза после неоадъювантной химиолучевой терапии у пациентов с раком прямой кишки существует реальная угроза развития острой ишемии низведённого в таз сегмента толстой кишки, что может серьёзно осложнить течение послеоперационного периода. Несмотря на то, что сразу после наложения анастомоза состояние толстой кишки может казаться нормальным, нельзя исключать возможность её ишемии в раннем послеоперационном периоде.

Предоперационная лучевая терапия наряду с пожилым возрастом, мужским полом и наличием сердечно-сосудистых заболеваний, по данным литературы, является важным фактором риска развития ишемии толстой кишки. Периоперационные факторы риска включают высокую перевязку нижней брыжеечной артерии и избыточное натяжение толстой кишки при формировании анастомоза [5, 6]. Кроме того, высказывалось мнение, что лапароскопический доступ может способствовать развитию ишемии толстой кишки, так как пневмоперитонеум и повышенное внутрибрюшное давление уменьшают мезентериальный венозный кровоток [7]. Из перечисленных факторов риска у нашего пациента имели место мужской пол, неоадъювантная химиолучевая терапия, лапароскопический доступ, высокая перевязка нижней брыжеечной артерии.

В приведённом нами клиническом примере признаки ишемии низведённого в таз сегмента толстой кишки, определявшиеся при МРТ на ПОД 3, включали неспецифические проявления на нативном T2-ВИ в виде отёка и утолщения стенок, а на постконтрастных изображениях характеризовались отсутствием контрастирования выше уровня анастомоза с чёткой верхней границей. Характерной чертой такого варианта ишемии толстой кишки считается вовлечение значительного по протяжённости участка

(6–15 см) от уровня анастомоза [5], что мы наблюдали и у нашего пациента.

В данном примере на момент первичной МРТ, выполненной в послеоперационном периоде, эндоскопическая картина некроза отсутствовала, что стало основанием для консервативного ведения пациента. Как правило, консервативное лечение ишемии (антибиотикотерапия) в течение 2 недель позволяет выписать пациента в удовлетворительном состоянии, однако нужно отметить, что через несколько месяцев с высокой вероятностью у него развивается стриктура ишемизированного участка [5].

Неблагоприятным вариантом исхода острой ишемии является развитие некроза низведённого участка толстой кишки, при котором необходима экстренная операция. В рассматриваемом случае при повторной МРТ (ПОД 6) была выявлена отрицательная динамика: на фоне сохраняющегося диффузного отёка стенки низведённого участка кишки появился участок тканевой деструкции с образованием дефекта в стенке колопластического резервуара и формированием пристеночной полости, содержащей газ и жидкость. МР-картина сохранялась без динамики на ПОД 10, несмотря на проводимое консервативное лечение. Повторное эндоскопическое исследование подтвердило данные МРТ о наличии некротических изменений; кроме того, нарастали признаки общей воспалительной реакции организма, что повлекло за собой необходимость релапаротомии с разобщением анастомоза и резекцией некротизированного участка толстой кишки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный клинический случай демонстрирует, что развитие ишемии низведённого в таз сегмента толстой кишки в послеоперационном периоде брюшно-анальной резекции может быть диагностировано с помощью МРТ с контрастным усилением по отсутствию контрастирования значительного по протяжённости участка низведённой кишки с чёткими границами. На нативных T2-ВИ определяются утолщение и отёк всех слоёв кишечной стенки на соответствующем участке.

Динамическое МРТ-наблюдение позволяет выявить отрицательную динамику процесса с признаками тотального некроза всех слоёв кишечной стенки в виде её деструкции с появлением пристеночной полости, содержащей жидкость и газ. Признаки тотального некроза стенки кишки при МРТ в сочетании с соответствующими клиничко-лабораторными данными могут рассматриваться как показание к релапаротомии.

Таким образом, МРТ с внутривенным контрастным усилением может быть рекомендовано в качестве информативного неинвазивного метода выявления острой ишемии низведённого участка толстой кишки после формирования колоректальных анастомозов и наблюдения за её динамикой.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

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 вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: С.А. Мясина — сбор и обработка материала, анализ полученных данных, написание

текста рукописи, подготовка иллюстративного материала; К.И. Пазюк — сбор и обработка материала, написание текста рукописи; Т.П. Березовская — концепция, редактирование текста рукописи; А.А. Невольских, А.Л. Потапов — редактирование текста рукописи; С.А. Иванов — окончательное редактирование, одобрение рукописи.

Информированное согласие на публикацию. Пациент добровольно подписал информированное согласие на публикацию персональной медицинской информации 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. S.A. Myalina — data sources collection and analysis, manuscript preparation, illustrations creating; K.I. Paziuk — data sources collection and analysis, manuscript preparation; T.P. Berezovskaya — conception of the work, revising and editing the manuscript; A.A. Nevolskikh, A.L. Potapov — editing the manuscript; S.A. Ivanov — approved the final version 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. Бердов Б.А., Невольских А.А., Ерыгин Д.В., Ланцов Д.С. Современные подходы к профилактике местных рецидивов при оперативном лечении рака прямой кишки (обзор литературы) // Российский онкологический журнал. 2007. № 5. С. 51–55.
2. Крот В.С., Рылюк А.Ф. Причины некрозов при операциях с низведением сигмовидной кишки // Проблемы здоровья и экологии. 2011. № 2. С. 55–60.
3. Башеев В.Х. Оптимизация тактики лечения рака нижеампулярного отдела прямой кишки: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Донецк, 2003. 32 с.
4. Цепилова И.Я., Трунов Г.В., Винник Ю.А., и др. Изучение микроциркуляции в трансплантате после брюшно-анальной

- резекции прямой кишки // Врачебная практика. 2000. № 6. С. 44–45.
5. Lim D.R., Hur H., Min B.S., et al. Colon stricture after ischemia following a robot-assisted ultra-low anterior resection with coloanal anastomosis // Ann Coloproctol. 2015. Vol. 31, N 4. P. 157–162. doi: 10.3393/ac.2015.31.4.157
6. Toiyama Y., Hiro J., Ichikawa T., et al. Colonic necrosis following laparoscopic high anterior resection for sigmoid colon cancer: Case report and review of the literature // Int Surg. 2017. Vol. 102, N 3–4. P. 109–114. doi: 10.9738/intsurg-d-17-1.1
7. Jakimowicz J., Stultiens G., Smulders F. Laparoscopic insufflation of the abdomen reduces portal venous flow // Surg Endoscopy. 1998. Vol. 12, N 2. P. 129–132. doi: 10.1007/s004649900612

REFERENCES

1. Berdov BA, Nevolskikh AA, Yerygin DV, Lantsov DS. Current approaches to preventing local relapses in the surgical treatment of rectal cancer. *Russ J Oncol*. 2007;(5):51–55. (In Russ).
2. KrotVS, RyliukAF. Causes of necrosis in operations with descending sigmoid intestine. *Health Ecology Issues*. 2011;(2):55–60. (In Russ).

3. Basheev VK. Optimization of tactics of treatment of cancer of the lower ampullary rectum [dissertation abstract]. Donetsk, 2003. 32 p. (In Russ).
4. Tsepilova IYa, Trunov GV, Vinnik YA, et al. Study of microcirculation in the graft after abdominal-anal resection of the rectum. *Vrachebnaya praktika*. 2000;(6):44–45. (In Russ).

5. Lim DR, Hur H, Min BS, et al. Colon stricture after ischemia following a robot-assisted ultra-low anterior resection with coloanal anastomosis. *Ann Coloproctol.* 2015;31(4):57. doi: 10.3393/ac.2015.31.4.157
6. Toiyama Y, Hiro J, Ichikawa T, et al. Colonic necrosis following laparoscopic high anterior resection for sigmoid colon cancer: Case

- report and review of the literature. *Int Surg.* 2017;102(3-4):109–114. doi: 10.9738/intsurg-d-17-1.1
7. Jakimowicz J, Stultiens G, Smulders F. Laparoscopic insufflation of the abdomen reduces portal venous flow. *Surg Endoscopy.* 1998;12(2):129–132. doi: 10.1007/s004649900612

ОБ АВТОРАХ

*** Пазюк Ксения Игоревна;**

адрес: Россия, 249039, Обнинск, Студгородок, д. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0036-9877>;
e-mail: komolovaksusha@yandex.ru

Мялина София Анатольевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6686-5419>;
eLibrary SPIN: 9668-3834; e-mail: samyalina@mail.ru

Березовская Татьяна Павловна, д.м.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3549-4499>;
eLibrary SPIN: 5837-3465; e-mail: berez@mrrc.obninsk.ru

Невольских Алексей Алексеевич, д.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5961-2958>;
eLibrary SPIN: 3787-6139; e-mail: nevol@mrrc.obninsk.ru

Потапов Александр Леонидович, д.м.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3752-3107>;
eLibrary SPIN: 9189-4126; e-mail: ALP8@yandex.ru

Иванов Сергей Анатольевич, д.м.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7689-6032>;
eLibrary SPIN: 4264-5167; e-mail: oncurolog@gmail.com

AUTHORS' INFO

*** Ksenia I. Paziuk;**

address: 1 Studgorodok, 249039 Obninsk, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0036-9877>;
e-mail: komolovaksusha@yandex.ru

Sofiya A. Myalina;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6686-5419>;
eLibrary SPIN: 9668-3834; e-mail: samyalina@mail.ru

Tatiana P. Berezovskaya, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3549-4499>;
eLibrary SPIN: 5837-3465; e-mail: berez@mrrc.obninsk.ru

Alexey A. Nevolskikh, MD, Dr. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5961-2958>;
eLibrary SPIN: 3787-6139; e-mail: nevol@mrrc.obninsk.ru

Aleksandr L. Potapov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3752-3107>;
eLibrary SPIN: 9189-4126; e-mail: ALP8@yandex.ru

Sergey A. Ivanov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7689-6032>;
eLibrary SPIN: 4264-5167; e-mail: oncurolog@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD114723>

Динамическая магнитно-резонансная томография лёгких у пациентов с COVID-19: серия клинических случаев

Ю.А. Васильев¹, Е.А. Грик², О.Ю. Панина^{1, 3, 4}, А.Н. Хоружая¹, Д.С. Семенов¹,
А.В. Бажин¹, Ю.Н. Васильева⁴

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

² Lincoln Medical Center, Бронкс, Нью-Йорк, США

³ Городская клиническая онкологическая больница № 1, Москва, Российская Федерация

⁴ Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Широкое распространение новой коронавирусной инфекции (COVID-19) привело к активному изучению её диагностических особенностей. Острая вирусная пневмония, связанная с COVID-19, уже подробно описана по результатам компьютерной томографии, рентгенографии и статической магнитно-резонансной томографии, однако картина, наблюдаемая при динамической магнитно-резонансной томографии, не получила достаточного освещения в специализированной литературе.

Учитывая комплексный диагностический подход, важно, чтобы врачи-рентгенологи имели возможность правильно распознавать и интерпретировать COVID-19 по изображениям магнитно-резонансной томографии.

В представленной серии клинических случаев продемонстрированы возможности методики динамической магнитно-резонансной томографии в обнаружении признака «облачного неба» и его отличия от консолидации у пациентов с COVID-19, что позволяет предположительно разграничить раннее или лёгкое изменение от прогрессирующего клинического течения.

Таким образом, динамическая магнитно-резонансная томография может оказаться чрезвычайно полезным инструментом, к тому же без лучевой нагрузки, в случаях, когда доступ к компьютерной томографии ограничен и требуется динамическая морфофункциональная визуализация.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; динамическая МРТ; МРТ в режиме реального времени; пневмония; COVID-19.

Как цитировать

Васильев Ю.А., Грик Е.А., Панина О.Ю., Хоружая А.Н., Семенов Д.С., Бажин А.В., Васильева Ю.Н. Динамическая магнитно-резонансная томография лёгких у пациентов с COVID-19: серия клинических случаев // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 1. С. 71–79. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD114723>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD114723>

Dynamic MRI in a COVID-19 patient: a case series

Yuriy A. Vasilev¹, Evgeniia A. Grik², Olga Yu. Panina^{1, 3, 4}, Anna N. Khoruzhaya¹,
Dmitriy S. Semenov¹, Alexander V. Bazhin¹, Yulia N. Vasileva⁴

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² Lincoln Medical Center, The Bronx, NY, United States

³ City Clinical Oncological Hospital 1 of the Department of healthcare of the city of Moscow, Moscow, Russian Federation

⁴ Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Extensive spread of the coronavirus disease (COVID-19) prompted an investigation of its diagnostic features. Acute viral pneumonia associated with COVID-19 has been described in detail using CT, radiography, and MRI. There is no data in the literature on the descriptive picture observed with dynamic MRI. Considering a comprehensive diagnostic approach, radiologists should know how to correctly recognize and interpret COVID-19 on MRI. This case series demonstrated the ability of dynamic MRI to detect the cloudy sky sign and distinguish it from consolidation in COVID-19 patients, thus presumably distinguishing between early or mild changes and a progressive clinical course. These changes in dynamic lung images on MRI can be recorded depending on the phase of the respiratory cycle. Thus, MRI, as a radiation-free tool that can be used to examine a patient with acute viral pneumonia COVID-19, can be useful in cases where access to computed tomography is limited and dynamic morphofunctional imaging is required.

Keywords: dynamic MR, real-time MRI, pneumonia; COVID-19; magnetic resonance imaging.

To cite this article

Vasilev YuA, Grik EA, Panina OYu, Khoruzhaya AN, Semenov DS, Bazhin AV, Vasileva YuN. Dynamic MRI in a COVID-19 patient: a case series. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):71–79. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD114723>

Received: 19.11.2022

Accepted: 17.03.2023

Published: 04.04.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD114723>

COVID-19患者的肺部动态磁共振成像： 一系列临床病例

Yuriy A. Vasilev¹, Evgeniia A. Grik², Olga Yu. Panina^{1, 3, 4}, Anna N. Khoruzhaya¹,
Dmitriy S. Semenov¹, Alexander V. Bazhin¹, Yulia N. Vasileva⁴

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² Lincoln Medical Center, The Bronx, NY, United States

³ City Clinical Oncological Hospital 1 of the Department of healthcare of the city of Moscow, Moscow, Russian Federation

⁴ Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russian Federation

简评

一场新型冠状病毒感染（COVID-19）的广泛流行导致了对其诊断特征的积极性研究。与COVID-19相关的急性病毒性肺炎是已经在计算机断层扫描（CT）、辐射成像和静态磁共振成像（MRI）的研究中详细描述。然而，文献中有很少关于通过动态MRI观察到的描述性图片的数据。鉴于综合诊断方法，放射科医生知道如何通过MRI正确识别和解释COVID-19是很重要的。在这一系列临床病例中，我们展示了动态MRI工作方法的威力，使我们能够看到“cloudy sky”的迹象，并将其与COVID-19患者的固结区分开来，使我们能够推测区分早期或轻微的变化和渐进的临床过程。因此，MRI作为一种无辐射的工具，在进行CT扫描的机会有限和需要动态形态功能成像的情况下是非常有用的。

关键词：磁共振成像，动态MRI，实时MRI，肺炎，COVID-19。

To cite this article

Vasilev YuA, Grik EA, Panina OYu, Khoruzhaya AN, Semenov DS, Bazhin AV, Vasileva YuN. COVID-19患者的肺部动态磁共振成像：一系列临床病例. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):71–79. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD114723>

收到: 19.11.2022

接受: 17.03.2023

发布日期: 04.04.2023

АКТУАЛЬНОСТЬ

Новая коронавирусная инфекция (COVID-19), вызванная вирусом SARS-CoV-2, стала важным объектом исследований последних двух лет из-за преобладания лёгочных симптомов. Первичными признаками, связанными с инфекцией и наблюдаемыми на компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки, являются очаговые односторонние или диффузные двусторонние помутнения по типу матового стекла, которые прогрессируют и приводят к уплотнениям паренхимы лёгких (консолидации) [1, 2].

На старте пандемии из-за недостатка средств для специфической лабораторной диагностики результаты КТ органов грудной клетки рассматривались как возможный фактор для принятия решения о том, следует ли тестировать пациента на COVID-19 лабораторными методами. Затем этот подход в качестве скрининга был опровергнут, и в настоящее время КТ органов грудной клетки рекомендуется проводить только при наличии клинической картины [3, 4]. КТ органов грудной клетки при тяжёлом течении заболевания проводится неоднократно с целью мониторинга состояния, что неизбежно приводит к высокой лучевой нагрузке. Магнитно-резонансная томография (МРТ) органов грудной клетки ввиду постоянного совершенствования программного обеспечения томографов является перспективным направлением развития лучевой диагностики лёгочной патологии. Обладая определёнными преимуществами, в частности отсутствием лучевой нагрузки, МРТ лёгких в некоторых случаях может рассматриваться методом выбора [5–7].

В нашей серии случаев представлена динамическая МРТ лёгких пациентов с положительным тестом на SARS-CoV-2. МРТ было выполнено в первые дни от начала появления симптомов вирусной пневмонии (субфебрильная/фебрильная температура, сухой кашель, слабость). В работе описаны патологические изменения при острой вирусной пневмонии COVID-19, которые могут быть выявлены на динамической МРТ путём получения кинематографических изображений грудной клетки в трёх плоскостях.

ОПИСАНИЕ СЕРИИ СЛУЧАЕВ

МРТ-сканирование. Исследование пациента проводилось на МР-сканере 3Т (Signa Pioneer, General Electric, США) в положении лёжа с использованием абдоминальных и встроенных в деку стола позвоночных радиочастотных катушек. Сканирование проводилось без использования дыхательного триггера и на свободном дыхании. Чтобы свести к минимуму динамические артефакты, связанные с дыхательными движениями, радиочастотная катушка была закреплена. Исследование проводилось при свободном дыхании с использованием автоматической синхронизации движения диафрагмы с целью

оптимизации времени сбора данных. Кинематографическая МРТ была получена с использованием однократного быстрого спинного эха (SSFSE) с дополнительными параметрами: TR 1460 мс, TE 108,6 мс, угол поворота 90°, FOV 450'450 мм, матрица 384×256, толщина среза 6 мм, расстояние между срезами 6 мм, среднее число 0,6, метод заполнения k-пространства — недекартовый. Чтобы получить эти изображения, мы просили пациента медленно вдохнуть, считая в уме до десяти, а затем таким же образом медленно выдохнуть. Для каждого пациента мы получили по три динамических изображения в трёх ортогональных плоскостях.

Анализ МРТ. Основным объектом поиска были полисегментированные участки сигнала повышенной интенсивности (гиперинтенсивного относительно мышечной ткани, но гипоинтенсивного относительно участков лёгочной консолидации, т.е. менее интенсивного по характеру сигнала, чем участки консолидации), которые могли представлять собой признак «облачного неба» (cloudy sky sign). Мы также отметили изменения интенсивности сигнала от патологических участков во время вдоха и выдоха.

Случай 1

Пациент (женщина, 45 лет) обратился в клинику на 5-й день после появления симптомов сухого кашля и лёгкой лихорадки до 37,5°C. На динамической МРТ лёгких в коронарной плоскости во время вдоха (рис. 1) была выявлена зона гиперинтенсивного сигнала в нижней доле правого лёгкого (S9–10), интерпретированная как зона уплотнения в центре (более интенсивный сигнал) и окружающая её зона «облачного неба» (менее интенсивный сигнал). В аксиальной и сагиттальной плоскостях в соответствующей области наблюдался гиперинтенсивный сигнал, указывающий на консолидацию, с признаком «облачного неба» вдоль её края. В конце выдоха наблюдалось увеличение интенсивности сигнала в описанной зоне в коронарной плоскости (рис. 2), визуальный размер поражённых участков уменьшился из-за сокращения лёгочной ткани. Не было никаких очевидных изменений в интенсивности сигнала во время выдоха в аксиальной и сагиттальной плоскостях.

Одинаковый гиперинтенсивный сигнал независимо от фаз дыхания может указывать на альвеолярную инфльтрацию (консолидацию), область менее интенсивного сигнала на выдохе — на промежуточные изменения (признак «облачного неба»).

Случай 2

У пациента (женщина, 25 лет) отмечаются сухой кашель, сильная лихорадка с подъёмом температуры до 39°C, озноб и тяжесть в груди. Женщина обратилась в больницу на 6-й день после появления первых симптомов, когда они стали чрезвычайно выраженными. При динамическом МРТ-исследовании выявлена обширная зона

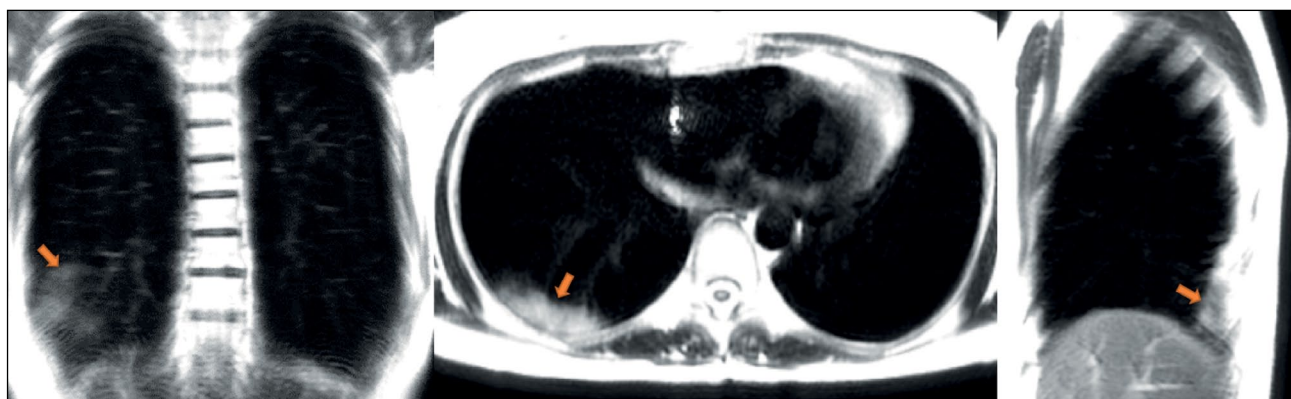


Рис. 1. Динамическая магнитно-резонансная томография лёгких во время вдоха в коронарной, аксиальной и сагиттальной плоскостях. Стрелки указывают на области уплотнения в аксиальной и сагиттальной плоскостях, а в коронарной плоскости стрелка указывает на признак «облачного неба» (S9–10).

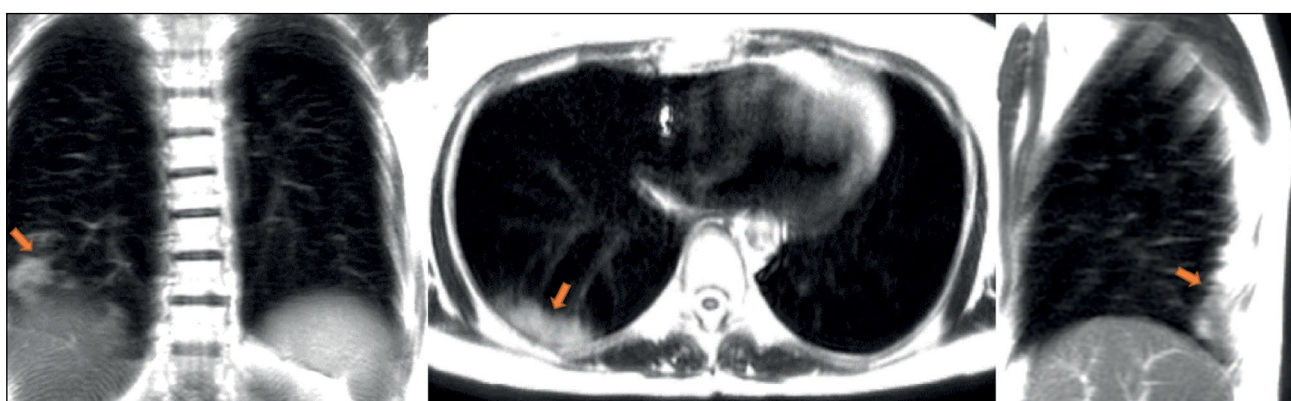


Рис. 2. Динамическая магнитно-резонансная томография лёгких во время выдоха в коронарной, аксиальной, сагиттальной плоскостях. Стрелки указывают на области консолидации (S9–10).

повышенного сигнала в сегментах S6, S8–9 нижней доли левого лёгкого. Во время вдоха наблюдался неоднородный повышенный сигнал в коронарной, аксиальной и сагиттальной плоскостях (рис. 3). Во время выдоха (рис. 4) наблюдалось увеличение интенсивности сигнала в коронарной и сагиттальной плоскостях, визуальный размер поражённых участков увеличился, область с признаком «облачного неба» расширилась. Возможным объяснением

этого является экспираторное сокращение лёгочной ткани при выдохе.

Дыхательные движения грудной клетки также могут влиять на уровень сканирования и, следовательно, на наблюдаемую картину. На МР-изображениях в аксиальной плоскости признак «облачного неба», отмеченный на периферии зоны повышения сигнала во время вдоха, становится более интенсивным во время

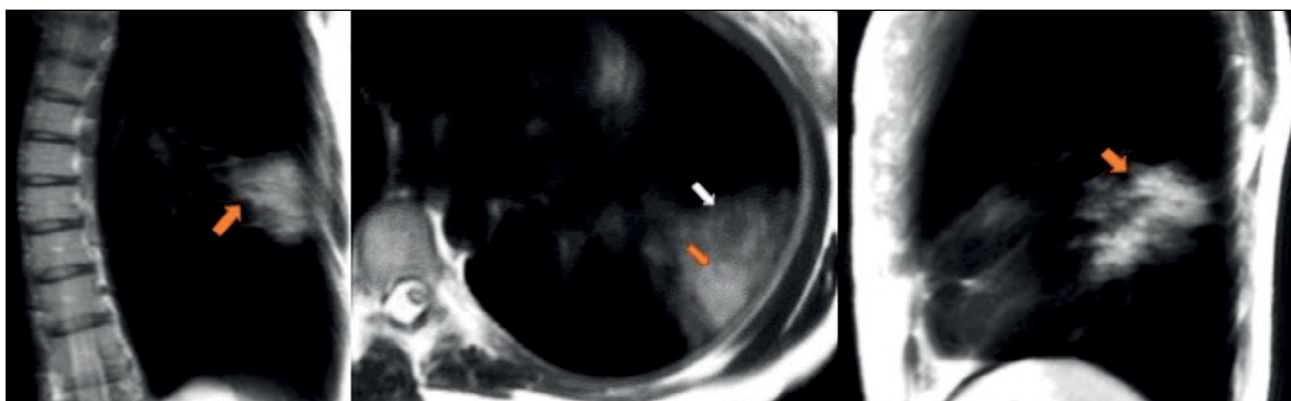


Рис. 3. Динамическая магнитно-резонансная томография лёгких во время вдоха в коронарной, аксиальной и сагиттальной плоскостях. Оранжевые стрелки указывают на области консолидации, видимые на вдохе (S6, 8–9), белая стрелка — на область с признаком «облачного неба».



Рис. 4. Динамическая магнитно-резонансная томография лёгких во время выдоха в корональной, аксиальной и сагиттальной плоскостях. Стрелки указывают на участки поражённой ткани, которые включают в себя зоны как из отмеченных интерстициальных (признак «облачного неба»), так и альвеолярных (уплотнение) изменений, которые можно дифференцировать на вдохе (см. рис. 3).

выдоха, вероятно, из-за увеличения плотности лёгочной паренхимы.

Случай 3

Пациент (мужчина, 49 лет) с лёгким кашлем и субфебрильной температурой до 37,5°C обратился к врачу на 2-й день после появления симптомов. На проведённом динамическом МРТ лёгких выявлена преобладающая картина признаков «облачного неба», что было

подтверждено различной интенсивностью сигнала и размером зон изменения сигнала в зависимости от фазы дыхательного цикла. В корональной, аксиальной и сагиттальной плоскостях во время вдоха (рис. 5) в нижней доле правого лёгкого был обнаружен слабоинтенсивный сигнал (S6, S9–10). На корональных и сагиттальных изображениях в конце выдоха (рис. 6) сохраняются повышенная интенсивность сигнала от описанных областей и увеличение их размера. На аксиальной плоскости

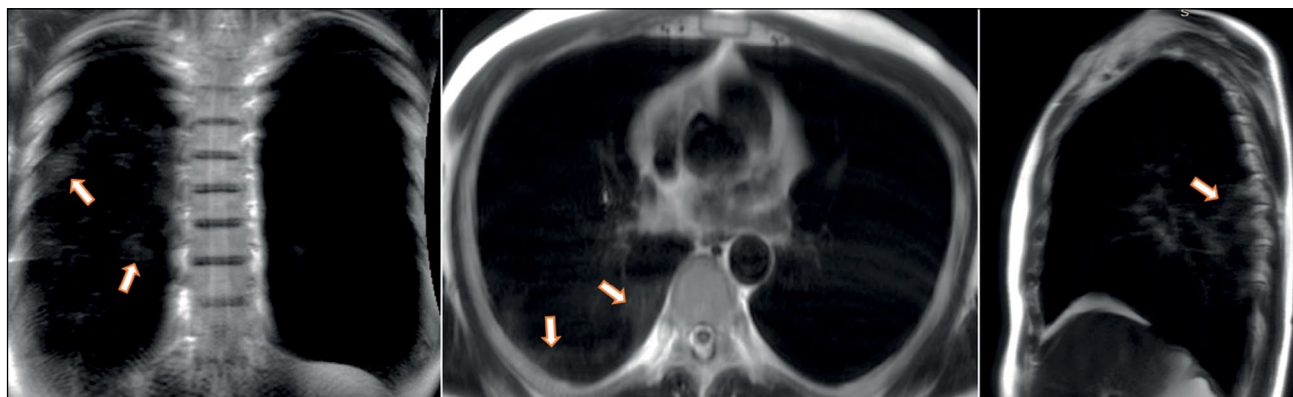


Рис. 5. Динамическая магнитно-резонансная томография лёгких во время вдоха в корональной, аксиальной и сагиттальной плоскостях. Стрелки указывают на участки слабоинтенсивного сигнала, соответствующие паттерну «облачного неба» (S6, S9–10).

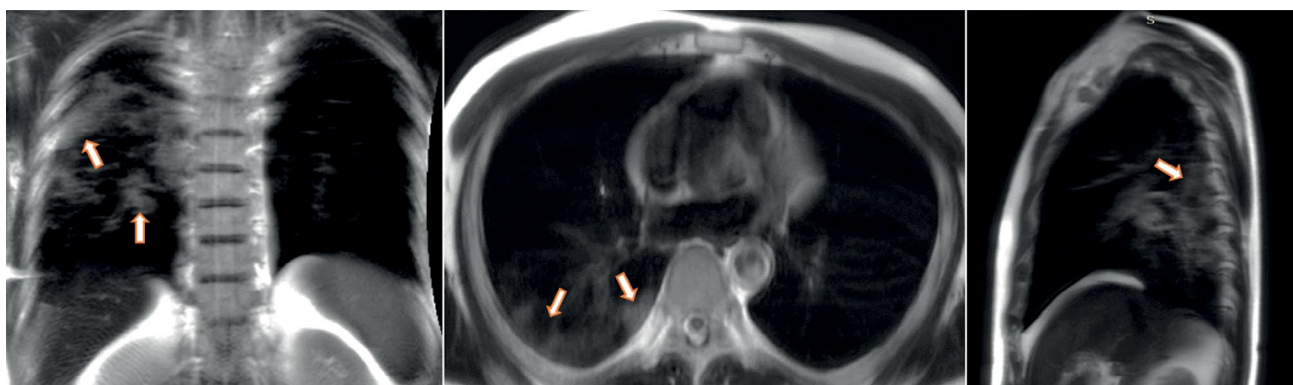


Рис. 6. Динамическая магнитно-резонансная томография лёгких во время выдоха в корональной, аксиальной и сагиттальной плоскостях. Стрелки указывают на увеличение участков слабоинтенсивного сигнала, соответствующие паттерну «облачного неба» (S6, S9–10).

во время выдоха признак «облачного неба» более заметен, при этом область видимого поражения лёгочной ткани расширена.

ОБСУЖДЕНИЕ

Компьютерная томография является золотым стандартом оценки лёгких при пневмонии COVID-19, а также других вирусных пневмоний. Ранние признаки острой коронавирусной пневмонии, вызванной вирусом SARS-CoV-2, наиболее часто проявляются на КТ-изображениях органов грудной клетки в виде паттерна по типу матового стекла (ground-glass opacities, GGO). Области консолидации, сигнализирующие об альвеолярном поражении, появляются, как правило, на поздних стадиях заболевания.

Механизм, лежащий в основе выявленных нами изменений на МРТ у пациентов с вирусной пневмонией, заключается в наличии воспалённой паренхимы и, следовательно, усилении получаемого от неё сигнала. Аналогичным GGO на МР-томограммах является определяющий для вирусной пневмонии признак «облачного неба» [5]. При выполнении динамической серии мы отметили сгущение интенсивности сигнала по типу «облачного неба» на выдохе и выраженное разрежение на вдохе. Этот признак может быть показателем ранних изменений в лёгочной ткани при острой вирусной пневмонии. Мы предполагаем, что характер консолидации, который отражает вовлечение альвеол, существенно не меняется во время дыхания. Таким образом, динамическая МРТ лёгких позволяет дифференцировать область консолидации и GGO, что не всегда удаётся при статической МРТ лёгких.

Ранее наш коллектив авторов проводил обследование пациентов с использованием протокола MRI-LUNG [5] (режимы статического сканирования) и показал, что визуализируемые поражения паренхимы аналогичны картине поражений, определяемых по КТ. Исследования в режиме реального времени позволили нам установить, что в случае использования МРТ можно быстро и без дискомфорта для пациента сканировать лёгкие на свободном дыхании. Ограничением нашей работы было отсутствие данных КТ для демонстрации с целью сравнения выявленных паттернов.

Применение МРТ у пациентов с COVID-19 уже изучалось другими научными группами [6, 8–14]. Так, D. Dong и соавт. [8] предположили, что МРТ может быть полезна в диагностике пневмонии у беременных и детей; B.K. Fields и соавт. [9] сравнили различные методы диагностики (КТ, МРТ, сочетание позитронно-эмиссионной томографии и КТ) и подтвердили это предположение. В Германии M.C. Langenbach и соавт. [10] получили МРТ пациента, направленного на сканирование в связи с первичным раком лёгкого, и обнаружили изменения в нижних длинных долях, указывающие на COVID-19, что впоследствии было подтверждено. G. Szarf и соавт. [11] представили клинический случай, в котором описали на МРТ

перилобулярные помутнения, похожие на признак «облачного неба», и консолидацию, которая может указывать на наличие организуемой пневмонии. S. Akhlaghpour и соавт. [12] получили по МРТ аналогичную картину визуализации вирусной пневмонии, вызванной COVID-19, продемонстрировав и подробно описав восемь клинических случаев. В дополнение к этим изменениям H. Dheir и соавт. [13] описали узелки, которые были обнаружены у 11 пациентов на МРТ и у 12 — на КТ, с чувствительностью и специфичностью 91,67 и 100% соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ряд клинических случаев наглядно продемонстрировал методику динамической МРТ, позволяющую увидеть признак «облачного неба» (аналогичный паттерн GGO в КТ) и отличить его от консолидации у пациентов с COVID-19.

Результаты показывают, что динамическое исследование лёгких может иметь преимущество по отношению к стандартному статическому протоколу сканирования. Однако, несмотря на свои возможности, МРТ лёгких остаётся экспериментальным инструментом и требует дополнительных исследований для определения её роли в ведении пациентов с COVID-19. Тем не менее наблюдаемые паттерны также могут быть применимы для других патологических состояний лёгких.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Статья подготовлена при поддержке Департамента здравоохранения г. Москвы в рамках научно-исследовательской работы (№ ЕГИСУ: AAAA-A21-123031500007-6) в соответствии с программой «Научное обеспечение столичного здравоохранения» на 2023–2025 годы.

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 вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Ю.А. Васильев, А.В. Бажин, Ю.Н. Васильева, Д.С. Семенов — концепция и дизайн исследования, редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи, консультативная поддержка по клинической и технической частям; Е.А. Грик, О.Ю. Панина — концепция и дизайн исследования, анализ МР-исследований, описание клинических случаев; А.Н. Хоружая — анализ литературы, написание текста статьи, редактирование.

Согласие пациента. Пациенты добровольно подписали информированное согласие на публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме в журнале Digital Diagnostics.

Благодарности. Авторы выражают признательность за помощь в разработке концепции исследования, а также за организационную и методическую поддержку К.А. Сергуновой, С.П. Морозову, А.Г. Масри, А.В. Мидаеву и Э.А. Сулейманову.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The article was prepared with the support of the Moscow Department of Health as part of the research work (No. EGISU: AAAA-A21-123031500007-6) in accordance with the program "Scientific support of the capital's healthcare" for 2023-2025.

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, A.V. Bazhin, Yu.N. Vasilyeva, D.S. Semenov — concept and design of the study, editing and approval of the final version of the manuscript text, advisory support for clinical and technical parts; E.A. Grik, O.Yu. Panina — study concept and design, analysis of MRI studies, description of clinical cases; A.N. Khoruzhaya — literature analysis, writing the text of the article, editing.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript Digital Diagnostics journal.

Acknowledgments. The authors are grateful for the help in developing the concept of the study, as well as for the organizational and methodological support of K.A. Sergunova, S.P. Morozov, A.G. Masri, A.V. Midaev and E.A. Suleimanov.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shi H., Han X., Jiang N., et al. Radiological findings from 81 patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China: A descriptive study // *Lancet Infectious Dis.* 2020. Vol. 20, N 4. P. 425–434. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30086-4
2. Salehi S., Abedi A., Balakrishnan S., Gholamrezanezhad A. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A systematic review of imaging findings in 919 patients // *Am J Roentgenol.* 2020. Vol. 215, N 1. P. 87–93. doi: 10.2214/AJR.20.23034
3. ACR Recommendations for the use of chest radiography and computed tomography (CT) for suspected COVID-19 infection [cited March 11, 2020]. Режим доступа: <https://www.acr.org/Advocacy-and-Economics/ACR-Position-Statements/Recommendations-for-Chest-Radiography-and-CT-for-Suspected-COVID19-Infection>. Дата обращения: 15.01.2023.
4. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 16 (18.08.2022). Москва, 2022. 249 с.
5. Vasiliev Y.A., Sergunova K.A., Bazhin A.V., et al. Chest MRI of patients with COVID-19 // *Magn Reson Imaging.* 2021. N 79. P. 13–19. doi: 10.1016/j.mri.2021.03.005
6. Vasiliev Y.A., Sergunova K.A., Bazhin A.V., et al. Chest MRI of a pregnant woman with COVID-19 pneumonia // *Digital Diagnostics.* 2020. Vol. 1, N 1. P. 61–68. doi: 10.17816/DD46800
7. Васильев Ю.А., Панина О.Ю., Кудрявцев Н.Д., и др. Магнитно-резонансная томография легких. Методические рекомендации.

Вып. 92. Москва, 2022. 102 с. (Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»).

8. Dong D., Tang Z., Wang S., et al. The role of imaging in the detection and management of COVID-19: A review // *IEEE Rev Biomed Eng.* 2020. N 14. P. 16–29. doi: 10.1109/RBME.2020.2990959
9. Fields B.K., Demirjian N.L., Dadgar H., Gholamrezanezhad A. Imaging of COVID-19: CT, MRI, and PET // *Semin Nucl Med.* 2021. Vol. 51, N 4. P. 312–320. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2020.11.003
10. Langenbach M.C., Hokamp G.N., Persigehl T., Bratke G. MRI appearance of COVID-19 infection // *Diagn Interv Radiol.* 2020. Vol. 26, N 4. P. 377–378. doi: 10.5152/dir.2020.20152
11. Fonseca E.K., Chate R.C., Neto R.S., et al. Findings of COVID-19 on magnetic resonance imaging // *Radiology Cardiothoracic Imaging.* 2020. Vol. 2, N 2. P. e200193. doi: 10.1148/ryct.2020200193
12. Torkian P., Rajebi H., Zamani T., et al. Magnetic resonance imaging features of coronavirus disease 2019 (COVID-19) pneumonia: The first preliminary case series // *Clin Imaging.* 2021. Vol. 69. P. 261–265. doi: 10.1016/j.clinimag.2020.09.002
13. Ates O.F., Taydas O., Dheir H. Thorax magnetic resonance imaging findings in patients with coronavirus disease (COVID-19) // *Acad Radiol.* 2020. Vol. 27, N 10. P. 1373–1378. doi: 10.1016/j.acra.2020.08.009
14. Ussov W.Y., Nudnov N.V., Ignatenko G.A., et al. Primary and prospective imaging of the chest using magnetic resonance imaging in patients with viral lung damage in COVID-19 // *Med Visualizat.* 2020. T. 24, N 4. C. 11–26. doi: 10.24835/1607-0763-2020-4-11-26

REFERENCES

1. Shi H., Han X., Jiang N., et al. Radiological findings from 81 patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China: A descriptive study. *Lancet Infectious Dis.* 2020;20(4):425–434. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30086-4
2. Salehi S., Abedi A., Balakrishnan S., Gholamrezanezhad A. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A systematic review of imaging findings in 919 patients. *Am J Roentgenol.* 2020;215(1):87–93. doi: 10.2214/AJR.20.23034
3. ACR Recommendations for the use of chest radiography and computed tomography (CT) for suspected COVID-19 infection [cited

March 11, 2020]. Available from: <https://www.acr.org/Advocacy-and-Economics/ACR-Position-Statements/Recommendations-for-Chest-Radiography-and-CT-for-Suspected-COVID19-Infection>. Accessed: 15.01.2023.

4. Temporary guidelines "Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19)". Version 16 (08/18/2022). Moscow, 2022. 249 p. (In Russ).
5. Vasiliev YA, Sergunova KA, Bazhin AV, et al. Chest MRI of patients with COVID-19. *Magn Reson Imaging.* 2021;(79):13–19. doi: 10.1016/j.mri.2021.03.005

6. Vasilev YuA, Sergunova KA, BazhinAV, et al. Chest MRI of a pregnant woman with COVID-19 pneumonia. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):61–68. doi: 10.17816/DD46800
7. Vasiliev YuA, Panina OYu, Kudryavtsev ND, et al. Magnetic resonance imaging of the lungs: methodological recommendations. Issue 92. Moscow; 2022. 102 p. (Series «The best practices of radiation and instrumental diagnostics»). (In Russ).
8. Dong D, Tang Z, Wang S, et al. The role of imaging in the detection and management of COVID-19: A review. *IEEE Rev Biomed Eng*. 2021;(14):16–29. doi: 10.1109/RBME.2020.2990959
9. Fields BK, Demirjian NL, Dadgar H, Gholamrezanezhad A. Imaging of COVID-19: CT, MRI, and PET. *Semin Nucl Med*. 2021;51(4):312–320. doi: 10.1053/j.semnucmed.2020.11.003
10. Langenbach MC, Hokamp GN, Persigehl T, Bratke G. MRI appearance of COVID-19 infection. *Diagn Interv Radiol*. 2020;26(4):377–378. doi: 10.5152/dir.2020.20152
11. Fonseca EK, Chate RC, Neto RS, et al. Findings of COVID-19 on magnetic resonance imaging. *Radiology Cardiothoracic Imaging*. 2020;2(2):e200193. doi: 10.1148/ryct.2020200193
12. Torkian P, Rajebi H, Zamani T, et al. Magnetic resonance imaging features of coronavirus disease 2019 (COVID-19) pneumonia: The first preliminary case series. *Clin Imaging*. 2021;(69):261–265. doi: 10.1016/j.clinimag.2020.09.002
13. Ates OF, Taydas O, Dheir H. Thorax magnetic resonance imaging findings in patients with coronavirus disease (COVID-19). *Acad Radiol*. 2020;27(10):1373–1378. doi: 10.1016/j.acra.2020.08.009
14. Ussov WY, Nudnov NV, Ignatenko G, et al. Primary and prospective imaging of the chest using magnetic resonance imaging in patients with viral lung damage in COVID-19. *Med Visualizat*. 2020;24(4):11–26. (In Russ). doi: 10.24835/1607-0763-2020-4-11-26

ОБ АВТОРАХ

* Хоружая Анна Николаевна;

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4857-5404>;
eLibrary SPIN: 7948-6427; e-mail: a.khoruzhaya@npcmr.ru

Васильев Юрий Александрович, к.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>;
eLibrary SPIN: 4458-5608; e-mail: y.vasilev@npcmr.ru

Грик Евгения Андреевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7908-3982>;
eLibrary SPIN: 5558-7307; e-mail: evgeniyagrik@gmail.com

Панина Ольга Юрьевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8684-775X>;
eLibrary SPIN: 5504-8136; e-mail: o.panina@npcmr.ru

Семенов Дмитрий Сергеевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;
eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: d.semenov@npcmr.ru

Бажин Александр Владимирович;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3198-1334>;
eLibrary SPIN: 6122-5786; e-mail: a.bazhin@npcmr.ru

Васильева Юлия Николаевна, к.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1066-3989>;
eLibrary SPIN: 9777-2067; e-mail: drugya@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* Anna N. Khoruzhaya;

address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4857-5404>;
eLibrary SPIN: 7948-6427; e-mail: a.khoruzhaya@npcmr.ru

Yuriy A. Vasilev, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>;
eLibrary SPIN: 4458-5608; e-mail: y.vasilev@npcmr.ru

Evgeniia A. Grik;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7908-3982>;
eLibrary SPIN: 5558-7307; e-mail: evgeniyagrik@gmail.com

Olga Yu. Panina;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8684-775X>;
eLibrary SPIN: 5504-8136; e-mail: o.panina@npcmr.ru

Dmitriy S. Semenov;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;
eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: d.semenov@npcmr.ru

Alexander V. Bazhin;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3198-1334>;
eLibrary SPIN: 6122-5786; e-mail: a.bazhin@npcmr.ru

Yulia N. Vasileva, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1066-3989>;
eLibrary SPIN: 9777-2067; e-mail: drugya@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123559>

Системы искусственного интеллекта в клинической физиологии: как сделать их обучение эффективным?

Д.В. Шутов¹, Д.Е. Шарова¹, Л.Р. Абуладзе¹, Д.В. Дроздов²¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация² Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Клиническая физиология — раздел медицинских наук о роли и характере изменений физиологических процессов, происходящих в организме при предпатологических и патологических состояниях, — предполагает полное, комплексное, многостороннее исследование функций как поражённых, так и здоровых органов, что позволяет оценить компенсаторные возможности организма.

Программное обеспечение и различные программно-аппаратные комплексы, созданные с использованием технологий искусственного интеллекта, всё активнее применяются в различных отраслях медицины, в том числе и в клинической физиологии. Этому способствуют появление наборов медицинских данных, увеличение вычислительных мощностей, развитие облачных сервисов, а также многочисленные публикации, демонстрирующие эффективность и перспективность применения подобных интеллектуальных решений.

Несмотря на то, что в целом подход к формированию медицинских наборов данных схож, в клинической физиологии имеется целый ряд ключевых особенностей и существенных отличий. Соблюдение предлагаемых нами правил по формированию наборов данных потенциально позволит эффективно обучить системы искусственного интеллекта в области клинической физиологии и применять их на практике.

Вступивший в силу национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59921.9-2022 входит в комплекс стандартов «Системы искусственного интеллекта в клинической медицине» и устанавливает дополнительные требования к алгоритмам анализа данных и методам испытаний систем искусственного интеллекта, применяемых в области клинической физиологии. Важной особенностью нового стандарта является его квазиметрический тип (прилагается обязательный набор демонстрационных данных).

Россия одной из первых стран в мире приступила к разработке квазиметрических стандартов, и уже в текущем году вступят в силу 15 отраслевых стандартов в сфере искусственного интеллекта (из них два — по медицине).

Ключевые слова: набор данных; электрокардиография; клиническая физиология; аннотирование; автоматический анализ ЭКГ.

Как цитировать

Шутов Д.В., Шарова Д.Е., Абуладзе Л.Р., Дроздов Д.В. Системы искусственного интеллекта в клинической физиологии: как сделать их обучение эффективным? // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 1. С. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123559>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123559>

Artificial intelligence in clinical physiology: How to improve learning agility

Dmitry V. Shutov¹, Dariya E. Sharova¹, Liya R. Abuladze¹, Dmitrii V. Drozdov²

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Clinical physiology involves a complete, comprehensive, multilateral study of the functions of both affected and healthy organs, which allows us to assess the compensatory capabilities of the body.

Artificial intelligence is increasingly being used in medicine, including in clinical physiology. This is facilitated by the increase in computing processing power, development of cloud services and datasets, and numerous scientific articles demonstrating the effectiveness and viability of such intelligent solutions.

Although the approach to medical dataset development is generally similar, there are a number of key features and significant differences in clinical physiology. Artificial intelligence systems in clinical physiology may be effectively trained and applied in practice by following the recommendations in this study.

The national standard of the Russian Federation GOST R 59921.9-2022, which has entered into force, is included in the set of standards "Artificial Intelligence systems in clinical medicine" and establishes additional requirements for data analysis algorithms and test methods of artificial intelligence systems used in the field of clinical physiology. A crucial feature of the created standard is its qualimetric type (i.e., it has a mandatory set of demonstration data).

Russia is one of the first countries to start developing quasi-metric standards worldwide, and 15 industry standards in the field of artificial intelligence (2 of them in medicine) will come into force this year.

Keywords: dataset; electrocardiograph; clinical physiology; annotation; automated ECG interpretation.

To cite this article

Shutov DV, Sharova DE, Abuladze LR, Drozdov DV. Artificial intelligence in clinical physiology: How to improve learning agility. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):81–88. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123559>

Received: 18.01.2023

Accepted: 24.01.2023

Published: 24.03.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123559>

临床生理学中的人工智能系统：如何使其训练有效？

Dmitry V. Shutov¹, Dariya E. Sharova¹, Liya R. Abuladze¹, Dmitrii V. Drozdov²¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation² National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russian Federation

简评

临床生理学是关于在病理前和病理情况下身体内发生的生理过程变化的作用和性质的一个医学科学分支，它要求对患病和健康器官的功能进行完整、全面、多边的研究，从而允许评估身体的补偿能力。

使用人工智能技术创造的软件和各种硬件系统更积极地被用于医学的各个领域，包括临床生理学。医疗数据集的出现、不断提高的计算能力、云服务的发展以及证明这种智能解决方案的有效性和前景的众多出版物都有助于这个过程。

虽然医学数据集的形成方法大体相似，但临床生理学有一系列关键特征和显著差异。遵守我们提出的数据集形成规则将有可能使临床生理学中的人工智能系统接受有效的训练并得到实际应用。

生效的俄罗斯联邦GOST R 59921.9-2022标准被纳入“临床医学中的人工智能系统”这套标准，这种标准对临床生理学中使用的人工智能系统的数据分析算法和测试方法提出额外要求。新标准的一个重要特点是其拟度量类型（附有一套强制性的示范数据）。

俄罗斯是世界上最早开始制定拟度量标准的国家之一，人工智能方面的15项行业标准（其中两项是与医学方面有关的）将于今年生效。

关键词：数据集，心电描记法，临床生理学，注释，心电图自动分析。

To cite this article

Shutov DV, Sharova DE, Abuladze LR, Drozdov DV. 临床生理学中的人工智能系统：如何使其训练有效？ *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):81–88.
DOI: <https://doi.org/10.17816/DD123559>

收到: 18.01.2023

接受: 24.01.2023

发布日期: 24.03.2023

ВВЕДЕНИЕ

Клиническая физиология — раздел медицинских наук о роли и характере изменений физиологических процессов, происходящих в организме при предпатологических и патологических состояниях. Клиническая физиология предполагает полное, комплексное, многостороннее исследование функций организма, причём не только поражённых органов, но также и здоровых, что позволяет оценить компенсаторные возможности организма [1].

Системы искусственного интеллекта (СИИ) применяются всё шире и практически во всех отраслях медицины [2]: это и значительное число работ по оценке электрокардиографии (ЭКГ), в том числе посредством смарт-часов [3–7], и нарастающее количество исследований в области компьютерного зрения по всему миру [8, 9], и разработка различных интеллектуальных решений¹. Так, например, ресурс PhysioNet² включает в себя огромное количество открытых наборов данных с различными патологиями. Наиболее крупные публичные наборы данных по ЭКГ включают в себя 21 837 [10] и 10 646 ЭКГ [11] соответственно, однако, несмотря на актуальность вопроса, формирование таких наборов данных остаётся большой проблемой и требует детального подхода.

Таким образом, при анализе публичных открытых наборов данных по ЭКГ нами были сформулированы следующие основные проблемы:

- 1) различия технических условий регистрации ЭКГ: частота дискретизации, значение младшего значащего разряда, разрядность аналого-цифрового преобразователя, длительность записи, число каналов;
- 2) несовместимые языки (тезаурусы) описаний: разные «школы», разные контингенты пациентов, разные конечные цели использования;
- 3) несбалансированность по классам ЭКГ-нарушений как внутри набора данных, так и наборов данных с генеральной совокупностью;
- 4) сомнения в качестве аннотирования/классификации;
- 5) недостаток или отсутствие клинических сведений (метаданных).

В применении к другим методам диагностики и контроля в клинической физиологии эти проблемы могут бытькратно увеличены. Это связано с тем, что для формирования набора данных и последующего обучения СИИ

в клинической физиологии могут использоваться следующие данные³:

- 1) значения физиологических параметров (артериальное давление, число сердечных сокращений, значение сатурации);
- 2) оцифрованные биологические сигналы (электрокардиограмма, показатель давления в сосуде);
- 3) индуцированные и отражённые сигналы (нейромиограмма, реограмма, доплеровская кривая, М-развёртка ультразвукового исследования);
- 4) динамические изображения (кинопетли);
- 5) комплексные данные.

МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАБОРОВ ДАННЫХ. А ЕСТЬ ЛИ ОТЛИЧИЯ?

Методология создания набора данных в клинической физиологии в целом схожа с таковой в лучевой диагностике [12]: планирование; формирование тезауруса или глоссария, критериев включения и исключения; подбор экспертов и модератора; анализ данных на соответствие критериям включения; согласование аннотаций; многоуровневая модерация, однако есть ключевые различия.

1. Так, существенно отличается последовательность обработки массива данных. Последовательность работ при подготовке набора данных (числовые ряды, графики, отдельные измерения) следующая:

- сегментация (разметка) данных;
- измерение данных;
- маркировка (аннотирование) данных — процедура присвоения словесного (семантического) значения объекту или совокупности данных;
- классификация данных.

2. Для классификации простых (бинарных) свойств объектов достаточно использования словаря (глоссария), для мультиклассовых объектов необходимо использование тезауруса.

3. Существует целый ряд менее очевидных и сложнo классифицируемых факторов, которые, тем не менее, могут привести к существенным ошибкам при создании набора данных^{4, 5}:

- для выполнения исследований в клинической физиологии необходима высокая квалификация опе-

¹ Центр диагностики и телемедицины [интернет]. ИИ-сервисы в лучевой диагностике. Режим доступа: <https://mosmed.ai/>.

² PhysioNet [Internet]. The Research Resource for Complex Physiologic Signals. Режим доступа: <https://physionet.org/>.

³ ГОСТ Р 55036-2012/ISO/TS 25237:2008. Национальный стандарт Российской Федерации. Информатизация здоровья. Псевдонимизация. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200100339>.

⁴ Там же.

⁵ ГОСТ Р 59921.5. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы искусственного интеллекта в клинической медицине. Часть 5. Требования к структуре и порядку применения набора данных для обучения и тестирования алгоритмов. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200183858>.

раторов, фактор операторозависимости является одним из центральных при формировании исходных данных;

- при формировании итогового набора данных должен быть проведён анализ представленного массива исследований на предмет следующих факторов: достаточная длительность записи, количество каналов, отключение фильтрации сигнала, а также соответствие принятым техническим параметрам, динамический диапазон, соотношение сигнал/шум, формат хранения результатов;
- эксперты и модераторы, участвующие в разметке, должны иметь достаточную квалификацию для проведения такой работы: сведения об их квалификации и вкладе должны быть приведены в отчёте об испытании СИИ, хотя обезличивание данных допускается;
- для проведения испытаний СИИ для клинической физиологии должен быть создан набор оборудования и программных средств; в то же время характеристики аппаратного и программного обеспечения должны превышать минимальные требования, устанавливаемые изготовителем СИИ, и учитывать типичные характеристики вычислительных средств конкретного или потенциального пользователя СИИ.

КРИТЕРИИ ВКЛЮЧЕНИЯ И ИСКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ ОТБОРА ЗАПИСЕЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НАБОРА ДАННЫХ В КЛИНИЧЕСКОЙ ФИЗИОЛОГИИ

Критерии исключения (абсолютные, достаточно одного из них):

- записи представлены в проприетарном формате, производитель отказывается создавать согласующий слой;
- несоблюдение технических условий сохранённых данных (например, для цифровой ЭКГ длительность каждой записи менее 10 сек, частота дискретизации менее 500 Гц, значение младшего значащего разряда более 5 мкВ, разрядность аналого-цифрового преобразователя менее 10 бит);
- доступ к метаданным невозможен или существенно ограничен;
- менее 70% ЭКГ, включённых в финальный набор данных, правильно проаннотированы и классифицированы.

Критерии включения (должны быть соблюдены все):

- записи представлены в одном из форматов: WDBF, EDF, aECG (HL-7), SCP-ECG, DICOM-ECG, XML;
- соблюдение технических параметров сохранённых данных (например, для цифровой ЭКГ длительность каждой записи не менее 10 сек, частота дискретизации не менее 500 Гц, значение младшего значащего разряда 5 мкВ, разрядность аналого-цифрового преобразователя не менее 10 бит);
- доступ к метаданным не ограничен;
- не менее 90% ЭКГ, включённых в финальный набор данных, правильно проаннотированы и классифицированы.

Представляется важным заметить, что наборы данных для обучения СИИ должны отражать весь вариативный ряд возможных феноменов (синдромов, диагнозов, исходов) — от самых редких (казуальных) до самых частых. Необходимость соблюдения вариативности гендерных и расовых различий пациентов определяется видом набора данных (например, эти метаданные являются обязательными при оценке параметров функции внешнего дыхания). Частотная представленность феноменов (синдромов) в популяции имеет меньший приоритет при формировании набора данных. В случае использования несбалансированных по классам наборов данных для редких (казуальных) феноменов рекомендуется применять дополнительные метрики.

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЕ РАЗРАБОТКУ И ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ И МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЛАСТИ КЛИНИЧЕСКОЙ ФИЗИОЛОГИИ

Вступивший в силу с 1 января 2023 года национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59921.9-2022⁶ входит в комплекс стандартов с наименованием «Системы искусственного интеллекта в клинической медицине» и устанавливает дополнительные требования к алгоритмам анализа данных и методам испытаний СИИ, применяемых в области клинической физиологии.

Разработчики СИИ для клинической физиологии и все заинтересованные стороны смогут изучить требования:

- к процессам создания, подготовки [сегментация, измерение, детектирование, маркировка (аннотирование) и классификация] наборов данных для испытаний СИИ;

⁶ ГОСТ Р 59921.9-2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы искусственного интеллекта в клинической медицине. Алгоритмы анализа данных в клинической физиологии. Методы испытаний. Общие требования. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200193730>.

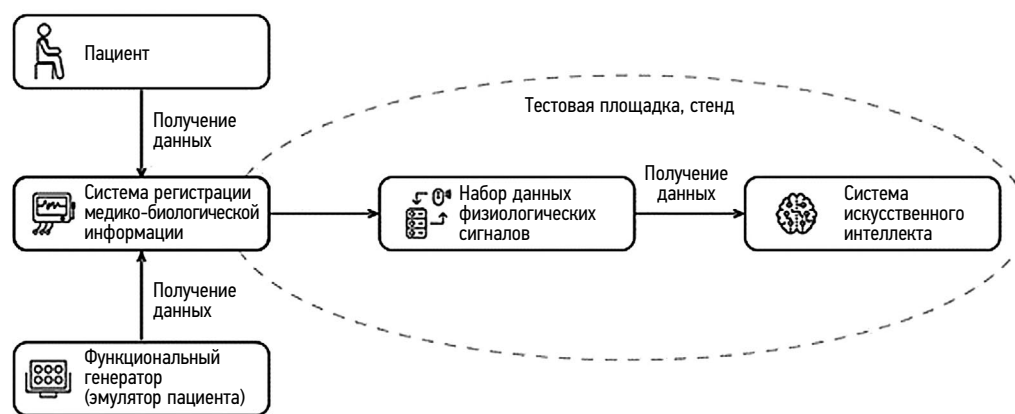


Рис. 1. Блок-схема проведения клинических испытаний с использованием наборов данных (один из возможных вариантов реализации).

- структуре, порядкам применения и условиям доступа наборов данных;
- организации терминологических ресурсов и представлению результатов анализа данных;
- информационному взаимодействию между медицинскими приборами, интеллектуальными системами и другими системами автоматизации, используемыми в здравоохранении;
- процессам и результатам технических, стендовых, лабораторных и клинических испытаний, пострегистрационного, эксплуатационного контроля программного обеспечения и программно-аппаратных комплексов на основе технологий искусственного интеллекта;
- форме и содержанию результатов работы программного обеспечения и программно-аппаратных комплексов на основе технологий искусственного интеллекта в соответствии с решаемыми задачами в сфере медицины и здравоохранения.

Особенностями нового национального стандарта, отличающими его от других ГОСТ Р «семейства» и англоязычных аналогов, являются прописанные требования к наборам данных. В частности, предложены три сценария: клинические испытания только на тестовой площадке (стенде) с использованием наборов данных; клинические испытания в медицинской организации; комбинированные клинические испытания. Все сценарии проиллюстрированы блок-схемами (рис. 1).

В стандарте предусмотрены также варианты испытаний для тестирования устойчивости СИИ к ошибкам во входных данных и тестирование на синтетических и комбинированных данных. Созданный ГОСТ Р позволяет испытывать СИИ, работающие с разными типами данных и разными форматами представления. Для испытаний

СИИ для клинической физиологии могут быть использованы:

- измеренные значения физиологических параметров (например, артериальное давление, число сердечных сокращений, значение сатурации и т.п.);
- оцифрованные биосигналы (например, электрокардиограмма, показатель давления в сосуде и т.п.);
- индуцированные и отражённые сигналы (нейромиограмма, реограмма, доплеровская кривая, М-развёртка ультразвукового исследования и т.п.);
- динамические изображения (кинопетли, например, в режиме ультразвукового исследования, видеозапись движения);
- комплексные данные, содержащие данные нескольких перечисленных выше типов (синхронизированные и синфазные).

Данные могут представлять собой результаты одиночных измерений (исследований пациентов), или могут быть подобраны таким образом, чтобы систематически представлять развитие патологических процессов (временной ряд однородных по составу измерений), или отражать динамику изменений при предъявлении градуированных стимулов (раздражителей), или отражать изменения показателей в зависимости от внешних условий (во сне, в покое, при физической или ментальной нагрузке, дистрессе и т.п.).

Важной особенностью созданного стандарта является и то, что он относится к типу квазиметрических ГОСТ Р, т.е. к нему идёт обязательный набор демонстрационных данных (рис. 2).

Россия одной из первых стран в мире стала разрабатывать квазиметрические стандарты. В 2023 году вступят в силу уже 15 отраслевых стандартов в сфере искусственного интеллекта, два из них — по медицине^{7, 8}.

⁷ ГОСТ Р 59921.7-2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы искусственного интеллекта в клинической медицине. Алгоритмы анализа медицинских изображений. Методы испытаний. Общие требования. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200193728>.

⁸ ГОСТ Р 59921.9-2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы искусственного интеллекта в клинической медицине. Алгоритмы анализа данных в клинической физиологии. Методы испытаний. Общие требования. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200193730>.

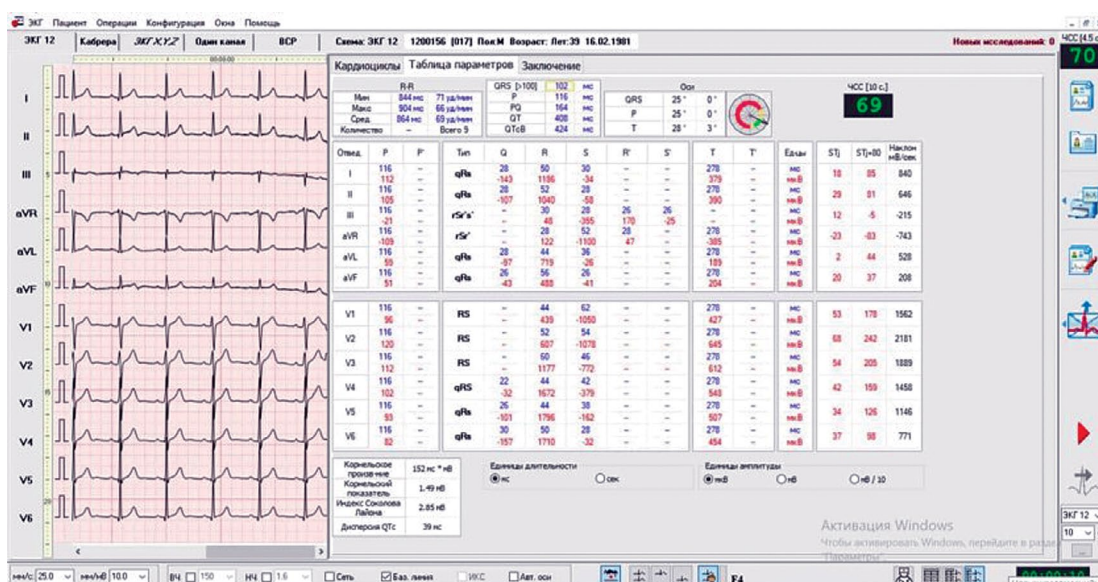


Рис. 2. Пример файла из демонстрационного набора данных ГОСТ Р 59921.9-2022 «Системы искусственного интеллекта в клинической медицине. Алгоритмы анализа данных в клинической физиологии. Методы испытаний».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Соблюдение вышеуказанных правил позволит получить набор данных для обучения СИИ таким образом, чтобы все три фазы клинических испытаний потенциально были пройдены, а именно: (1) тестирование на проверку корректности входных данных (распознавание сигналов, полученных с нарушением технологии исследования, а также содержащих артефакты и помехи); (2) тестирование на точность распознавания синдромов, феноменов, клинических эквивалентов и/или формирование заключения (аннотации) по согласованному тезаурусу или глоссарию; (3) тестирование на синтетических и комбинированных данных (распознавание синтетического сигнала-стимула, инициирующего или потенцирующего естественные сигналы, оценка эффективности или неэффективности стимуляции).

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

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

вклад в разработку концепции, проведение работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Д.В. Шутов, Д.В. Дроздов — концепция и дизайн работы, редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи, консультативная поддержка; Д.Е. Шарова — концепция и дизайн работы, анализ данных, написание текста статьи, редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи; Л.Р. Абуладзе — написание текста статьи, редактирование.

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. D.V. Shutov, D.V. Drozdov — work concept and design, editing and approval of the final version of the manuscript, advisory support; D.E. Sharova — work concept and design, data analysis, writing the text of the article, editing and approval the final version of the manuscript; L.R. Abuladze — writing the text of the article, editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курзанов А.Н. Клиническая физиология: становление, цели, задачи, пределы компетентности, место в системе высшего профессионального медицинского образования // Международный журнал экспериментального образования. 2012. № 4–2. С. 128–130.
2. Гусев А.В., Владимировский А.В., Шарова Д.Е., и др. Развитие исследований и разработок в сфере технологий искусственного

интеллекта для здравоохранения в Российской Федерации: итоги 2021 года // Digital Diagnostics. 2022. Т. 3, № 3. С. 178–194. doi: 10.17816/DD107367

3. Al-Mousily M.F., Baker G.H., Jackson L., et al. The use of a traditional nonlooping event monitor versus a loan-based program with a smartphone ECG device in the pediatric cardiology

- clinic // *Cardiovasc Digit Heal J.* 2021. Vol. 2, N 1. P. 71–75. doi: 10.1016/j.cvdhj.2020.11.008
4. Ding E.Y., Pathirivasan C.H., Schramm E., et al. Design, deployment, and usability of a mobile system for cardiovascular health monitoring within the electronic Framingham Heart Study // *Cardiovasc Digit Heal J.* 2021. Vol. 2, N 3. P. 171–178. doi: 10.1016/j.cvdhj.2021.04.001
5. Bashar S.K., Hossain M.B., Lázaro J., et al. Feasibility of atrial fibrillation detection from a novel wearable armband device // *Cardiovasc Digit Heal J.* 2021. Vol. 2, N 3. P. 179–191. doi: 10.1016/j.cvdhj.2021.05.004
6. Goodwin A.J., Eytan D., Greer R.W., et al. A practical approach to storage and retrieval of high-frequency physiological signals // *Physiol Meas.* 2020. Vol. 41, N 3. P. 035008. doi: 10.1088/1361-6579/ab7cb5
7. Bartlett V.L., Ross J.S., Shah N.D., et al. Physical activity, patient-reported symptoms, and clinical events: Insights into postprocedural recovery from personal digital devices // *Cardiovasc Digit Heal J.* 2021. Vol. 2, N 4. P. 212–221. doi: 10.1016/j.cvdhj.2021.06.002

8. Mishra S., Khatwani G., Patil R., et al. ECG paper record digitization and diagnosis using deep learning // *J Med Biol Eng.* 2021. Vol. 41, N 4. P. 422–432. doi: 10.1007/s40846-021-00632-0
9. Kashou A.H., Mulpuru S.K., Deshmukh A.J., et al. An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for comprehensive ECG interpretation: Can it pass the 'Turing test'? // *Cardiovasc Digit Heal J.* 2021. Vol. 2, N 3. P. 164–170. doi: 10.1016/j.cvdhj.2021.04.002
10. Wagner P., Strodthoff N., Bousseljot R.D., et al. PTB-XL, a large publicly available electrocardiography dataset // *Sci Data.* 2020. Vol. 7, N 1. P. 154. doi: 10.1038/s41597-020-0495-6
11. Zheng J., Zhang J., Danioko S., et al. A 12-lead electrocardiogram database for arrhythmia research covering more than 10,000 patients // *Sci Data.* 2020. Vol. 7, N 1. P. 48. doi: 10.1038/s41597-020-0386-x
12. М 80 Регламент подготовки наборов данных с описанием подходов к формированию репрезентативной выборки данных. Часть 1. Методические рекомендации / под ред. С.П. Морозова, А.В. Владимировского, А.Е. Андрейченко, и др. Москва, 2022. 40 с. (Серия: Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики).

REFERENCES

1. Kurzanov AN. Clinical physiology: formation, goals, tasks, limits of competence, place in the system of higher professional medical education. *International journal of experimental education.* 2012;(4):128–130. (In Russ).
2. Gusev AV, Vladimirovsky AV, Sharova DE, et al. Development of research and development in the field of artificial intelligence technologies for healthcare in the Russian Federation: results of 2021. *Digital Diagnostics.* 2022;3(3):178–194. (In Russ). doi: 10.17816/DD107367
3. Al-Mousily MF, Baker GH, Jackson L, et al. The use of a traditional nonlooping event monitor versus a loan-based program with a smartphone ECG device in the pediatric cardiology clinic. *Cardiovasc Digit Heal J.* 2021;2(1):71–75. doi: 10.1016/j.cvdhj.2020.11.008
4. Ding EY, Pathirivasan CH, Schramm E, et al. Design, deployment, and usability of a mobile system for cardiovascular health monitoring within the electronic Framingham Heart Study. *Cardiovasc Digit Heal J.* 2021;2(3):171–178. doi: 10.1016/j.cvdhj.2021.04.001
5. Bashar SK, Hossain MB, Lázaro J, et al. Feasibility of atrial fibrillation detection from a novel wearable armband device. *Cardiovasc Digit Heal J.* 2021;2(3):179–191. doi: 10.1016/j.cvdhj.2021.05.004
6. Goodwin AJ, Eytan D, Greer RW, et al. A practical approach to storage and retrieval of high-frequency physiological signals. *Physiol Meas.* 2020;41(3):035008. doi: 10.1088/1361-6579/ab7cb5
7. Bartlett VL, Ross JS, Shah ND, et al. Physical activity, patient-reported symptoms, and clinical events: Insights into postprocedural recovery from personal digital devices. *Cardiovasc Digit Heal J.* 2021;2(4):212–221. doi: 10.1016/j.cvdhj.2021.06.002
8. Mishra S, Khatwani G, Patil R, et al. ECG paper record digitization and diagnosis using deep learning. *J Med Biol Eng.* 2021;41(4):422–432. doi: 10.1007/s40846-021-00632-0
9. Kashou AH, Mulpuru SK, Deshmukh AJ, et al. An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for comprehensive ECG interpretation: Can it pass the 'Turing test'? *Cardiovasc Digit Heal J.* 2021;2(3):164–170. doi: 10.1016/j.cvdhj.2021.04.002
10. Wagner P, Strodthoff N, Bousseljot RD, et al. PTB-XL, a large publicly available electrocardiography dataset. *Sci Data.* 2020;7(1):154. doi: 10.1038/s41597-020-0495-6
11. Zheng J, Zhang J, Danioko S, et al. A 12-lead electrocardiogram database for arrhythmia research covering more than 10,000 patients. *Sci Data.* 2020;7(1):48. doi: 10.1038/s41597-020-0386-x
12. М 80 Regulations for the preparation of data sets with a description of approaches to the formation of a representative sample of data. Part 1. Methodological recommendations. Ed by S.P. Morozov, A.V. Vladimirovsky, A.E. Andreichenko, et al. Moscow; 2022. 40 p. (The series "Best practices of radiation and instrumental diagnostics"). (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* **Шутов Дмитрий Валериевич**, д.м.н.;
адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1836-3689>;
eLibrary SPIN: 9381-2456; e-mail: ShutovDV@zdrav.mos.ru

Шарова Дарья Евгеньевна;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>;
eLibrary SPIN: 1811-7595

Абуладзе Лия Руслановна, м.н.с.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>;
eLibrary SPIN: 8640-9989; e-mail: AbuladzeLR@zdrav.mos.ru

Дроздов Дмитрий Владимирович, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7374-3604>;
eLibrary SPIN: 2279-9657; e-mail: cardioexp@gmail.com

AUTHORS' INFO

* **Dmitry V. Shutov**, MD, Dr. Sci. (Med.);
address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1836-3689>;
eLibrary SPIN: 9381-2456; e-mail: ShutovDV@zdrav.mos.ru

Dariya E. Sharova;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>;
eLibrary SPIN: 1811-7595

Liya R. Abuladze, Junior Research Associate;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>;
eLibrary SPIN: 8640-9989; e-mail: AbuladzeLR@zdrav.mos.ru

Dmitrii V. Drozdov, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7374-3604>;
eLibrary SPIN: 2279-9657; e-mail: cardioexp@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author