



MOSCOW CENTER
FOR DIAGNOSTICS & TELEMEDICINE

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

DIGITAL DIAGNOSTICS

A peer-reviewed scientific medical journal

4 Volume 1 Issue



2023



ECO • VECTOR

<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*

Сдано в набор 04.04.2023.

Подписано в печать 13.04.2023. Формат 60 × 88%.

Печать офсетная. Печ. л. 11,25. Усл. печ. л. 10,5.

Уч.-изд. л. 6,1. Тираж 5000 экз. Заказ № 3-3062-IV.

Цена свободная.

Отпечатано в ООО «Типография Фурсова».

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

Тел.: +7 (812) 646-33-77



© ООО «Эко-Вектор», 2023

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

Митяков 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

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



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

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

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. Gomboleviskiy³, 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 mm/<100 mm³ and a false-negative nodule as a nodule ≥6 mm/≥100 mm³.

RESULTS: Overall, 293 patients were included (166 men; mean age, 64.6 ± 5.3 years); 199 lung nodules were <6 mm/<100 mm³ and 94 were ≥6 mm/≥100 mm³. 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, Gomboleviskiy 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立方毫米的病灶视为假阳性，≥6毫米/≥立方100毫米的病灶视为假阴性。

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

论证

肺癌仍然是全球十大死亡原因之一，主要是由于诊断过晚¹。然而，研究表明，用低剂量计算机断层扫描（LDCT）进行筛查可以大大降低高危人群的肺癌死亡率[1]。用LDCT进行筛查的目的是在早期发现肺癌，主要包括肺部结节的检测、分类和记录。为了促进上述任务的实施，已经制定了许多关于肺部结节的指南，包括国际早期肺癌行动计划（International Early Lung Cancer Action Program, I-ELCAP）[2]、肺部影像报告和数据系统²（Lung CT Screening Reporting And Data System, Lung-RADS）[4]，以及英国胸科协会（British Thoracic Society, BTS）[5]、欧洲肺癌筛查立场声明（EUPS）[6]和美国国家综合癌症网络（National Comprehensive Cancer Network, NCCN）[7]的建议。

根据荷兰-比利时NELSON肺癌筛查，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%[1]，所以在EUPS[6]方案和后来的NELSON-plus[8]方案中已经批准并推荐使用半自动的体积测量法。BTS关于LDCT数据确定的肺部病灶记录的临床指南指出，在可能的情况下，与其使用线性尺寸测量方法，不如使用容量分析法。

NELSON研究的结果证明了用LDCT进行肺癌筛查的有效性[9]，不过根据病人的体重，筛查的有效照射剂量为0.4至1.6毫西弗[10]。同时，根据卫生标准和规范SanPin 2.6.1.2523-09³，放射性预防检查的年度有效剂量不应超过1毫西弗。如此一来，在莫斯科肺癌筛查试点项目中，辐射剂量被限制在0.7毫西弗[12]。据我们所知，到目前为止，还没有验证性的研究来对作为肺癌筛查一部分的辐射剂量小于1毫西弗（超LDCT）的计算机断层扫描数据的容量分析数据和最大线性尺寸估计进行比较。莫斯科肺癌筛查项目的结果为开展这样的研究提供了一个宝贵的机会[13]。

研究的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

研究设计

一项回顾性横断面研究。

评审标准

纳入标准：年龄为50至80岁；吸烟指数为 ≥ 30 包/年；目前吸烟或戒烟时间不超过15年；在此期间存在超LDCT研究；没有肺癌的病史。

排除标准。根据LDCT检查，肺部没有病灶；有肺癌病史；曾经做过肺部手术（不包括肺部活检）；有严重的心血管、免疫、呼吸或内分泌疾病，预期寿命小于5年；有急性呼吸道疾病；在LDCT前至少12周内服用抗生素；在筛查前一年内有咯血或重量损失超过10公斤。

研究进行的条件

该研究包括莫斯科肺癌筛查试点项目的293名参与者。选择过程的略图如图1所示。本研究是在2017年1月2日莫斯科卫生局第49号命令的框架内进行的。

研究持续时间

该数据集包括2017年2月至2018年2月的LDCT结果。

医疗干预的描述

扫描是在10个综合诊所进行的，每个综合诊所使用一台CT扫描仪。所有CT扫描仪都是东芝Aquilion 64型号（Canon Medical Systems, 日本）：64排CT扫描仪，管电压为135千伏，电流为15至25毫安（取决于病人体重：<69公斤——15毫安；70-90公斤——20毫安；>90公斤——25毫安），旋转时间为0.50秒，步长为1.484，切片厚度为1毫米，切片步长为1毫米。阴模大小为512，重建过滤器为FC07。两台断层扫描仪使用了供应商特定的迭代重建算法（AIDR 3D），而其余八台断层扫描仪则使用了带有量子降噪软件的过滤反投影法（FBP/QDS+）[13]。只保存了轴向的切片。扫描后，最大强度投影（MIP）和多平面重建被用于数据分析。

在最大吸气深度时的屏气扫描时间为 ≤ 10 秒。扫描区域是由从肺尖到肋膈窦的断层图定义的。从肋骨到图像重建区边缘的距离小于1厘米。CTDIvol（计算机断层扫描剂量指数）体积重量加权指数取决于患者体重：<69公斤——0.8毫戈瑞，70-90公斤——1.0毫戈瑞，>90公斤——1.2毫戈瑞。辐射剂量是根据病人的体重单独调整的。

研究的主要结局

共测量了1450个肺部病灶，其中878个（61%）为实性病灶，572个（39%）为亚实性病灶，为每

¹ 世界卫生组织[互联网]。10大死因[2020年12月9日引用]。访问模式：<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>。

² 美国放射学会。肺部影像报告和数据系统（Lung-RADS®），1.1版[2021年3月30日引用]。访问模式：<https://www.acr.org/Clinical-Resources/Reporting-and-Data-Systems/Lung-Rads>。

³ 2009年7月7日俄罗斯联邦国家首席卫生医生第47号法令，确认SanPiN 2.6.1.2523-09 《辐射安全标准（NRB-99/2009）》。访问模式：<https://docs.cntd.ru/document/902170553>。

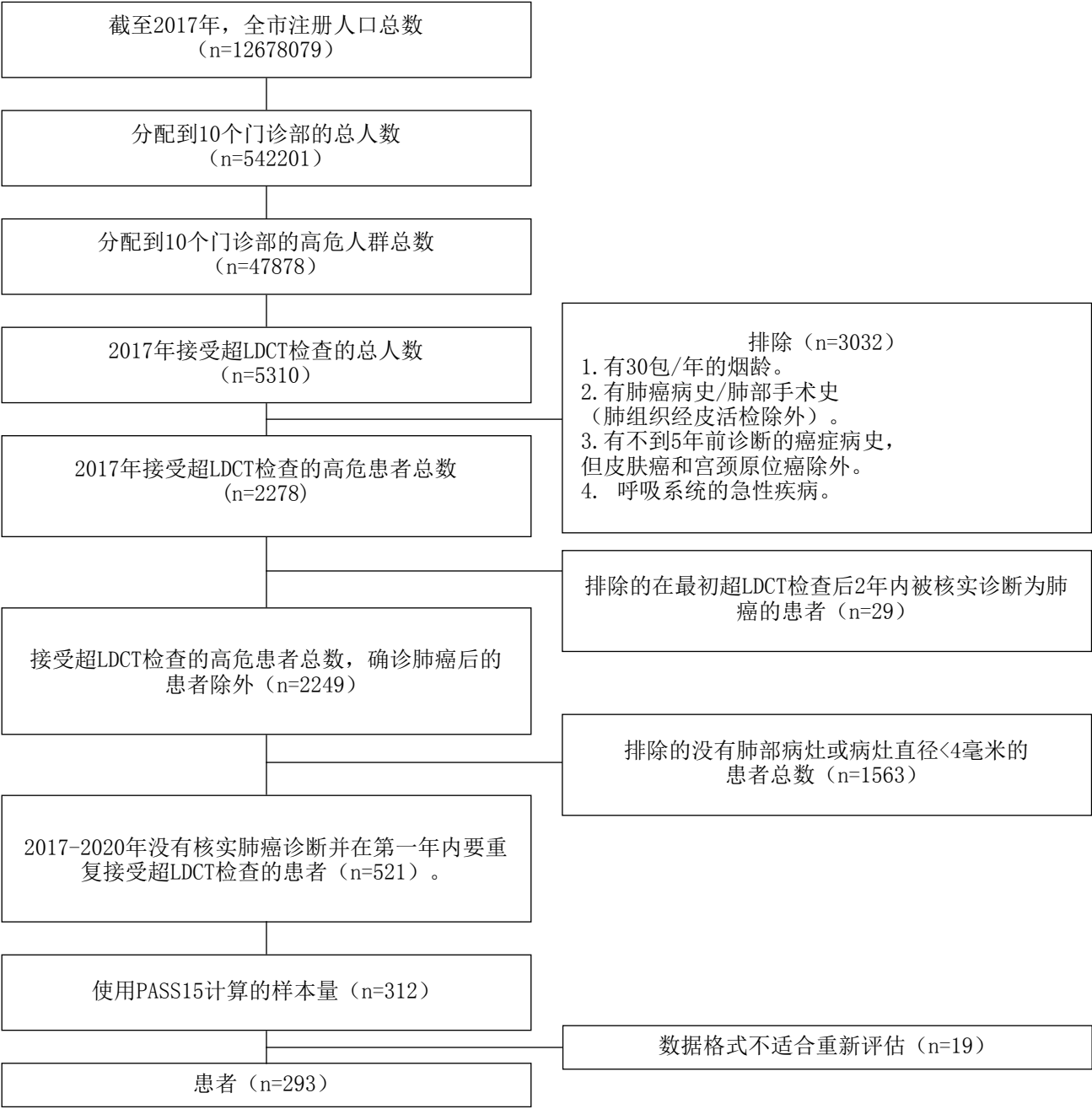


图1。研究的患者选择过程。

个患者都选择了其中最大的病灶。选择最大的病灶后，293个病灶被纳入最终分析。每个专家的按线性尺寸和体积的病灶分布情况见表1。经过协商一致的決定，199个肺部病灶被归类为良性（<6毫米/<100毫米³），94个需要进一步监测（≥6毫米/≥100毫米³）。

道德审查

该研究于2017年5月20日获得俄罗斯总统府中央临床医院与综合医院（莫斯科）独立地方伦理委员会的批准。所有研究参与者都签署了知情同意书。

统计分析

肺部病灶的线性尺寸被四舍五入到最接近的整数。使用了皮尔森卡方检验以进行肺部病灶体积和线性尺寸之间的差异、假阳性和假阴性的差距分析。用Fleiss’ kappa来确定三位独立专家之间的一致性。我们使用Landis和Koch（1977）建立的分类来解释这个度量值：差（poor）一致性不超过0，轻微（slight）一致性为0.00–0.20，中等（fair）一致性为0.21–0.40，适中（moderate）一致性为0.41–0.60，大量（substantial）一致性为0.61–0.80，几乎完全（almost perfect）一致性超过0.81[14]。所有的统计计算都是用

SPSS 26版本软件进行的； $p<0.05$ 被认为有统计学意义的。

结果

调查对象（参与者）

共有293名参与者被纳入研究，其中166名患者（57%）为男人，年龄在50–80岁（平均年龄为 64.6 ± 5.3 岁），平均烟龄为 34.5 ± 10.7 岁。

研究的主要结果

就体积测量而言，专家1、2和3与参考标准不一致的病灶数分别为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]。当测量线性尺寸时，专家1、2和3的错误病灶测量数分别为192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]（表2）。根据BTS的建议，使用80毫米³的阈值，发现错误测量的数量增加了：专家1有35个错误，专家2有50个，专家3有41个。

从三位检查者的平均数来看，在体积测量中共有30个（10.2%）错误，而在线性尺寸测量中则有147个（50.2%）（ $p<0.001$ ）。容量分析法的假阳性（9；3.1%）明显少于线性尺寸测量的（63；21.5%； $p<0.001$ ），假阴性（分别为21；7.2%，与84；28.7%； $p<0.001$ ）也明显少。

专家之间的一致性分析显示，体积测量的一致性大于线性尺寸测量的。对于体积测量，Fleiss’ kappa为0.672（显著一致性，95%置信区间为0.670–0.674），而对于线性尺寸测量，Fleiss’ kappa为0.027（不显著一致性，95%置信区间为0.025–0.029）。

讨论

研究主要结果的摘要

根据我们的数据，使用容量分析法比使用线性尺寸测量更好，因为有助于显著减少错误的病灶解释，同时假阴性的数量和结果也都减少。与线性尺寸测量相比，使用体积分类时，专家之间的一致性更高。

研究主要结果的讨论

我们的结果与NELSON研究的结果一致，并证实了对超LDCT获得的结果使用肺部病灶容量分析法的有效性。M. Oudkerk等人的一项研究[7]显示，进行LDCT时只使用线性尺寸测量不能准确解释病灶大小，特别是在有争议的病例中。当根据线性尺寸外推体积时，测量8–10毫米的病灶属于50–500立方毫米的体积组，与半自动体积测量相比，使用线性尺寸测量会导致病灶体积被明显高估。在此之前，M. P. Revel等人的一项研究[14]也报道了中小型病灶分析中的问题：专家内和专家间的一致意见显示，两个不同放射科医生评估时，测量误差为1.73毫米。此外，根据X. Xie等人的一项研究

表1. 每个专家的按线性尺寸和NELSON-plus/EUPS类别的病灶分布情况

指标	专家1	专家2	专家3
线性尺寸			
≥6毫米的病灶	101	147	191
<6毫米的病灶	192	146	102
体积			
≥100立方毫米	223	194	217
<100立方毫米	70	99	76

表2. 经过体积和线性尺寸测量的每个专家的结果和不一致之处

指标	专家1	专家2	专家3
体积			
假阳性	4 (1,4)	17 (5,8)	6 (2,0)
假阴性	28 (9,6)	12 (4,1)	24 (8,2)
每个专家的不一致之处	32 (10,9)	29 (9,9)	30 (10,2)
线性尺寸			
假阳性	107 (36,5)	58 (19,8)	23 (7,8)
假阴性	85 (29,0)	88 (30,0)	79 (27,0)
每个专家的不一致之处	192 (65,5)	146 (49,8)	102 (34,8)

注：括号内为病灶总数的百分比（n=293）。

[15], с искусственным измерением, с использованием полуприборного метода измерения точности выше. И, Европейское общество (ESR) и Европейское общество (European Society of Radiology, ESR) и Европейское общество (European Respiratory Society, ERS) рекомендуют использовать алгоритмы искусственного интеллекта в пределах емкости анализа [16]. В другом исследовании о метках легочных узлов в методе исследования, несколько радиологов обнаружили, что измерение диаметра узла, количество оценок и согласованность имеют влияние. Когда количество экспертов, интерпретирующих КТ-исследования, увеличивается, то их оценка становится более точной, а согласованность снижается [17].

Исследования ограничений

Исследование имеет некоторые ограничения. Исследование является ретроспективным, это может привести к систематической ошибке. Кроме того, исследование было проведено на относительно небольшой выборке. Более значимые результаты могут быть получены из исследования по скринингу населения. Согласно Lung-RADS руководству, измерения должны проводиться по линейным размерам узла, и рассчитывается среднее значение; однако, цель исследования — проверить результаты исследования NELSON.

Выводы

Таким образом, мы уже доказали, что измерения линейных размеров, в LDCT-исследовании с использованием полуприборного метода измерения объема легочных узлов, могут

существенно снизить количество ложноположительных и ложноотрицательных результатов. Этот результат сопровождается увеличением согласованности между экспертами, что может привести к снижению вреда, связанного с скринингом.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Funding source. This article 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. Vladzimirsky — 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(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

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. Vladzimirskiy, MD, Dr. Sci. (Med.);

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

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

Владзimirский Антон Вячеславович, д.м.н.;

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

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

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. Vladzimirsky^{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对医生的远程培训和咨询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, Vladzimirsky 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

论证

目前移动设备的性能在不断提升，而其成本却在不断降低。这些因素导致移动设备的使用不断增加，包括在医疗和远程医疗等领域中的应用[1-3]。

远程医疗的一个特例是远程超声检查[4]，这是一种诊断方法，超声或机能的诊断医师接收及分析来自远程超声机的信息，并发回意见或建议。这个过程需要一个特殊的硬件软件体系。

有已知的使用智能手机进行远程超声检查的案例[5-8]，即用智能手机的摄像头捕捉超声扫描仪屏幕上的图像，并使用通信软件将这个图像传送给接收者。这种方法的最大优点是不需要额外的设备，但进行时也有一定的困难：需要额外的工作人员或特殊的智能手机三脚架来记录检查过程；此外，传递给检查者的超声图像的质量比原来的要低。

现在有了特殊的移动视频采集器，它们不仅允许连接到个人电脑，而且允许连接到移动设备，如单板计算机和智能手机。

该研究的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

软件

研究中使用了两个超声扫描仪，即Sequoia 512 Acuson和SonoAce-8000。该研究的一名作者作为一名志愿者，他接受了机能诊断医师对肱动脉进行的标准超声检查。在专家分析的基础上（3位具有10年以上工作经验的机能诊断医师），对图像的质量和解释可能性进行了主观评估。为此，研究的片段被保存在超声扫描仪上，作为每个持续时间为5秒的电影回放，然后在超声扫描仪上循环播放。总共记录了9个电影回放，每个模式有3个电影回放：亮度（B）；B+彩超，B+光谱多普勒。专家有机会实时对在超声扫描仪屏幕上和客户设备屏幕上的图像进行评估，上述方法允许专家在同一检查（电影回放）中评估不同硬件软件体系的结果。

本研究中使用了Defender C-090 USB摄像机和来自超声扫描仪的低成本视频采集系统。由于在不贵设备中两种类型的芯片组作为模数转换器——UTV007和AMT630A，在这项研究中对这两种芯片组进行了审核：

- 1) Gembird UVG-002是一款基于UTV007芯片组的视频采集器，分辨率为720×576，每秒25帧；
- 2) Espada USB 2.0 - RCA/S-video EUsbRca63（以下简称EUsbRca63）是一款基于AMT630A芯片组的视频采集器，分辨率为720×576，每秒25帧。

研究中服务器软件包括：

- VLC Version 3.0.8是一款用于视频传输和播放的免费软件；它能够从外部设备串流播放视频。该软件可在不同的操作系统下运行，包括Linux和Android。在研究中，它同时被用于远程医疗系统的服务器和客户端；
- Motion Release 4.3.0是一款免费的监控摄像头软件，主要用于运动检测。该软件在Linux操作系统下运行，并被安装在单板计算机上。它可以作为后台进程运行，但该软件只能播放图像，不允许传输声音。访问是通过用户识别和密码进行的；
- USB Camera Version 9.7.9.是一款免费软件，用于从USB摄像机获取的图像传输；非商业版本被用来作为Android设备的服务器运行。

选择软件的主要标准是能够在不同的操作平台上运行。下一步是对所提出的软件和硬件解决方案作为远程医疗系统的能力进行评估。要评估的参数是数据传输速度（以平均值±SD形式给出）。使用Microsoft Excel对结果进行了统计处理。

远程医疗系统

一个远程医疗系统由一个服务器和一个客户端组成。在本文中，服务器是传输来自超声扫描仪的视频图像的硬件软件体系。客户端是一个接收和播放视频图像的设备。客户端和服务器的通信是通过Wi-Fi路由器的本地网络实现的，带宽为72 Mbps。在测试中，选择了最大的可用视频质量（最大分辨率和最高帧率）。客户端使用所安装的软件支持的协议连接到服务器：HTTP和RTSP。视频播放所需的客户端软件包括：VLC——当使用RTSP协议时；对于HTTP来说，使用了Windows 7和Android上的Google Chrome；在Raspberry Pi上使用了Chromium。安装在服务器上的每个软件都支持自己的编解码器：JPEG（Motion）、VideoH.264（VLC）、H.264（USB Camera）。

有两种连接方式可供选择（图1）。

1. 服务器是一个通过OTG-USB线连接到视频采集器的智能手机（安卓7.0，八核处理器，主频为2GHz，3GB内存；或Onyx Max3安卓9.0，八核处理器，主频为2GHz，4GB内存）。视频采集器与超声扫描仪的视频输出相连。客户端是一台基于AMD E-450 APU、8GB内存、64 bit OS Windows 7的笔记本电脑或一部智能手机。
2. 服务器是一台USB线连接到视频采集器并配有一个USB网络摄像头的单板微型计算机（Raspberry Pi 1 Model B，CPU，主频为700MHz，512Mbyte或Raspberry Pi 4，CPU Quad core Cortex，主频为1.5GHz，4GB，安装有Linux操作系统4.19.118-v7+版本）。Raspberry Pi 1没有Wi-Fi模块，通过一根网线连接到路由器上。客户端是一台基于AMD E-450 APU、8GB内存、64 bit OS Windows 7的笔记本电脑或一部智能手机。



图1。接线图。

结果

超声扫描仪。在Sequoia 512超声扫描仪上测试了两个视频输出：使用了一个同轴输出以连接到视频打印机，并使用了一个S-Video接口以连接到录像机。当分析来自视频打印机的输出图像时，得到的是黑白图像，其中一部分在视频采集器的视野之外。相反，当连接到S-Video接口时，可以获得与超声扫描仪屏幕上的原始图像一致的彩色图像。Sequoia 512是与基于Raspberry Pi的系统在一起使用的。SonoAce-8000被用来在安卓设备上远程超声检查。S-Video作为视频输出。

UVG-002。该设备在所有移动设备上都被成功检测到，并在所有测试的程序中运行良好。它在所有设备上提供了声明的最大分辨率。除了Raspberry Pi 1之外，所有设备都达到了最高帧率。

EUsbRca63。该设备在所有移动设备上都被成功检测到，并且除了Raspberry上的VLC，在所有测试的程序中运行良好。在任何设备上都没有达到声明的最大分辨率，最大分辨率为640×480。

USB摄像机。在所有移动设备上被成功检测到，并在所有测试的程序中运行正常。最大分辨率为640×480，帧率为每秒30。

Motion软件。它被配置为一个服务器：以连续记录和传输来自视频设备的最大分辨率的图像。由于Raspberry Pi 1的性能较低，该软件能够提供每秒1-1.5帧的图像。Raspberry Pi 4完全没有这些缺点，允许同时运行多个进程而不降低流媒体视频的质量。

VLC软件。它被成功地安装在Raspberry Pi 4上，允许从外部视频采集器中进行串流播放视频。并且成功地实现了有来自视频采集器和网络摄像头的视频采集的两个VLC应用程序的同时使用，图像质量和帧率都达到了最大值。还测试了在Raspberry Pi 4上同时运行VLC和Motion的能力。VLC被安装在安卓设备上，但在这个版本中不得作为服务器，而只能在客户端模式下运行。它还是在一台Windows笔记本电脑上在客户端模式下使用的。

USB-Cam软件。基于该软件的远程医疗服务器的实施被证明对信道质量极为敏感。我们发现了，当信号强度低于80分贝时，连接就断开了，而且不管是服务器端还是客户端的通信质量不好，都没有区别。

讨论

根据这项研究的结果，我们确定了一份以实现移动远程超声检查系统的设备和软件解决方案的清单。测试结果见表1：与基于AMT630A芯片组的设备相比，基于UTV007芯片组的视频采集器提供了主观上更好的图像质量。UVG-002设备能够在所有平台和所使用的软件上运行，并表现出较高的图像质量。

EUsbRca63视频采集模块在移动设备上的表现令人满意。虽然Motion EUsbRca63软件在同一驱动下运行时没有故障，但我们无法将该设备配置为VLC。超声图像的质量在所有平台上都非常差：图像上的字幕难以阅读，而且不可能以这种质量来充分评估超声图像。

表1. 软件和视频信号传输设备的测试结果

参数		Motion	VLC	USB-Cam
编解码器		JPEG	VideoH.264	H.264
连接协议		HTTP	HTTP, RTSP	HTTP
	UVG-002	18,7±2,8	0,64±0,17	5,2±0,3
传输速度, Mbps	EUsbRca63	8,6±1,4	-	4,4±0,2
	Webcam	15,3±5	0,49±0,19	2,0±0,1

在选择最佳软件时，必须决定远程超声检查服务器要部署在哪个平台上。例如，在使用基于安卓的智能手机的情况下，唯一考虑的软件是USB-Cam，但在这种条件下进行远程超声检查对信道带宽比较敏感。在我们的案例中，传输超声所见的信道带宽为 4.4-5.2Mbps，在实践中，这是在蜂窝网络中可能很难实现的。相反，当连接到Wi-Fi时，这种信道带宽要求就退居了次要地位。在测试过程中，我们发现了，该硬件软件体系对Wi-Fi信号质量（即与接入点的距离）高度敏感。这些事实对在移动网络中进行这种远程超声检查的可能性造成了严重限制。

目前，单板计算机开始积极用于远程医疗[9, 10]。我们认为，远程医疗实施的最佳平台是近年来的单板计算机。所测试的Raspberry Pi 型号显示出计算能力显著提高了：第一代Pi 1只能以每秒1.5帧的速度传输视频（我们研究中超声扫描仪的最低帧率为每秒16帧），据专家称，这不足以在其上实现远程超声检查服务器，但这种设备能够在本系统中作为客户端。Raspberry Pi 4当同时传输两个视频流时显示出高性能。

单板计算机计算能力的提高使得机器学习技术的实施成为可能[11, 12]，包括在医学上的实施[13]。单板计算机的可用计算能力可能足以部署一个同时使用远程超声检查服务器的医疗决策支持系统，以对超声图像进行评估来确定是否存在病理。

在Motion和VLC软件之间做出选择，必须考虑一下信道带宽。例如，根据我们的数据，对VLC来说，只有0.5-0.6 Mbps的信道带宽，才能传输一个视频流，而Motion至少需要10倍大的信道带宽。根据文献，在帧率为每秒15以及保持原始视频分辨率的情况下0.6 Mbps[14]至1.5 Mbps[15]的连接速度是远程专家舒适操作的最低可接受值。如果只需要从超声扫描仪屏幕上传输图像，而且没有信道带宽限制，Motion软件是最佳解决方案，可以开机自启动和部署远程超声检查服务器，无需人工干预。在其他情况下，VLC可能是首选的解决方案。我们的研究还证明了同时运行两个不同系统的能力。

在以前进行的研究中[16]，我们展示了在基于个人计算机的远程超声检查中使用流媒体技术的可能性，但多亏智能手机和单板计算机的使用，远程超声检查可以成为一种更加移动的技术：一

个实现远程超声检查服务器的设备和必要的电缆可以很容易地放在医生的口袋里，让他随时能够使用本连接套件，如果有必要，在几秒钟内开始转播检查。

研究的局限性

这项研究只分析了两种型号的超声扫描仪，但我们可以假设，该解决方案将适用于其他具有类似或另外支持视频输出的超声扫描仪。本研究只包括了当前移动设备、视频采集器以及用于视频采集器和网络摄像头的软件的一小部分，但我们能够创建几个运行良好的低成本系统来进行移动远程超声检查。本研究作者具有的主要任务是找到最可行的方法来进行远程超声检查。因此，当进行研究时，一个移动设备（Raspberry Pi 4）和视频采集模块的成本不超过6000卢布，如今，类似的一套设备售价为12000卢布以上。研究中使用的软件（Motion、VLC、USB-Cam）有免费许可证或以开放源代码分发。远程医疗系统所包含的设备上打算有安装操作系统（Windows、Linux、Android）。

在这类研究中还必须考虑到用于医疗数据传输的信道的带宽[17]和安全性[3]。确保传输数据安全的一个可能方法是搭建VPN隧道，但本文的目的不是研究远程超声检查的信息安全问题。本研究与类似的研究不同，它为远程超声检查提出了一个新的技术解决方案。

目前，有用于超声检查的便携式超声系统，包括具有图像传输功能（远程超声检查）的系统，如Butterfly iQ+Butterfly Network Inc.、Kosmos EchoNous、Vscan Air General Electric和Lumif Philips Healthcare，但这些系统价格昂贵（50万卢布起），并且没有用固定式超声扫描仪进行全面检查所需的性能[18]。我们提出的方法的优点是使用属于超声诊断室装备标准的超声设备。

结论

使用基于单板计算机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对医生的远程培训和咨询提高检查的质量。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。

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, Iketai 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 teleultrasonography 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

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

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

Дрогозов 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

Владзмирский Антон Вячеславович, д.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: a.vladzimirsky@npcmr.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

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：文献综述

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的症状。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：文献综述. *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

论证

在撰写本文章时(2022年12月22日),新型冠状病毒感染COVID-19的病例数达到6.5亿¹。通过包括早期诊断在内的综合措施,可以预防和减少疾病的传播,因此,预防和减少死亡病例²。

实验诊断的主要方法是逆转录-聚合酶链反应。在冠状病毒大流行的第一波高峰期,这种方法的缺点暴露无遗:假阳性率高,可用性有限,结果耗时长[1]。同时,在胸部计算机断层扫描(CT扫描)上有COVID-19症状的患者可能会收到假阴性结果[2]。

根据俄罗斯[3]和国际³建议,COVID-19相关肺炎的放射诊断方法包括X射线摄影和CT扫描。对于胸部X射线摄影来说,对病毒性肺炎诊断的灵敏性较低[4],因此CT扫描在COVID-19相关肺炎及其并发症的诊断中起着重要的作用[5]。

在大流行期间,CT扫描的广泛使用造成了与对人群的高辐射暴露有关的问题[6,7]。在住院期间,在短时间内进行2-6次CT扫描,以评估疾病的进展,因为CT扫描有明显的变化退缩趋势是出院的标准之一[3]。对于疑似COVID-19的病人,可以在门诊进行1-2次CT扫描,以检测疾病的症状[8,9]。

辐射暴露确实增加癌症风险[10]。即使在大流行的情况下,国际放射防护委员会(International Commission of Radiological Protection)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, ICRP),在辐射诊断部门的工作中应该得到遵守[11]。在2020年3月,Z. Kang等人提出使用低剂量计算机断层扫描(LDCT)作为冠状病毒肺炎表现的放射诊断的第一阶段[6]。2020年4月举行的“COVID-19与胸部CT扫描:协议和剂量优化”(«COVID-19 and Chest CT: Protocol and Dose Optimization»)网络研讨会也强调了患有COVID-19时使用LDCT的重要性,来自100个国家的1633名与会者参加了研讨会。在视频会议过程中发现了,55%的机构使用标准协议(CTDIvol 5-10 mGy),43%的机构使用低剂量协议(CTDIvol <5 mGy),2%的机构使用高剂量协议(CTDIvol >10 mGy)[12]。然而,即使粗略地研究一下放射科医师的工作站,也会发现有很多对辐射暴露有影响的扫描参数[13],同时不同的协议设置和辐射剂量之间的关系可能并不明显,特别是取决于所研究的病理过程。

本文献综述的目的是整理关于通过计算机断层扫描诊断COVID-19诱发的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”(COVID-19低剂量计算机断层扫描)。

通过分析标题和摘要,评估出版物与综述主题的相关性后,将其纳入综述。原始研究和荟萃分析被纳入综述,而文献综述、临床病例和会议论题都被排除。此外,还对参考文献列表进行了分析,以确定可能在2020年之前发表的与CT扫描时减少辐射暴露的一般原则有关的相关研究。如果发现类似的文章,则将最新的研究纳入综述。

结果和讨论

共分析了45篇外国作者的文章和5篇国内作者的文章。最后的搜索日期是2022年12月22日。

减少辐射剂量的方法

根据文献综述,减少辐射暴露的方法可分为基于硬件和基于软件的方法。前者包括管电压、管电流、间距系数、X射线束过滤;后者包括重建过滤器、切片厚度和迭代重建。

硬件方法。管电压(tube potential, kVp)与辐射暴露呈非线性关系[14]。F. Zarb等人[15]显示,管电压降低14-17%会导致辐射剂量降低32-38%。另一方面,降低管电压会增加非对比度CT的噪声:根据一个模型研究的结果,这些参数相互之间的关系是-1.3(负一点三)的幂[16]。同时,在对比度增强算法研究中,降低管电压可以改善图像质量,并显著减少辐射暴露[17]。

管电流(tube current, mAs)与辐射暴露呈线性关系[18]。例如,管电流减少50%会导致有效剂量减少50%[17],同时,信噪比与电流的平方根成反比[19]。

多层螺旋CT扫描仪的间距系数对辐射暴露几乎没有影响[20]。随着间距系数的增加,信噪比下降,断层扫描仪会自动增加管电流以防止图像质量下降[21]。

X射线束过滤是以吸收不穿过患者组织并无法到达探测器的低能量光子而使用的,因此使用额外的锡过滤器可以显著降低当进行CT扫描时的辐射暴露[22],但需要额外的费用来改造扫描仪。

软件方法。重建过滤器(convolution kernel)的选择对辐射量没有影响,但对信噪比

¹ 世界卫生组织。新型冠状病毒(COVID-19)情况。访问方式: <https://who.sprinklr.com>。

² 美国疾病控制和预防中心。2019年冠状病毒病(COVID-19)。访问方式: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>。

³ 世界卫生组织。COVID-19中胸部影像学的使用:快速建议指南[2020年6月11日]。访问方式: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332336>。

有影响，强调或消除不同器官或结构的像素之间的差异[23]。

低的切片厚度会降低图像质量，同时对遗漏小病理变化的风险产生积极影响，因此可以优化切片厚度：例如，评估肺部结节的厚度为2毫米[24]。

然而，减少噪声的主要方法是迭代重建的使用，与标准数据重建技术相比，迭代重建允许进行更低辐射剂量和类似信噪比的CT研究[25]。一个有希望的方向是使用神经网络进行图像重建[26，27]。

根据所查阅的文献，可以得出以下的结论：为了减少辐射量，降低管电流是有合理的，同时，为了优化信噪比，使用消除相邻像素之间差异（软组织）的重建过滤器和迭代重建是有合理的。

低剂量计算机断层扫描在COVID-19诊断中的应用

文献综述的结果表明，COVID-19没有单一的、清楚确定的低剂量协议（表1[28-54]）。研究发现，减少剂量主要是通过改变管电压和管电流、使用迭代重建和锡过滤器来实现的。综述中包括的一些研究指出了在结果表述方面的方法缺陷：没提到剂量测定指标（CTDI、DLP、SSDE、有效剂量），而且样本量很小。

有趣的是，在优化扫描协议的过程中，要改变的参数的选择对于不同的临床任务是通用的。例如，在用于肺癌筛查的LDCT中，不同的作者小组也改变了管电流[55，56]，尽管如此，开发专门的LDCT协议应从研究模型对象开始，以选择最佳

的减少辐射量的方法。例如，在V. A. Gombolevisky等人的关于LDCT用于COVID-19诊断的研究[57]中，使用了一个带有加厚板的模型，同时自动管电流控制系统（Sure Exposure 3D）的设置水平足以检测到磨砂玻璃磨玻璃样病灶，并最大限度地减少辐射暴露（SD=36）。图1显示从模型研究选择的协议与标准CT和肺癌筛查LDCT的比较。

要考虑到，开发的任何专门低剂量协议都需要临床验证并与金标准的比较。例如，已经对开发的COVID-19的NDCT协议进行了临床试验，使用作为参照测试的标准CT[28]。所开发协议的临床图像的例子可以在图2和图3中找到。

低剂量计算机断层扫描的局限性

根据Y. K. Kim等人的研究[58]，由于脂肪组织吸收X射线，在常规实践中，肥胖（身体质量指数>25）作为进行中胸部LDCT的限制。然而，专家之间对COVID-19严重程度进行评估的一致性的研究结果表明情况并非如此[59]。

根据经验，LDCT的另一个常见限制是图像噪声增加对人工智能系统性能的负面影响，包括密度测定分析中肺气肿指数的计算[60]，以及亚实性肺结节的影像学分析[61]。扫描协议对定量分析的影响可以通过使用相对指数来减少，如使用受到COVID-19影响的肺组织百分比[62]，或通过特殊算法将数据归一化[63]。

结论

本文介绍了如何减少在胸部计算机断层扫描过程中的辐射量并保持高质量的诊断图像，这些

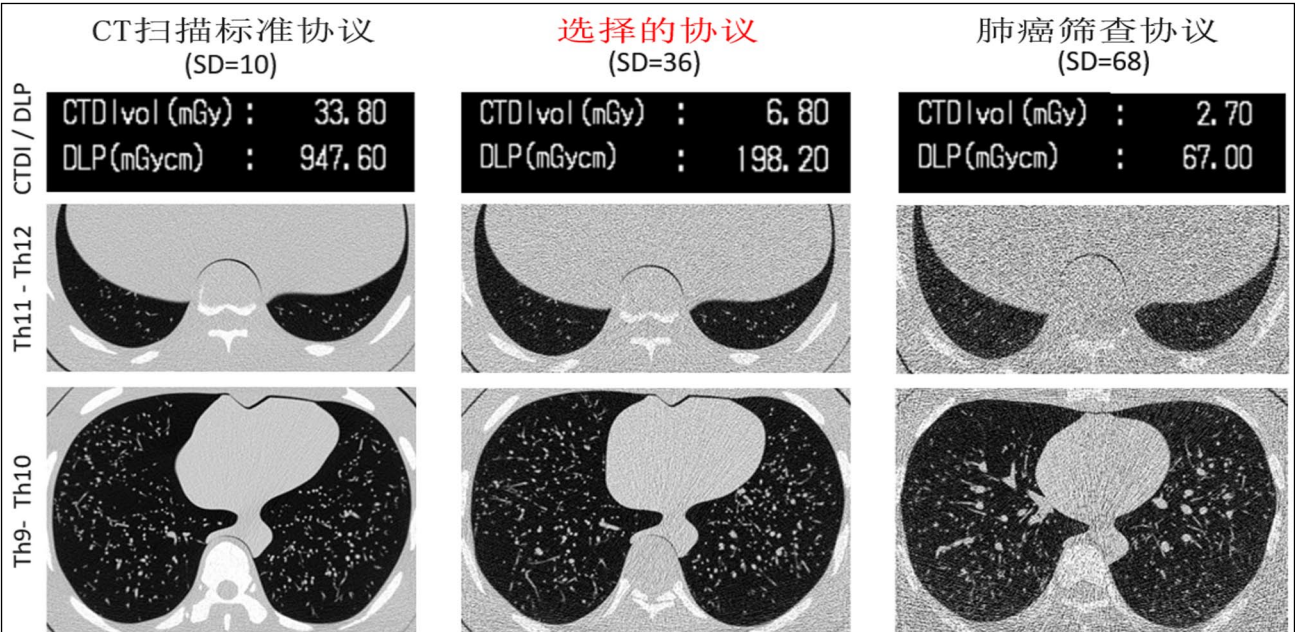


图1。COVID-19专门的低剂量CT扫描协议（SD=36）与标准CT扫描和用于肺癌筛查低剂量CT扫描的比较。辐射暴露信息和肺下部和中部区域水平的轴向模型断层图。用于肺癌筛查的低剂量计算机断层扫描是根据卫生条例预防措施的辐射暴露限制开发的，并且具有最低的信噪比。为COVID-19制定的低剂量计算机断层扫描协议考虑到磨砂玻璃样的密度测试特性，同时大幅降低辐射暴露。

表1. 根据文献综述, 低剂量计算机断层扫描在COVID-19诊断中的参数

作者、 年, 参考	管电压, kVp	管子电流, mAs	平均辐射剂量, mSv	切片厚度, mm	重建过滤器	迭代重建的使用
Blokhin等人 (2022) [28]	120	10-500, 噪声水平36 (SD)	3	1	FC51, FC07	没有
Filatova等人 (2020) [29]	100/110	40-120	1, 27	1	-	是
Afshar等人 (2022) [30]	110	20	1-1, 5	2	D40s	-
Fukumoto等人 (2022) [31]	120	20-25	CTDI 1.3 mGy	5	Lung and soft tissue	-
Bieba等人 (2022) [32]	取决于重量	取决于重量	-	1和3	-	-
Barrio等人 (2022) [33]	100/150	类人的电流调制 系统	-	1	Br32 Bl60	-
Thieß等人 (2022) [34]	100	10-100	0, 53	0, 5和0, 625	Fc01 Fc85	是
Greffier等人 (2021) [35]	100/120	10	0, 2	1	I30f, mediastinal, I50f, lung images	是
Karakas等人 (2021), [36]	80	40	0, 18	5	lung	是
Julie等人 (2021) [37]	120	45	-	1, 2	-	-
Desmet等人 (2021) [38]	80-140	20-30	0, 64	0, 6	-	-
Aslan等人 (2021) [39]	80	35-50	0, 2856	3	lung	是
Stoleriu等人 (2021) [40]	120	40-113	35-100 mGy×cm 0.78-2.91 mGy	1, 25	Medium Soft	是
Bai等人 (2021) [41]	120	120-380	1, 21±0, 10	1, 25	Standard	是
Agostini等人 (2021) [42]	100	95	0, 39	1, 5	Sharp	是
Zali等人 (2021) [43]	100-120	50-100	-	1-3	-	-
Argentieri等人 (2021) [44]	80	20	0, 219	2	Sharp	-
Leger等人 (2020) [45]	120	45	0, 49	1, 2	-	-
Hamper等人 (2020) [46]	100	20-120	0, 5	0, 625-1	Lung	是
Li等人 (2020) [47]	120	30	1, 22±0, 14	1	-	是
Dangis等人 (2020) [48]	100	20	0, 56	1	Lung (150f)	是
Radpour等人 (2020) [49]	100-120	50-100	-	1-3	-	-
Kang等人 (2020) [6]	80-100	10-25	0, 203	0, 6	-	是
Tofighi等人 (2020) [50]	100	40	2, 03	-	-	没有
Tabatabaei等人 (2020) [51]	120	30	1, 8	3	-	-
Schulze-Hagen等 人(2020) [52]	80	35	1, 7	1和3	170f 130f	-
Zhao Yue等人 (2020) [53]	100	50	1, 5	1	-	-
Castelli等人 (2020) [54]	120	45	0, 47	1, 2	-	-

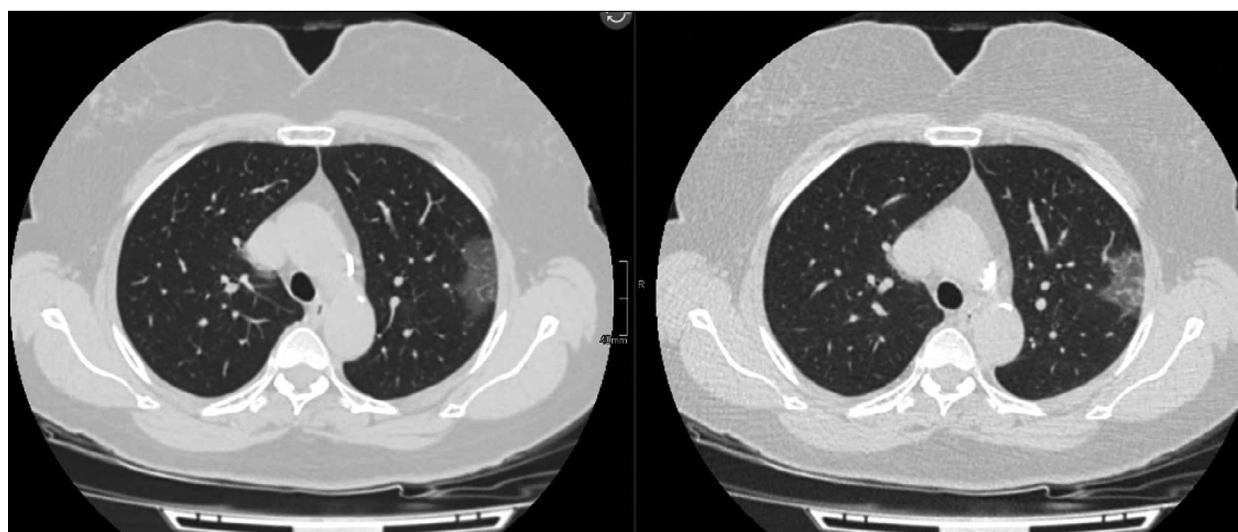


图2. 减少了5倍的辐射量。患者，59岁，身体质量指数为29 kg/m²。带软组织过滤器的计算机断层扫描（有效剂量为9.7 mSv），带软组织过滤器的低剂量计算机断层扫描（有效剂量为2.1 mSv）。左肺上叶有一个末梢磨玻璃样病灶。

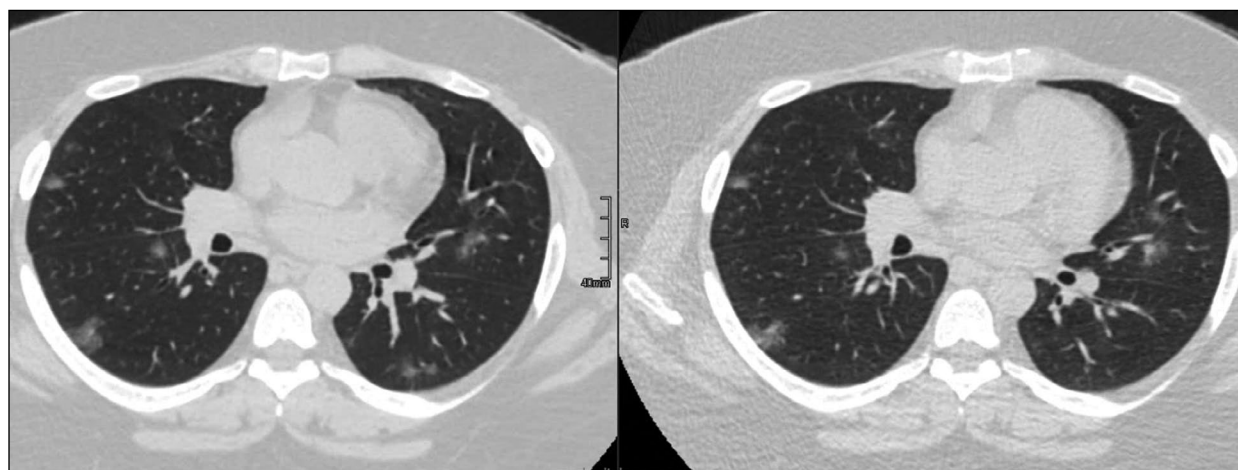


图3. 减少了1.5倍的辐射量。患者，44岁，身体质量指数为46 kg/m²。带软组织过滤器的计算机断层扫描（有效剂量为15.3 mSv），带软组织过滤器的低剂量计算机断层扫描（有效剂量为10.5 mSv）。双肺末梢磨玻璃样病灶。

图像可能足以可靠地检测COVID-19的症状。虽然没有单一的方法来优化扫描协议，但减少辐射剂量是一种有道理的方法，允许获得实现的诊断信息，并保留将先进计算机化分析技术引入临床实践的可能性。

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., Сеницын 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.xeng.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., Zieslewicz 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., Bieba 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, № 5. 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

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.2020201365
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, Cobbald 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, Akhavanallah 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, 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;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, Bieba 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.2020200196
49. Radpour A, Bahrami-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. Gombolevisky 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. Gomboleviskiy 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

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

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

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

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，它允许观察实质器官和空腔脏器的局灶或弥漫性变化，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，而且提供组织功能状态的信息，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

绪论

磁共振成像（MRI）是辐射诊断的最重要方法之一，它对腹部疾病的常规诊断的贡献正在稳步增加。除了没有电离辐射和高自然软组织对比度外，磁共振成像允许在任何平面上分析图像，并可对感兴趣的区域进行三维重建。扩散和灌注技术的积极引入不仅提供关于组织结构的信息，而且提供关于其功能状态的信息，包括确定水分子的扩散速度并对比剂的积累和冲刷情况。

磁共振成像是目前主要的诊断方法之一，与计算机断层扫描（CT）相比，在检测实质器官、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的优势[1]。

基本脉冲序列

腹部MRI的一个特点是从因病人呼吸、肠道蠕动、心跳和大血管搏动而处于运动状态的组织中很难获得具有高信噪比（signal-to-noise ratio, SNR）的图像。最初，MRI是使用标准自旋回波（spin-echo, SE）序列进行的，伴有获得T1和T2加权图像（weighted image, WI）。然而，漫长的数据采集过程需要额外的与呼吸同步，这也大大增加了扫描时间（在某些情况下，研究协议超过60分钟）[2, 3]。在某些情况下，即使是轻微的与呼吸不同步，也会导致图像的解释困难。

目前腹部检查的标准协议包括基于较短序列的技术，是在病人呼吸时进行的。这些技术包括使用扰相梯度回波（spoiled gradient echo, SPGR）的T1WI和半傅立叶单次激发快速自旋回波成像（Half-Fourier Acquisition Single-shot Turbo spin Echo imaging, HASTE

或者Single Shot Fast Spin Echo, SSFSE）[4, 5]（表1）。

T1和T2加权图像

使用单次激发自旋回波（single shot spin-echo）序列获得单一的T2WI切片需要大约1秒钟的时间，伴有K空间中心填充。因为图像对比度是由K空间中心部分决定的，所以单脉冲技术对病人运动的敏感度明显降低，这对无意识的病人来说是非常重要的。使用梯度回波的T1WI对运动明显更敏感：即使在扫描过程中短暂的运动也会导致对所有切片有影响的图像中的伪影。然而，对运动不那么敏感的技术也是有的，其所依据的原理与单脉冲T2WI的原理相同：通过单脉冲分析单片的快速K空间中心填充（如Turbo fast low-angle shot和FIRM Fast inversion-recovery motion-insensitive）。

另一种方法是使用改良的三维梯度回波序列（3D gradient echo sequence），这些序列被用于血管造影。取决于制造商，它们有不同的名称（最初是VIBE——Volumetric Interpolated Breath-hold Examination，容积内插屏气检查）[6]。这些序列允许获得高分辨率（约2-3毫米）、几乎各向同性的体素大小的图像，这对肝脏病理及其血管解剖的诊断极为重要。此外，该技术还可用于多平面图像重建。

使用T1WI的另一个重要成分是使用静脉注射对比剂，包括特异性对比剂，如钆塞酸等肝脏特异性对比剂，其特点是对肝细胞有很强的趋同性，可以更好地观察到肝脏肿块（图1）。

对比剂缩短T1松弛时间，导致T1WI的信号强度增加。根据局灶性或弥漫性实质器官变化的血供性质，可以从邻近的无变化组织中区分出不同的对比模式。动脉期的成像是通过使用含钆的对比剂后立即进行短序列实现的。

表1. 主要磁共振成像制造商的主要脉冲序列的名称

制造商 脉冲序列	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, eater, and background suppression	FatSat	SPIR	CHEMSAT	FATSAT

注意。Spin-Echo（自旋回波）；Fast Spin-Echo（快速自旋回波）；Single Shot Fast Spin-Echo（单次激发快速自旋回波）；Gradient Echo（梯度回波）；Steady State Fast Field Echo（稳态快速场回波）；Fast Scan（快速扫描）；Saturation Bands（饱和波段）；Fat, water and background Suppression（脂肪、水和背景噪声抑制序列）。

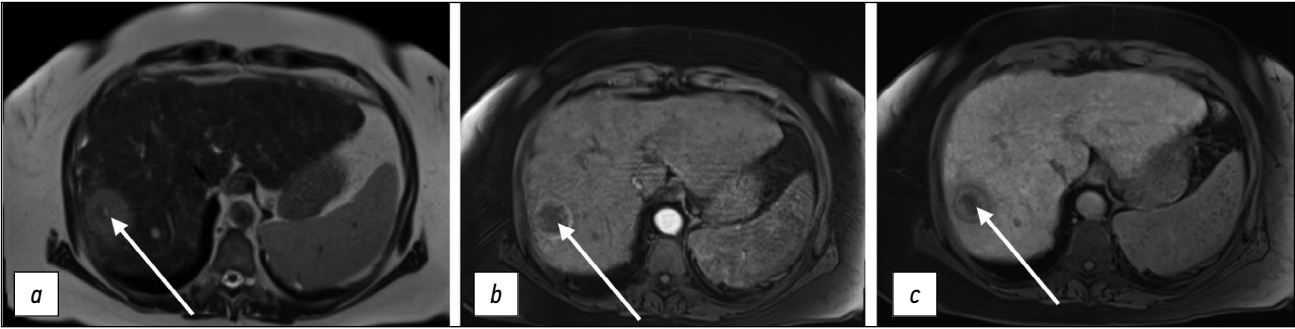


图1。 注射肝脏特异性对比剂的肝脏磁共振成像。肝细胞癌结节（箭头）：*a*——T2加权图像：识别出结节性高强化肿块；*b*——T1加权图像，动脉期：识别出对比剂的环形积聚；*c*——T1加权图像，注射对比剂后20分钟得到的肝脏特异期。

一项基本方法是使用动态多相二维或三维SGE序列，可用于分析感兴趣区域的信号强度曲线与时间的关系。大多数病理局灶性变在动脉期的成像效果最好（如脾脏、肝脏或胰腺的局灶性变化）。注射对比剂后1.5–10分钟获得的图像处于造影的平衡阶段，最佳窗口为注射后2–5分钟。一般来说，注射后5分钟说是延迟期或排泄期。许多炎症或肿瘤疾病在这一阶段能更好地显示出来，另外使用脂肪信号抑制有助于更明确地发现这些变化（如腹膜植入物、胆管癌、炎症性肠病和肾上腺体积性肿块）[7–9]。

显然，病理变化与无变化组织的信号强度差异增加，有利于疾病的检测：通过改变T1WI和T2WI上来自脂肪的信号强度，局部脂肪组织的变化相对容易识别。例如，纤维化变化或腹腔液在T1WI时的信号强度较低，在不抑制脂肪组织信号的情况下，更容易在图像上识别。另一方面，具有高信号强度的变化，如亚急性血肿或高蛋白含量的液体，使用脂肪抑制更容易观察到。

扩散加权图像

扩散加权成像（DWI）在不需要注射外源性对比剂的情况下是基于水分子在细胞外和细胞内空

间运动（扩散）的差异。这种技术不仅允许对细胞密度进行定量和定性的分析，还允许对细胞膜的完整性进行分析，因此它是一种功能性图像评估的形式[10]，所以应该被纳入标准的腹部和腹膜后扫描协议中（图2，3）。

最初，DWI最常用于脑部病变的诊断，主要是中风：这种脉冲序列的信号变化使缺血性改变在T2WI上变得明显之前就被诊断出来。目前，多亏高振幅梯度、多通道表面线圈和平行成像的发展，DWI可用于诊断各种颅外病变[11]。

扩散与细胞密度和细胞膜的完整性成正比：在细胞性质增多或细胞外液量减少的组织中（如一些肿瘤、脓肿；图4）并在存在细胞毒性水肿的情况下，扩散有限。在细胞密度低或细胞膜受损的组织中，例如在囊肿或坏死的组织中，可观察到相对自由的扩散[12，13]。

通过改变梯度的振幅、持续时间和成对梯度之间的时间间隔，可以改变DWI对水分子运动的敏感度。与上述标准成正比的b因子被用于此目的。运动程度高或扩散距离大的水分子（例如在血管内空间）在b因子值较低时显示信号衰减（例如 $b=50-100\text{ mm}^2/\text{s}$ ）。相反，高的b因子值（如 $b=1000\text{ mm}^2/\text{s}$ ）通常用来表现缓慢

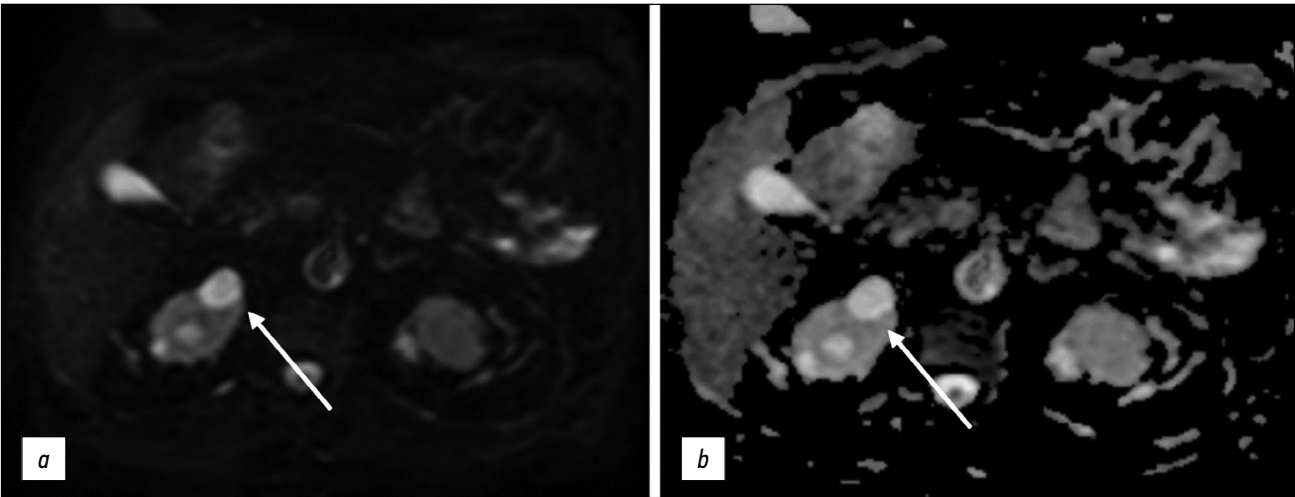


图2。 腹部器官的磁共振成像，皮质单纯性肾囊肿（箭头）：*a*——扩散加权图像；*b*——测量的扩散系数图。虚假的扩散限制。

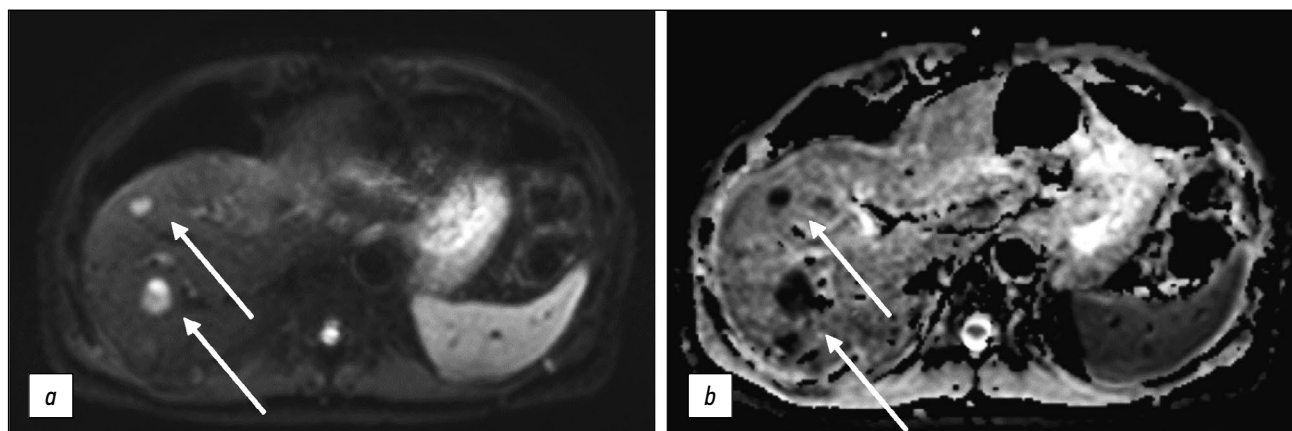


图3。腹部器官的磁共振成像，肝脏的继发病灶（箭头）：*a*——扩散加权图像；*b*——测量的扩散系数图。真正的扩散限制。

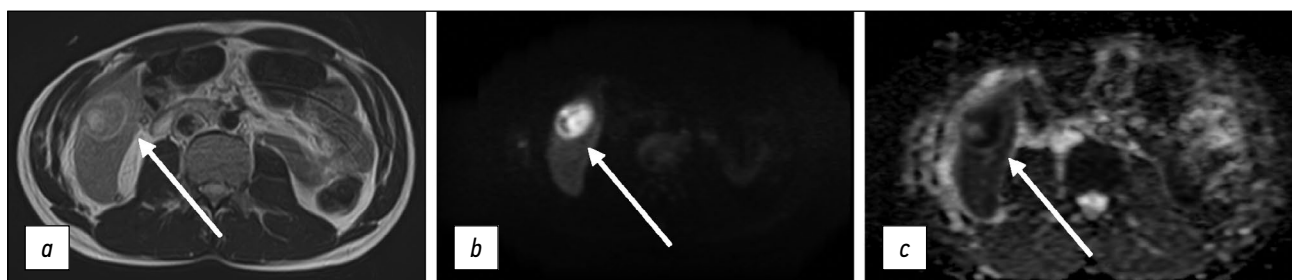


图4。腹部器官的磁共振成像，包裹的体积性的肝脏肿块——脓肿（箭头）：*a*——T2加权图像；*b*——测量的扩散系数；*c*——测量的扩散系数图。

移动的水分子或小的扩散距离，因为它们表现出较慢的信号衰减（随着b因子值增加）。为了正确解释，DVI应该是至少使用两个b因子进行的： $b=0 \text{ mm}^2/\text{s}$ 和 $b=100-1000 \text{ mm}^2/\text{s}$ ，因为使用 $b=0 \text{ mm}^2/\text{s}$ 得到的DVI是T2加权序列。在b值较低时（如 $200 \text{ mm}^2/\text{s}$ 或更低），测得的扩散系数取决于组织灌注和水扩散，随着b因子的增加，灌注效应降低。一般来说，b因子越高，序列对扩散效应越敏感；此外，高b因子值（如 $100-1000 \text{ mm}^2/\text{s}$ ）对背景信号的抑制更合适[10, 14]。

常规扫描协议

在大多数情况下，腹部器官的扫描方案包括T2WI、对比前和对比后的T1WI，其中包括脂肪抑制、DWI和磁共振胆胰管成像（MRCP）。这些序列不仅允许看到实质和空心器官壁、胆管的变化，而且允许看到腹膜、腹膜后器官和细胞空间的变化，而且准确性相当高（表2）。然而，根据临床情况、检查的目的和任务，这个方案可以被补充或缩写。根据美国放射学会（American College of Radiology, ACR）建议，切片厚度不应超过8毫米，间距不应超过2毫米，更薄的切片是首选[15]。

标准的T2WI是使用自旋回波在正面和轴状面进行的。这些序列的数据采集时间相对较长，但允许获得高信噪比。在病人呼吸、大血管搏动和

肠道蠕动的背景下，这种方法在腹部放射学中的常规应用是有限的。在这种情况下，可以与呼吸同步，这增加扫描时间（长达5-7分钟），而运动校正不是绝对的：在大多数情况下，在器官边界有模糊效应，这有可能使各种病变的诊断变得更复杂。由于这个原因，目前T2WI更常是使用Accelerated fast spin-echo、Single-shot accelerated fast spin-echo或Steady-state free precession序列获得的（图5）。

可以在病人屏住呼吸或不屏住呼吸的情况下获取图像。当使用不屏住呼吸的方法时，应该尽力减少呼吸运动的伪影，使用大量的信号平均和/或呼吸补偿/呼吸触发。与标准自旋回波相比，主要区别是组织对比度的相对降低，这有可能导致诊断错误，特别是针对未改变的实质组织的小变化（如小肝细胞癌）。然而，这一缺点被T1WI所弥补：这些区域相对于未改变的组织通常有较长的T1时间，在原生SGE序列或早期（动脉）对比后图像上可以很好地看到这些作为信号降低的病灶变化的区域。

MRCP是基于一个改良的自旋回波序列的，TE时间为250-500毫秒，获取重T2加权图像（heavily T2-weighted images）。延长TE导致软组织的“变暗”，而存在于胆管和胰管中的液体被用作“原生”对比剂。

由于腹部充满液体的结构具有较长的T2松弛时间，因此在周围软组织的衬托下，它们会出现高强度的。MRCP应该是在对比剂进入胆管之前进行

表2。基本脉冲序列及其在诊断腹部和腹膜后病变中的重要性

脉冲列车	主要的重要性
T1 FS	被用来识别主要由脂肪或包括脂肪组织或出血成分组成的变化（如血管肌脂肪瘤、畸胎瘤、脂肪性胰腺萎缩症、肾脏皮髓质分界）。作为腹部器官检查中的一个观察列车，用来注射对比剂。
T1 in-phase, out-of-phase	当在同一体素中观察到脂肪和水质子的组合时，被用来显示改变的组织（脂肪肝、肾上腺腺瘤、血色病、含铁血黄素沉着症）。提供与液体或纤维组织含量异常升高有关的信息（亚急性出血、脂肪或高蛋白含量）。
T2, T2 FS	被用来显示浆液增多、血管瘤、胆管错构瘤、组织水肿、有出血性或高蛋白含量的囊肿、纤维性改变。与out-of-phase T1结合，可用于铁的检测。作为腹部器官检查中的一个观察列车
DWI	原发性和继发性腹腔和腹膜后肿瘤，包括那些在T1或T2上看不到的肿瘤（如腹膜播散）。
MRCP	胰胆系统的评估（狭窄、肝内胆管的囊性改变、胆总管结石、胰腺的囊性改变）。

的（当使用肝脏特异性对比剂时），因为钆会缩短T2时间，导致胆道系统的成像差，所以要在注射对比剂前或使用后5分钟内进行MRCP（例如为了节省时间，甚至可以在注射对比剂后5分钟或更长时间内进行DWI）。此外，还可以进行多平面重建（multiplanar reconstruction, MPR）和最大密度投影（maximum intensity projection, MIP）以获得最佳成像。

T1WI是使用自旋回波序列（turbo spin-echo [TSE]或fast spin-echo [FSE]）进行的，但通常首选梯度回波技术（SGE），因为它的采集数据时间更短。

为了更明确地评估肝脂肪变性或血色素沉着症的征候，标准扫描方案还应该包括T1WI相位和反相位进行的T1WI扫描。此外，该序列在诊断肾

上腺腺瘤（图6）、透明细胞肾癌或胰腺脂肪浸润（图7）时提供同样有价值的信息。显然，这些序列必须是在注射对比剂之前获得的。相外图像允许评估来自脂肪组织和含脂肪的肿块（如肝腺瘤或肝细胞癌）的信号损失。同时，肝脂肪变性的无创定量评估的金标准是质子密度脂肪分数（proton density fat fraction, PDFF）序列。然而，这个序列并没有在常规协议中使用。

动态对比前和对比后的T1WI是使用二维或三维脉冲序列获得的[6]，同时三维序列是首选，因为尽量减少切片厚度允许减少截断伪影。最初，三维SGE序列被用来观察血管解剖（磁共振血管成像；图8）。现在该技术广泛用于腹部和骨盆的软组织结构成像。短的TR和TE值允许在一次屏住呼吸中获得大量的薄片。该序列的潜在局限性

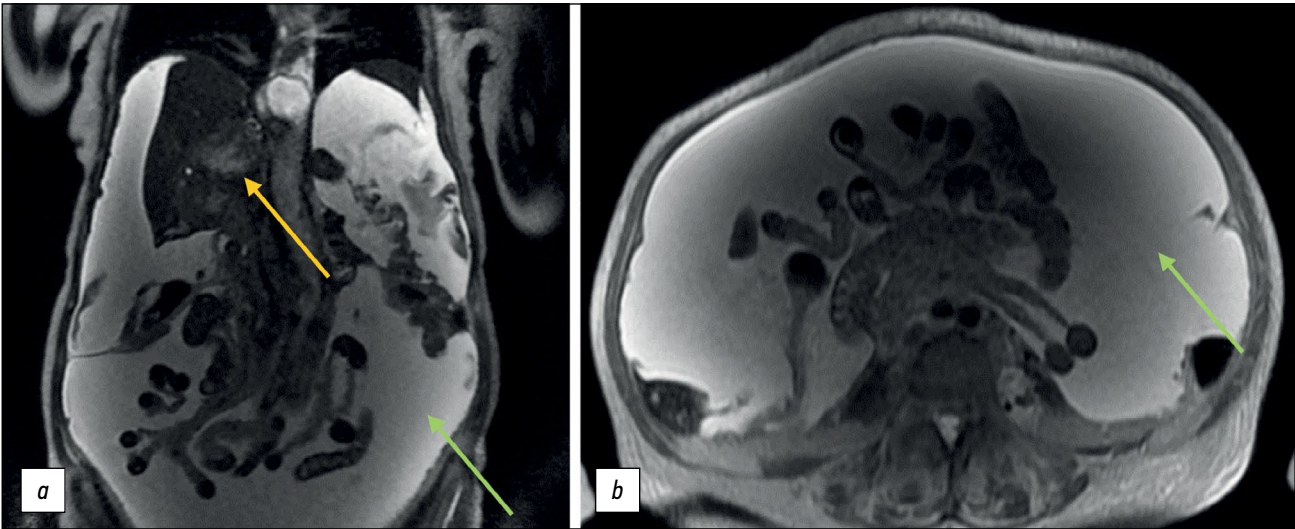


图5。SSFSE模式：肝细胞癌伴有下腔静脉侵袭（黄色箭头）、紧张腹水（绿色箭头）：*a*——冠状面投影；*b*——轴状面。

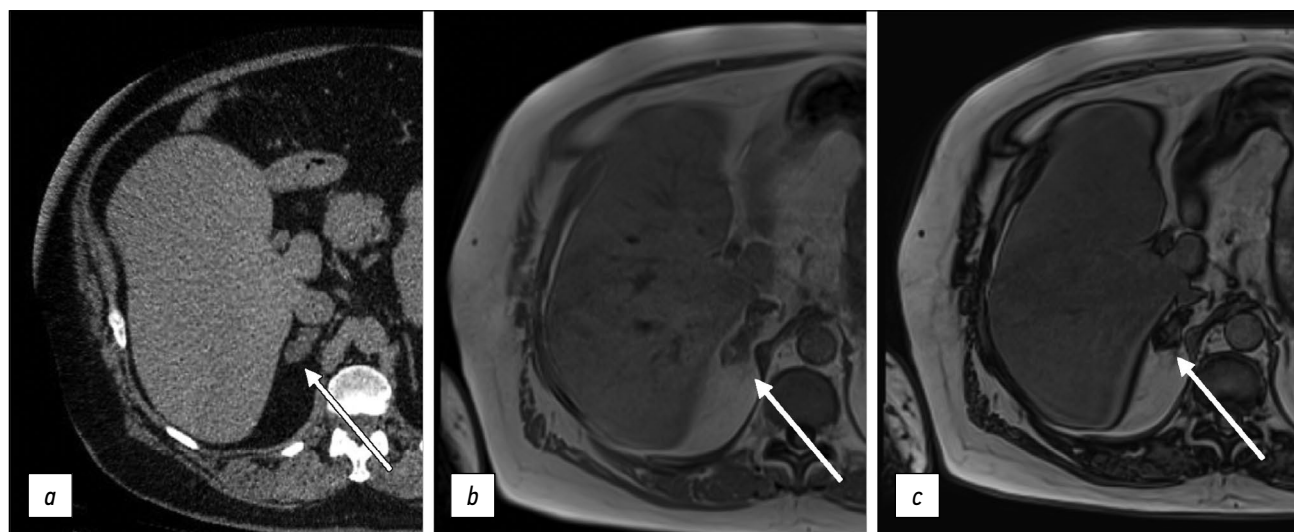


图6. 腹部器官的计算机断层扫描，轴状面 (*a*)：确定了右肾上腺的肿块密度不均匀 (箭头)；腹部器官的磁共振成像 (*b, c*)，相位 (*b*; in phase)，反相位 (*c*; opposed phase)：确定了反相位中腺瘤脂肪成分的特征信号丧失 (箭头)。

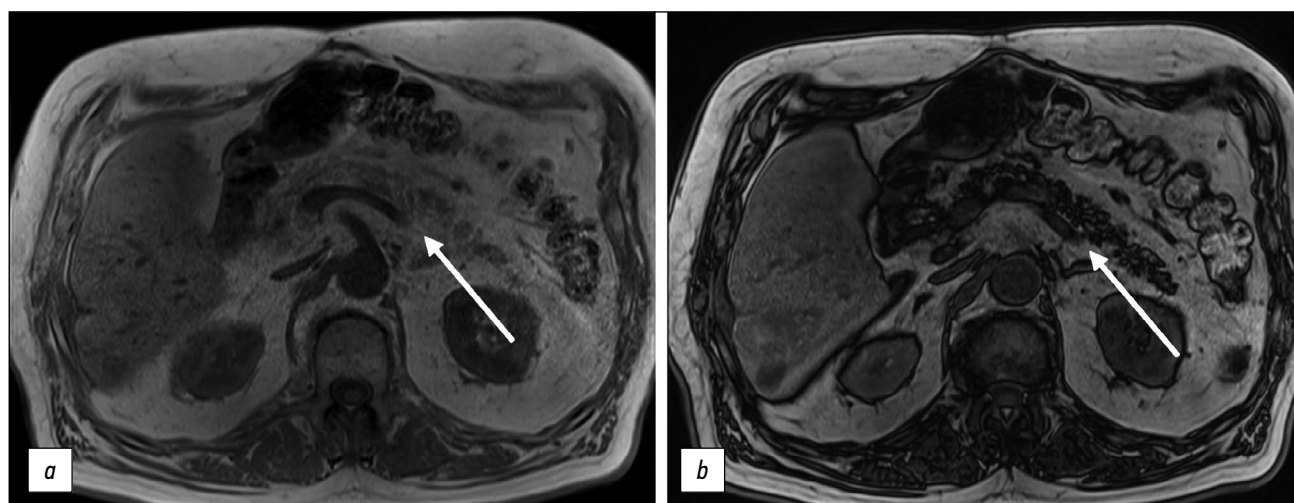


图7. 腹部器官的磁共振成像，胰腺脂肪瘤 (箭头)：*a*——相位 (in phase)，*b*——反相位 (opposed phase)。反相位显示了，胰腺信号下降，而肝脏信号正常。

是信噪比较低，但这一缺点可通过使用静脉注射对比剂得到补偿。

在非接触性患者中，SGE可以是在不屏住呼吸的情况下进行的：这样的序列包括MP-RAGE (magnetization prepared rapid acquisition gradient) 和Turbo FLASH (turbo-fast low angle shot)。这种方法的局限性是T1加权组织对比度较低 (与标准SGE相比)。另一个缺点是不能用这种技术进行肝脏动态对比度，尤其是在早期动脉期：采集一个切片需要1.5秒，所以扫描肝脏上下两部分的时间差不允许在一个 (动脉) 阶段采集所有部分。相比之下，标准的SGE序列虽然对运动敏感，但具有较高的时间分辨率，可以显示所需的组织体积。

DWI在腹部放射学中被广泛使用。屏住呼吸或不屏住呼吸的SS-EPI序列 (single-shot echo-planar) 是最常用的。平行数据采集被用来减少扫描时间和更明确地计算所测量的扩散系数，现

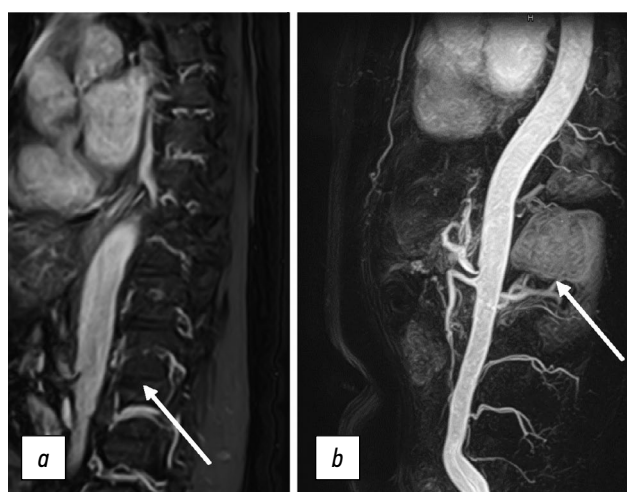


图8. 腹主动脉及其分支的对比增强磁共振成像。风湿主干被膈肌干压迫 (箭头)：*a*——SSFE；*b*——三维模式下的对比增强。

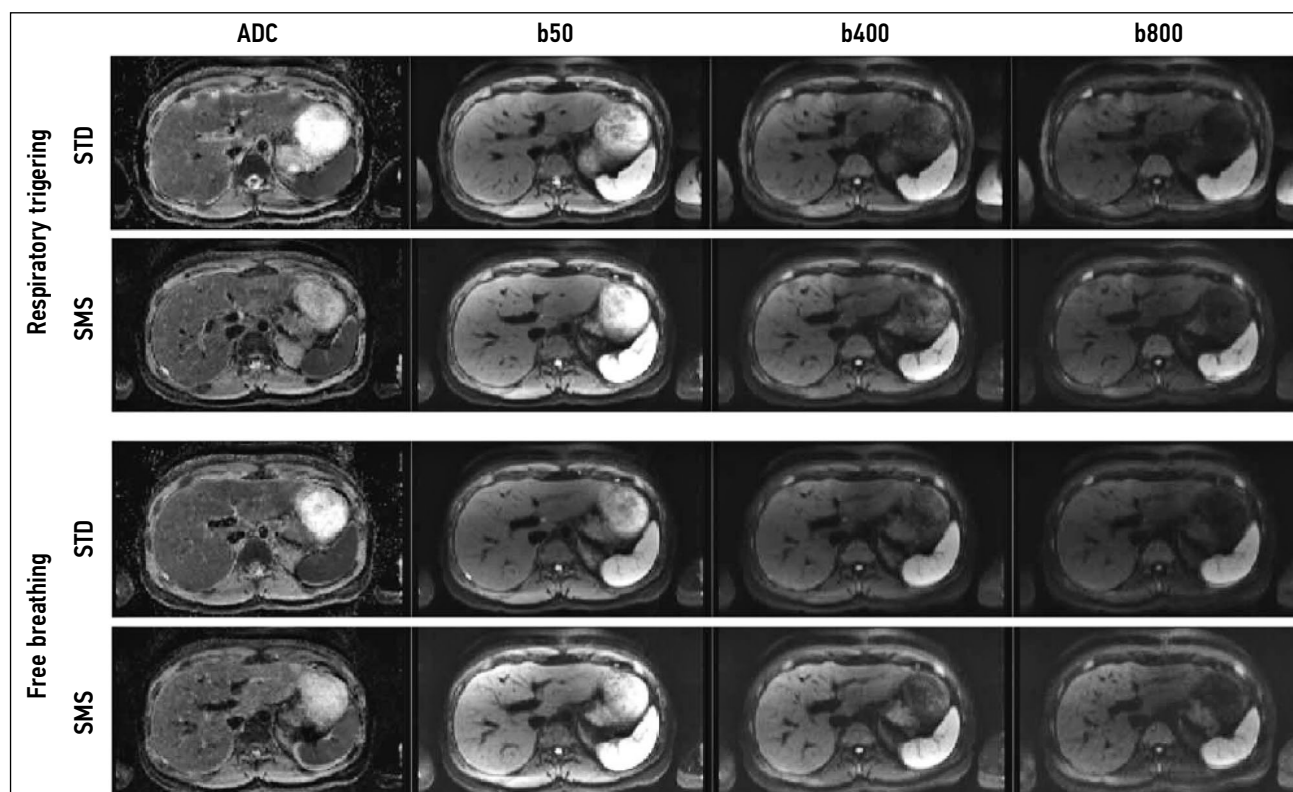


图9. 在自由呼吸 (FB) 和呼吸触发 (RT) 上使用不同的b因子 (50, 400, 800 mm^2/s) 的标准 (STD DWI) 和同步 (SMS DWI) 多层扩散加权图像的比较以及相应的测量扩散系数 (ADC)。使用标准扩散加权图像的平均扫描时间为10:30分钟 (5:56–18:13)，使用SMS-DWI的平均扫描时间为3:29分钟 (2:19–4:27) [16]。

代技术允许在不到1分钟的扫描时间内实现具有高空间分辨率的同步多层成像 (simultaneous multislice imaging, SMS DWI) [16] (图9)。

结论

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，它允许观察实质器官和空腔脏器的局灶性或弥漫性变化，具有很高的诊断准确和可重复性。多参数扫描方案不仅能提供器官的相互形貌及其结构的信息，而且提供组织功能状态的信息，使图像从结构评估过渡到功能评估。

在大多数情况下，腹部器官的标准扫描方案包括T1WI、T2WI、DWI、MRCP，不过根据检查的目的和病人的情况，这个方案可以缩短或补充。

现在有大量不同的脉冲序列，现有的技术开发和成就允许简化扫描过程并减少成像时间，同时提高各种保健机关中技术的可重复性，甚至在经验不足的用户中也是如此。

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, Gilderdale 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/7dc9771a1b5aaec215c99fd74ab5e659738cf4fd](https://www.semanticscholar.org/paper/ACR-%E2%80%93SAR-%E2%80%93SPR-PRACTICE-PARAMETER-FOR-THE-OF-(-MRI-Monticciolo-Podberesky/7dc9771a1b5aaec215c99fd74ab5e659738cf4fd). 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

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

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 Лия 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

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

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敏感性方法。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晕后区，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

研究现实性

乳头乳晕复合体是乳腺的一个区域，具有独特的特征。该复合体是由各种细胞和特定组织组成的，其主要机能是确保哺乳期乳汁的回流和分泌[1]。乳头乳晕复合体容易受到各种病理状态的影响，包括发育异常、良性过程（炎症、感染、良性肿瘤）以及侵入性和非侵入性癌症[2]。

乳头乳晕复合体的评估给临床医生和放射科医生带来了挑战。该区域的病理过程往往具有非特异性的临床表现和放射学特征，这使正确诊断变得较复杂和延迟。

乳头乳晕复合体病变的鉴别诊断需要从病史采集、皮肤的视觉评估、乳头异常分泌物、缩回、内陷、可触及的肿块等开始。

影像学在乳头乳晕复合体疾病的诊断中起着重要的作用。标准的乳腺钼靶和超声检查有一些限制。乳房结构的移动性、表面位置和密度差异使医生特别难以解释图像。乳房X光照片上很难对乳晕后区进行评估，因此该区的病变往往没有被发现。由于这个原因，磁共振成像（MRI）在乳头乳晕复合体的诊断中变得越来越重要。

在手术治疗计划阶段中，确定乳头乳晕复合体受累于肿瘤是很重要的。当乳腺癌扩散到乳头乳晕复合体时，肿瘤被归类为T4，这决定疾病阶段（预后），并且无法通过乳房切除术保留乳头。另一方面，在乳头乳晕复合体没有受到影响的情况下精确判断肿瘤边界增加保留器官的乳房手术能力[3]。

对比度增强MRI是诊断乳腺癌的最敏感性方法[4]。乳房MRI的适应症是乳腺钼靶和超声检查不一致的结果，乳腺癌的分期，新辅助化疗的效能评估，活检中病理过程的定位澄清[5]。乳房MRI可能对有乳头异常分泌物的妇女有帮助，当普通乳腺钼靶和超声检查不能提供明确的结果时，可以作为一种额外的诊断工具[6]。

一系列病例的描述

临床病例1

患者，59岁，主诉乳头糜烂性变化（图1）。体格检查发现了，乳头有红斑、糜烂和缩回。彩色多普勒超声检查显示乳头影的血流增加（图2）。乳腺钼靶没有发现病理变化。为了明确病变的程度，对乳腺进行了增强MRI。早期对比度增强后系列（图3）和MIP图像（图4）显示了乳晕后区有一个从乳头位延伸到乳房后面的节段性对比区。超声引导下的核心活检结果及随后的免疫组化检查结果显示了，乳头佩吉特氏病合并高恶性的导管原位癌：雌激素受体（G3 ER）和孕酮受体（PR）阴性，Ki-67致癌蛋白为45%。



图1. 佩吉特氏病的乳头糜烂性变化。

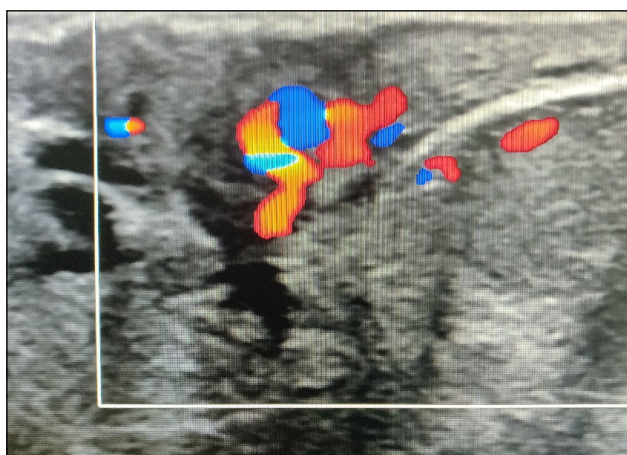


图2. 佩吉特氏病：彩色多普勒显像的血流增加。

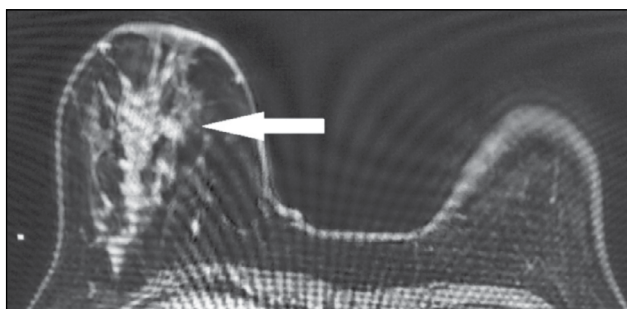


图3. 磁共振成像上的佩吉特氏病（早期对比度增强阶段）：乳晕后区有一个从乳头位延伸到乳房后面的节段性对比区（箭头）。



图4. 磁共振成像上的佩吉特氏病（最大强度投影，MIP）：乳晕后区有一个从乳头位延伸到乳房后面的节段性对比区（箭头）。

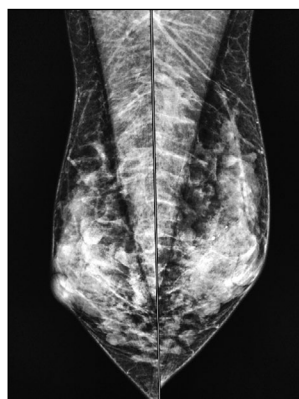


图5。乳头腺瘤：乳腺钼靶（斜投影，ML0）。

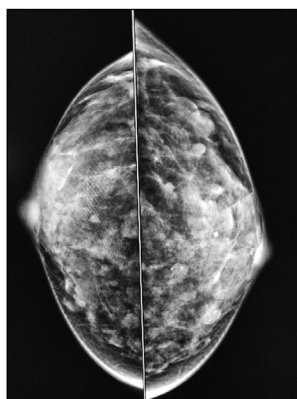


图6。乳头腺瘤：乳腺钼靶（直接投影，CC）。

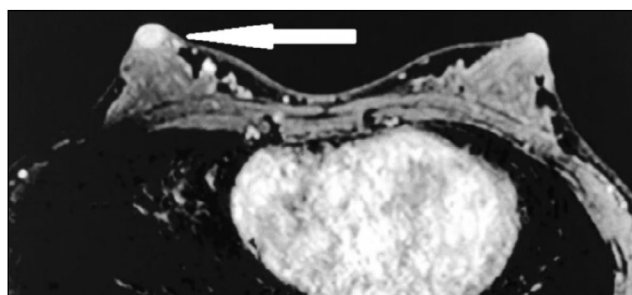


图7。磁共振成像上的乳头腺瘤（早期对比度增强后系列）：右边乳头的肿块均匀地积聚对比剂（箭头）。

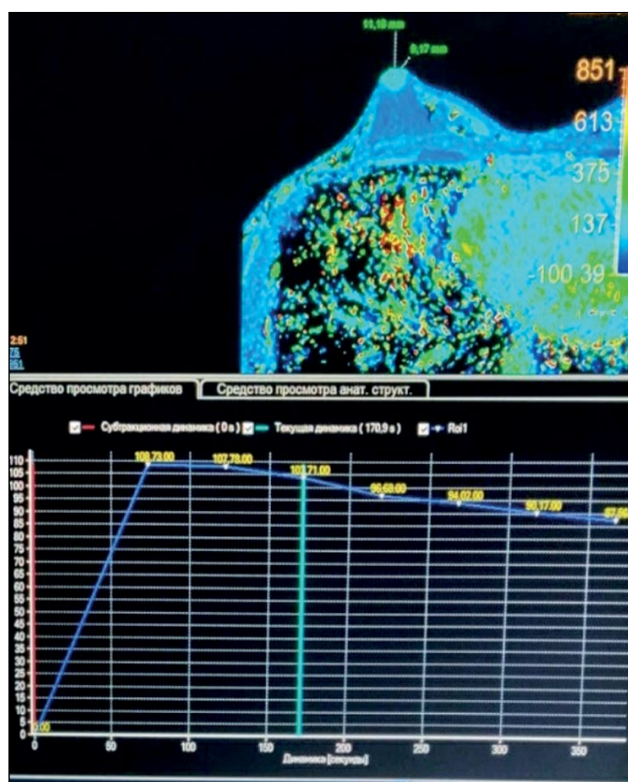


图8。磁共振成像上的乳头腺瘤（参数图）：快速对比度增强及随后复位的乳头肿块，III型图形曲线。

临床病例2

患者，38岁，主诉右边乳头痒了一个月，皮肤颜色有变化。超声检查和乳腺钼靶的结果（图5、6）无异常。对乳腺进行了增强MRI。早期对比度增强后系列显示了，右边乳头的肿块均匀地积聚对比剂（图7）。参数图显示快速对比度增强及随后复位的乳头肿块，III型图形曲线（图8）。经形态学验证，诊断为乳头腺瘤。

临床病例3

患者，43岁，没有主诉。她接受了乳腺MRI，以确定植入物的完整性。一个偶然的发现是左边乳头的对比剂积聚不对称（图9，10）。持续3年的动态观察没有发现负面动态。

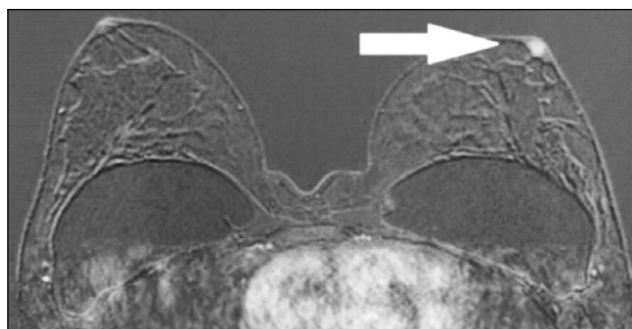


图9。磁共振成像（早期对比度增强后系列）：左边乳头对比剂积聚不对称，正常（箭头）。

临床病例4

患者，38岁，无主诉。计划体格检查发现了左边乳头内陷。对左边乳房的超声检查没有发现异常（图11）。静脉注射对比剂的MRI（图12）显示不对称的对比剂积聚、积聚对比剂的乳晕后肿块（内陷乳头），没有发现乳房局灶性病变。

讨论

乳头乳晕复合体是乳房最突出部分的一个色素区域，乳管在此汇合，这些乳管排泄15-20个乳腺叶[7]。由于解剖学上的复杂性[8]、表面位置、移动性，乳腺的这一区域在临床检查和仪器成像时需要特别注意。

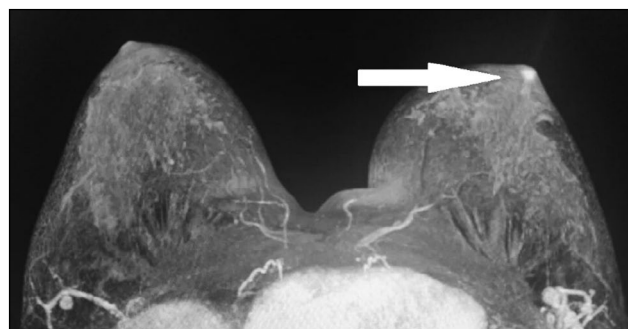


图10。磁共振成像（MIP）：左边乳头对比剂积聚不对称，正常（箭头）。

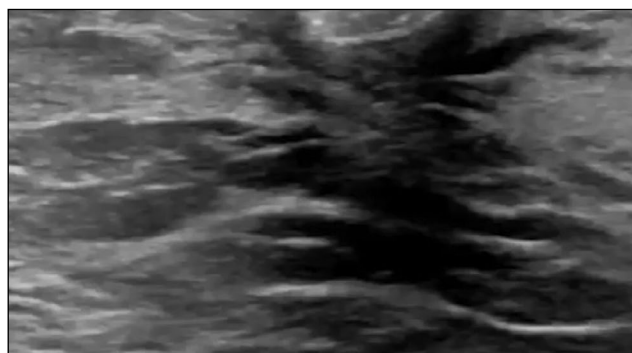


图11. 乳头内陷时的左乳超声检查。

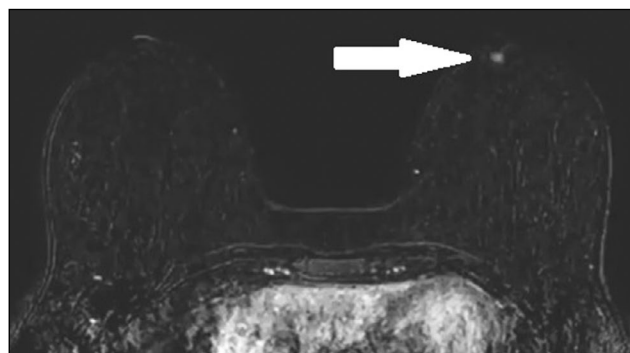


图12. 磁共振成像（减影）：乳晕后的肿块积聚对比剂（内陷乳头，箭头）。

在临床实践中，超声检查和乳腺钼靶是乳头乳晕复合体最常用的诊断工具。如果前几种方法的结果不确定，可采用静脉注射对比剂的MRI来评估该过程的范围。

超声检查在检查乳头乳晕复合体方面有几个优势：特别是它可以广泛使用，没有电离辐射，对乳晕后区域有很好的空间分辨率，允许在此识别小的病变[9]。

乳腺钼靶是识别钙化的最敏感性方法。在乳头乳晕复合体中，钙化是罕见的，通常有良性来源（皮肤、导管内腐质、脂肪坏死钙化等）。微钙化可由导管内癌引起，有时由佩吉特氏病引起[10]。乳腺钼靶在评估乳晕后区时不如超声检查敏感，因为这部分乳房的密度和移动性更大[11]。

进行乳腺钼靶时乳房的正确定位很重要[10]。乳头在至少一个投影中的切向位置是基本上的，最好是在直接或斜向的投影。对于凹陷乳头的患者（正常的一种变体），乳头应该是切向的和对称的。

动态对比增强MRI是诊断乳腺疾病的最敏感性方法。在乳腺恶性肿瘤中，MRI提供了关于病变过程范围的宝贵信息，有助于计划治疗和确定预后[12]。在评估乳头乳晕复合体的肿瘤病变时，MRI具有较高的灵敏性（90-100%），中等的特异性（80-90%）和较高的阴性预后价值（98%）[3]。当乳腺钼靶和超声检查的结果不一致，并临床症状不明确时，MRI允许做出明确诊断[13]。MRI的优点包括高分辨率、进行动态对比增强的可能性。早期不对称异质及强烈对比剂的积聚，随后撤消，都可能是恶性肿瘤的征候[14]。在术前计划阶段，在治疗乳腺癌患者的保留乳头乳房切除术扩展方面，需要MRI[15-17]。最后，在诊断乳头异常分泌物和经皮穿刺活检时，作为乳腺钼靶和超声检查的辅助手段，MRI非常有用[18]。

我们描述了一个乳腺钼靶假阴性时诊断佩吉特氏病的临床病例。通过静脉注射对比剂的MRI，我们得以评估该过程的真实范围。佩吉特氏病占所有乳腺癌的1-3%。它演示乳头表皮中存在的良性肿瘤细胞[19]。它在临床上表现为乳头的红斑、糜烂和溃疡，有时合并可触及的乳晕后肿块

和/或乳头的内陷或分泌物。鉴别诊断是应该与特应性或接触性皮炎、恶性黑色素瘤、梅克尔细胞癌、真菌性霉菌病、乳头腺瘤和外分泌腺导管癌进行的。为了明确诊断，如我们的病例，需要进行皮肤活检和免疫组织化学检查。

影像学检查的方法至关重要，因为90%的佩吉特氏病病例都合并有导管原位癌或浸润性癌[13, 20]。在初期乳腺钼靶中，对乳头乳晕复合体和乳房前三分之一的放大图像进行评估很重要。可以看到皮肤增厚、乳晕后肿块或多形性微钙化。超声图像没有任何特征，但可能显示扩张的乳晕下导管、钙化和乳头变化。

值得注意的是，在22-71%的病例中，乳腺钼靶结果为阴性[21]。在这些情况下，应该进行乳腺磁共振扫描，以识别病理并确定过程的范围[20]。MRI的特征包括乳头乳晕复合体的不对称、增厚、变平、缩回及该区域不均匀的对比剂积聚。MRI允许对乳房和腋窝淋巴结周围的结构进行评估。

临床病例2显示了乳头腺瘤时诊断搜索的困难。在描述的例子中，超声检查和乳腺钼靶没有发现任何病理变化，只有MRI后的活检才能做出正确诊断。乳头腺瘤（侵蚀性腺瘤病或乳晕下乳头状瘤病）是导管内乳头状瘤的一个罕见变体。它在临床上表现为乳头皮肤下可触及的小结节，通常伴有乳头的炎症性改变（疼痛、变红并水肿）。皮肤受累是由于腺体上皮向皮肤表面生长出现的。皮肤表现与佩吉特氏病、鳞状细胞癌、湿疹、银屑病或感染相似。明确诊断的“金标准”是组织学验证。乳腺钼靶和超声检查通常不能提供有价值的信息。超声检查会发现乳头或乳晕下区域的低回声结节[22]。

临床病例3和4证明了，MRI上不对称的对比剂积聚不一定是病理过程的征候。没有病理时，MRI应该显示，两个乳头以同样的速度和强度积累对比剂。然而，正常的乳头不对称是可能的：可能是由于乳头乳晕复合体的解剖特点、乳腺的大小、衣服对乳腺的压缩和摩擦、血液供应变体、局部炎症出现的[12]。对比剂在乳头乳晕复合体结构中的积聚具有生理的特征和差异。薄薄的增强环通常在两个乳腺中是对称的；有时增强在早

期是不对称的，在后期变成对称的。在一项对265名无症状妇女的530个正常乳头的研究中，Y. Gao等人[12]描述了在乳头乳晕复合体的T1加权像中存在的三个增强区。

乳头内陷（发生在4%的女性和男性中）是一种良性疾病，是与缺乏间质组织能力来保持乳头位置有关的[12]。75%的妇女的乳头是凸起的，23%的乳头是平坦的，2%的乳头是凹陷的。MIP图像适用于评估乳头乳晕复合物的形态和对称性。在对比度增强后的图像中，与背景增强的实质组织相比，乳头应该是高强度或等强度的[12]。

乳头的内陷、缩回和不规则是正常的，但也可能是病理过程的征候。仔细采集病史、与以前的检查进行比较和动态观察通常有助于鉴别诊断。

结论

乳头乳晕复合体解剖学上的复杂性要求对该区域的病理诊断采取特殊的多模式方法。通常情况下，病理过程具有非特异性的临床和放射学表现，这可能导致诊断困难。影像学检查的方法在这一过程中发挥重要的作用。临床医生和放射科医生需要了解其中的利与弊，并能够解释不同形态的结果。为了做出明确的诊断，非常重要对临

床、放射学和组织学的数据进行复杂性的评估。上述的临床病例是在正常和病理的情况下乳头乳晕复合体不对称性变化的例子。

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.

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.0000000000000710
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, 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/usg.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/rq.27si075512
22. Alhayo 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.semdp.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. AcoR; 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/rq.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/rq.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/rq.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/rq.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. Zikiryakhodzhayev 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/rq.27si075512
22. Alhayo ST, Edirimanne S. Clinically challenging case of nipple adenoma. *Breast J.* 2018;24(6):1084–1085. doi: 10.1111/tbj.13089

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

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

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

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下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下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

研究现实性

近几十年来，直肠癌手术技术的开发取得了重大进展，以改善手术效果并减少围手术期并发症的风险[1]。保留括约肌手术（如低位前切除术和伴有形成结肠肛门吻合的腹腔肛管直肠切除术[2, 3]）数量急剧增加。尽管如此，根据不同的作者，术后早期并发症的比例高达20%或更多。结肠无力吻合术后第二种最常见的严重并发症是大肠段降下盆腔的坏死[3, 4]。因此，寻找早期诊断发展中的并发症的无创方法以及在术后对患者进行动态观察尤为重要。

直肠造影、超声检查和计算机断层扫描用于术后并发症的诊断，但这些方法有一些局限性，是因既骨盆的可见度不够，也辐射暴露而出现的。近年来，磁共振成像（MRI）的可达性越来越高，在没有辐射暴露的情况下，使其成为检测和观察接受直肠切除术的病人术后并发症的一种有前途的方法。该方法的优点是软组织对比好，允许评估结肠直肠吻合术的连续性，检测盆腔（包括骶前区）是否存在病理性液体/血液/脓液/气体积聚，以及在对比后图像中评估降下结肠的血液供应的可能性。

我们介绍了一个腹腔镜辅助下的伴有形成结肠贮袋和结肠肛门吻合的腹腔肛管直肠切除术后结肠坏死的临床病例，以说明MRI观察在诊断这种并发症方面的潜力。

病例描述

关于病人

一名47岁的男性患者在A. F. Tsyb奥布宁斯克国家放射学医疗研究中心接受治疗，诊断为“C20直肠恶性肿瘤cT4bN1aM0 IIIB期”。患者接受了联合治疗，其中包括术前化学放射治疗（病灶总剂量为50 Gy+卡培他滨）、4个周期的FOLF0X6方案的新辅助化疗，以及腹腔镜辅助下的伴有形成结肠贮袋和结肠肛门吻合的腹腔肛管直肠切除术、横结肠造口术。在手术过程中，调动了整个左半结肠和脾脏弯曲，在底部结扎肠系膜下动脉，在Treitz韧带区域结扎肠系膜下静脉。盆腔放疗后的变化（软组织水肿和纤维性的变化）和人体测量结果导致了技术困难，因此将直肠肠壁调动到肛管。大肠是在乙状结肠中间三分之一处交叉的。在齿状线的边界处解剖了直肠粘膜，调动了直肠并切除了内括约肌部分；经腹腔除去制剂。充分调动了降结肠，是经肛管降下的，并形成了结肠贮袋和人工结肠肛门吻合。手术标本的组织学检查显示了，新辅助治疗有完全的病理形态学反应。

动态观察

从术后第1天开始，患者出现了间歇性低热和血清C反应蛋白（CRP）的高浓度（图1）。鉴于这种临床情况，术后第3天患者接受了仪器检查，包

括MRI和直肠镜检查。在盆腔的MRI中获取了高分辨率的T2加权图像（WI），在三个正交平面和T1模式下进行脂肪抑制（FS）和含钆药物的静脉注射对比剂增强。在结肠肛门吻合近端15厘米处发现了结肠壁弥漫性肿胀，对比剂积聚明显受损，这被认为是结肠远端段下降到盆腔的血液供给紊乱（图2）。直肠镜检查时，下降结肠的粘膜是粉红色的，没有缺血或坏死的征候，管腔内有粘液。

患者接受动态观察，并接受保守治疗，包括输液治疗、抗生素和抗凝血剂。

术后第6天，病人仍然高热（37.6°C），并且CRP的浓度很高（高达114.6毫克/升），因此医生进行了第二次仪器检查。

在没有对比增强的对照磁共振成像中，先前检测到的结肠远端段壁弥漫性肿胀的变化与结肠贮袋前壁的缺陷结合在一起，有一个附壁空气腔，底部有少量渗出物（图3）。直肠镜检查时，下降结肠有坏死的征候（图4）：粘膜呈紫灰色，无光泽；管腔变形了，褶皱不明显；管腔内有改变的血液和坏死性肿块；发现有腐烂的恶臭味。

一个委员会认为，在这个病例中唯一可能的手术治疗是吻合口分离，并切除下降结肠的坏死部分。然而，考虑到没有肠道完全坏死的临床表现和化脓性并发症，体温和CRP动态呈阳性，以及患者相对满意的状况，决定了在控制实验室参数的情况下继续进行保守治疗。

术后第10天，患者发烧37.8°C，CRP浓度下降到78.8毫克/升。进行了第三次对照对比剂增强MRI：发现了结肠贮袋壁有持续的缺损，下降到盆腔的结肠段有一个无注射对比剂的壁空腔（图5）。

要考虑到，下降结肠段中持续存在血液供给紊乱的征候，CRP水平上升至307.5毫克/升，体温上升至38.1°C，在术后第17天时，进行了下降结肠切除术、结肠肛门吻合口分离、结肠末端造口形成、盆腔消毒和引流的手术干预。

复查时，腹腔内无渗出物；大网膜填塞了小骨盆入口；直到小骨盆入口的结肠没有缺血或坏死的征候。调动了左半结肠直至造口，在横结肠造口水平上进行了横结肠切除术；将有缺血征候的结肠远端部分与盆腔分离，结肠肛门吻合口是解剖的，标本是切除的。对盆腔进行了消毒，通过肛门进行了填塞。在左肋下腔形成了一个端横结肠造口。

对切除的标本进行的病理形态学检查发现了，左半结肠有粘膜坏死的病灶，有些病灶延伸到整个结肠壁的厚度。在邻近的肠系膜脂肪组织中有脂肪黄色肉芽肿和坏死灶。在结肠和邻近肠系膜的浆膜上发现了纤维蛋白斑块和碎屑。术后病情平稳。

讨论

当直肠癌患者在新辅助化疗后接受伴有形成结肠肛门吻合术的腹腔肛管直肠切除术时，确实存

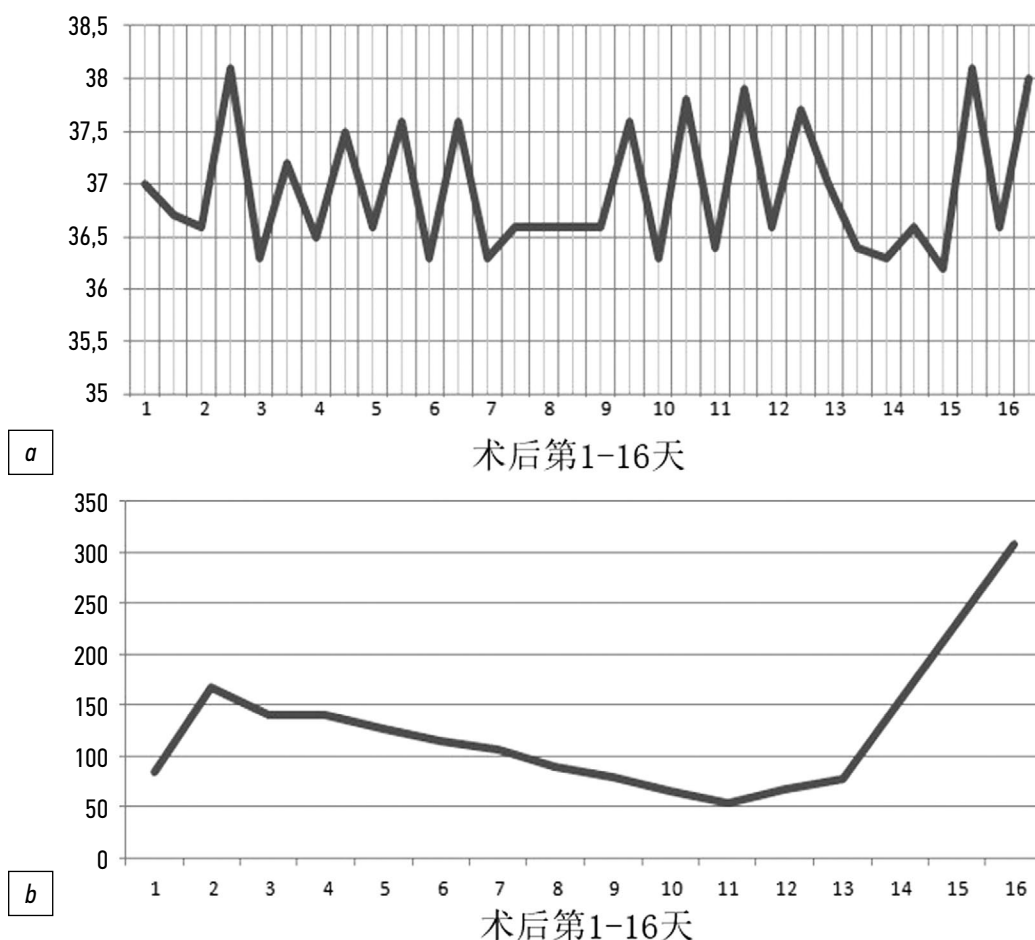


图1。从术后第1天到再次剖腹探查术（术后第16天），温度（*a*；单位：°C）和血清C反应蛋白水平（*b*；单位：mg/l）的图表。

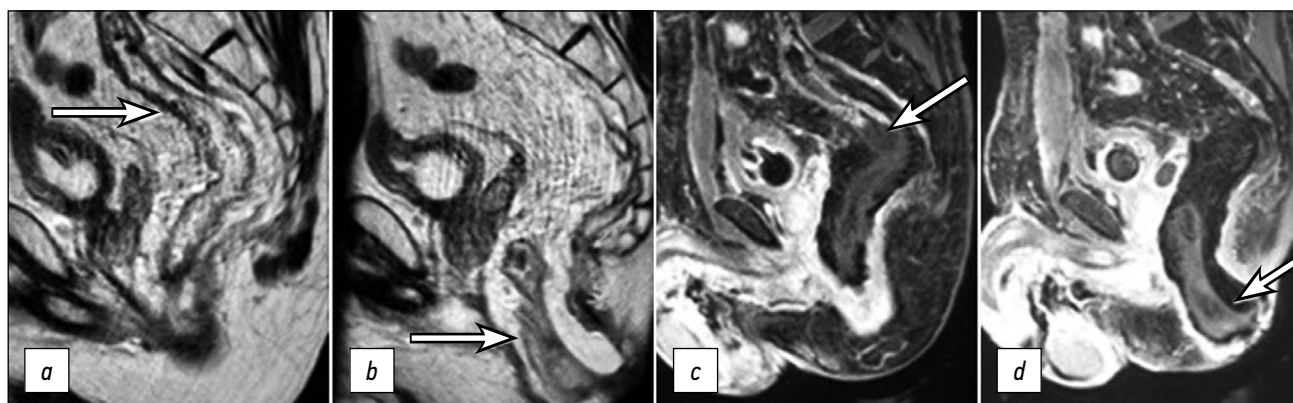


图2。术后第3天的磁共振图像，在T2（*a*, *b*）和对比度增强T1-FS（*c*, *d*）的模式下两个相邻的盆腔矢状切面：下降到盆腔的结肠段的上段（*a*, *c*）和下段（*b*, *d*），在总长度为15厘米的范围内，结肠壁增厚，对比度急剧减弱，缺血和正常的结肠段之间有明显的界限（箭头）。

在下降到盆腔的结肠段急性缺血的风险，这可能使术后情况严重复杂化。虽然吻合术后结肠可能立即显示正常，但不能排除术后早期出现缺血的可能性。

据文献报道，术前放疗是结肠缺血的一个重要危险因素，同时还有年龄大、男性和存在心血管疾病。围手术期的危险因素包括肠系膜下动脉高位结扎和吻合口形成时结肠过度拉伸[5, 6]。此

外，有人认为腹腔镜入路会导致结肠缺血，因为腹腔积气和腹腔内压力增加会减少肠系膜静脉血流[7]。在这些危险因素中，我们的病人受到男性、新辅助化放疗，腹腔镜入路和肠系膜下动脉高位结扎等因素的影响。

在我们描述的临床例子中，在术后第3天通过MRI确定的下降到盆腔结肠缺血的征候包括在原生T2WI上的非特异性表现，即肠壁的水肿和增

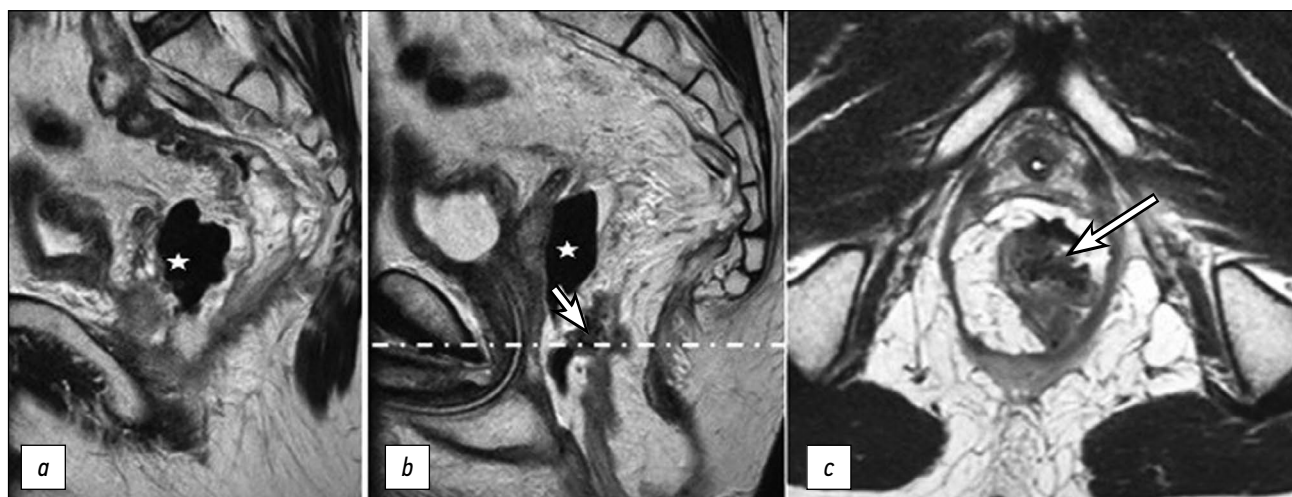


图3。术后第6天在T2模式下的盆腔磁共振成像：两个相邻的矢状切面，下降结肠段的上段（a）和下段（b）有持续的弥漫性壁肿胀；虚线水平的轴状切面（c）。结肠贮袋前壁的缺陷（箭头），形成的附壁空气腔（星形）。

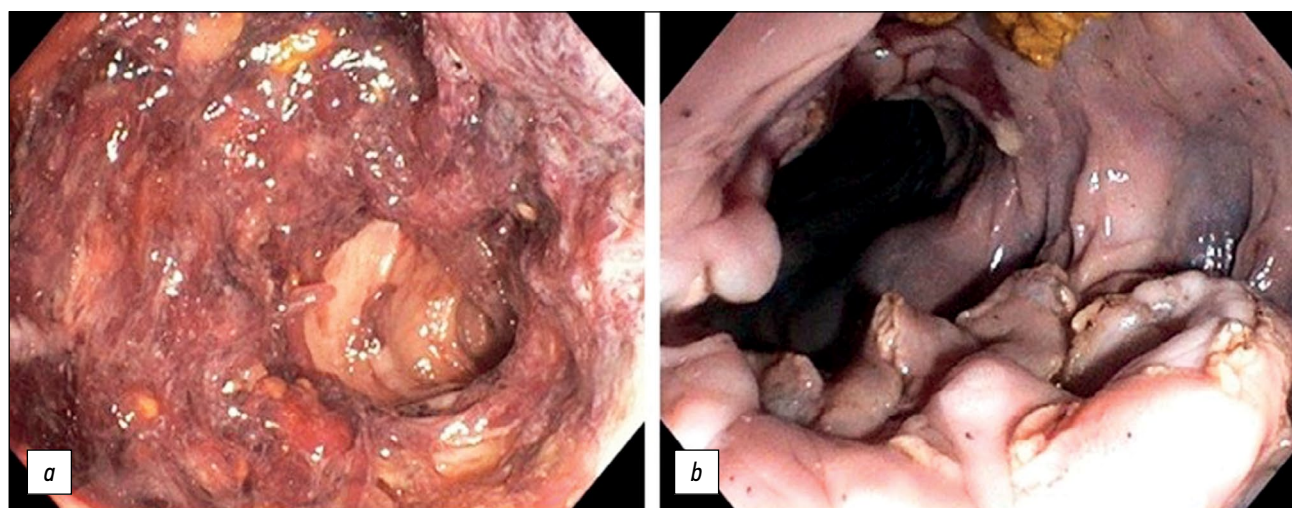


图4。术后第6天的内窥镜图片：坏死变化区域（a）；肠壁变形，紫灰色无光泽的粘膜（b）。

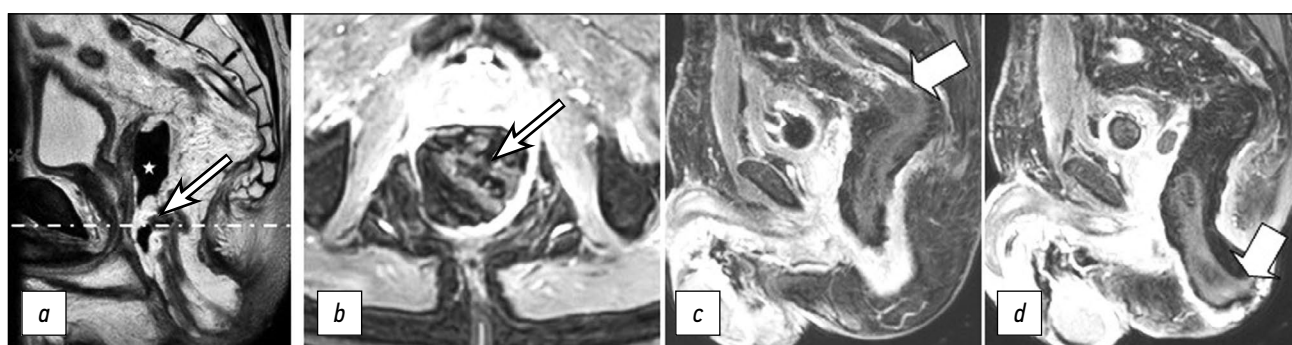


图5。术后第10天的骨盆磁共振成像，在T2（a）和虚线水平轴状面的对比度增强T1-FS模式下（b）：结肠贮袋壁的缺陷（箭头）和空气腔（星形）；对比度增强T1-FS模式下相邻的两个矢状面切片（c，d）：缺血结肠段的上、下边缘（箭头）。

厚，在对比后图像上的特点是在吻合口水平以上没有对比剂，上边缘清晰。这种结肠缺血变异的特征被认为是受累于从吻合口水平开始的相当长延伸（6-15厘米）[5]，正如在我们的病人身上观察到的那样。

在这个例子中，在术后进行最初MRI时，没有坏死内镜图片，这也是对病人进行保守治疗的基础。缺血的保守治疗（抗生素治疗）通常允许病人在2周内以满意状态出院，但应该注意的是，病人极有可能在几个月后出现缺血区的狭窄[5]。

急性缺血的一个不利结果是下降结肠段中会发生坏死，这需要紧急手术。在这个病例中，重复MRI（术后第6天）显示了负面的动态变化：在下降结肠壁有持续弥漫性水肿的背景下，出现了一个组织破坏的区域，在结肠贮袋壁上形成了一个缺陷，并形成了一个含有气体和液体的附壁腔。虽然进行了保守治疗，术后10天，MR图像仍然没有变化。重复内窥镜检查证实了MRI显示的坏死变化；此外，全身炎症反应的迹象越来越多，所以需要重新进行切除吻合口的开腹手术，并切除结肠坏死部分。

结论

上述临床病例表明，腹腔肛管降结肠切除术后出现下降到盆腔结肠段缺血，可以通过对比剂增强MRI诊断，即下降结肠相当长的部分没有造影剂，且边缘清晰。在原生T2WI上，所有的肠壁层在相关区域都存在增厚和水肿。

动态MRI观察允许显示一个负面的动态过程，有肠壁各层完全坏死的征候，作为出现一个含有液体和气体的附壁腔的破坏。在MRI上显示的肠壁完全坏死的征候，结合相应的临床实验室数据，可以被认为是重新开腹手术的指征。

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.

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.

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

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: oncourolog@gmail.com

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: oncourolog@gmail.com

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

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，使我们能够看到云雾状征象（cloudy sky sign）并将其与COVID-19患者的实变区分开来，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

研究现实性

因为肺部症状占据主导地位，由SARS-CoV-2引起的新型冠状病毒感染（COVID-19）成为近两年来的一个重要研究对象。与感染相关的在胸部计算机断层扫描（CT）上看到的初期证候是单侧局灶性或双侧弥漫性的磨玻璃样阴影，这些浑浊逐渐加剧并导致肺实质增厚（实变）[1, 2]。

在这一流行病开始时，由于缺乏具体的实验室诊断资金，胸部CT扫描结果被认为是决定病人是否应该通过实验室方法检测COVID-19的一个可能因素。后来这种作为筛查的方法被抛弃了，现在只有在有临床表现时才建议进行胸部CT扫描[3, 4]。在严重病程的情况下，胸部CT扫描是反复进行的，以监测病情，这不可避免地导致高辐射暴露。由于断层扫描仪的软件不断改进，胸部磁共振成像（MRI）是肺部病变放射诊断的一个很好的发展方向。由于具有某些优势，特别是没有辐射暴露，在某些情况下，肺部MRI可以被认为是首选的方法[5-7]。

我们的一系列病例介绍了SARS-CoV-2检测呈阳性时患者的肺部动态MRI。MRI是在出现病毒性肺炎症状（低热或中度热、干咳嗽、无力）的几天后进行的。文章描述了急性COVID-19病毒性肺炎的病理变化，这些变化是通过动态MRI在三个平面上获得的胸腔电影图像来检测的。

一系列病例的描述

MRI扫描。患者在3T磁共振扫描仪（Signa Pioneer, General Electric, 美国）上接受仰卧位的检查，使用了腹部和台面集成的椎体射频线圈。扫描是在不使用呼吸触发器和自由呼吸的情况下进行的。为了尽量减少与呼吸运动有关的动态伪影，射频线圈被固定。该研究是在自由呼吸时进行的，使用了横膈膜运动的自动同步来优化数据采集时间。磁共振电影成像是采用单次激发快速自旋回波（single shot fast spin echo, SSFSE）获得的，附加参数：TR 1460 ms, TE 108.6 ms, 旋转角度90°, FOV

450'450 mm, 矩阵384×256, 切片厚度6 mm, 切片间距6 mm, 平均数0.6, K空间填充方式（非线性）。为了获得这些图像，我们要求病人慢慢吸气，在脑子里数到十，然后以同样的方式慢慢呼气。对于每个病人，我们在三个正交平面内获得三个动态图像。

MRI分析。我们搜索的主要对象是较高信号强度的多边形区域（相对于肌肉组织的高强度，但相对于肺部实变区的低强度，即信号不如实变区强烈），这可能表现云雾状征象（cloudy sky sign）。我们还注意到在吸气和呼气时病变区域的信号强度变化。

病例1

患者（女性，45岁）在出现干咳嗽和轻微发烧（低于37.5°C）的症状后第5天来到诊所。吸气时冠状面的肺部动态磁共振成像（图1）显示了，右肺下叶（S9-10）有一个高信号区，被解读成中央区增厚（信号更强）和周围的云雾状暗区（信号不太强）。在轴状和矢状面，在相应的区域发现了表明实变的高信号，沿其边缘有云雾状征象。在呼气结束时，冠状面上上述区域的信号强度增加（图2），由于肺组织萎缩，患部的视觉大小减少。在轴状和矢状面，呼气时信号强度没有明显变化。

不论呼吸相位如何，相同高信号可能表明肺泡浸润（实变），呼气时信号不太强烈的区域可能表明中间变化（云雾状征象）。

病例2

一名患者（女性，25岁）的症状表现为干咳嗽、严重发烧（体温达到39°C）、发冷、胸口沉重感。该妇女在第一次发病后的第6天来到医院，当时症状变得极为明显。动态磁共振成像显示了，左肺下叶（S6、S8-9）有一个广泛的较高信号区。吸气时，在冠状面、轴状面和矢状面都有不均匀的较高信号（图3）。在呼气时（图4），冠状面和矢状面的信号强度增加，患部的视觉大小增加，云雾状暗区扩大。一个可能的解释是呼气时肺组织萎缩。



图1. 吸气时在冠状面、轴状面和矢状面的肺部动态磁共振成像。箭头表示轴向和矢状面的增厚区，箭头表示冠状面的云雾状征象（S9-10）。



图2。呼气时在冠状面、轴状面和矢状面的肺部动态磁共振成像。箭头表示实变区（S9-10）。

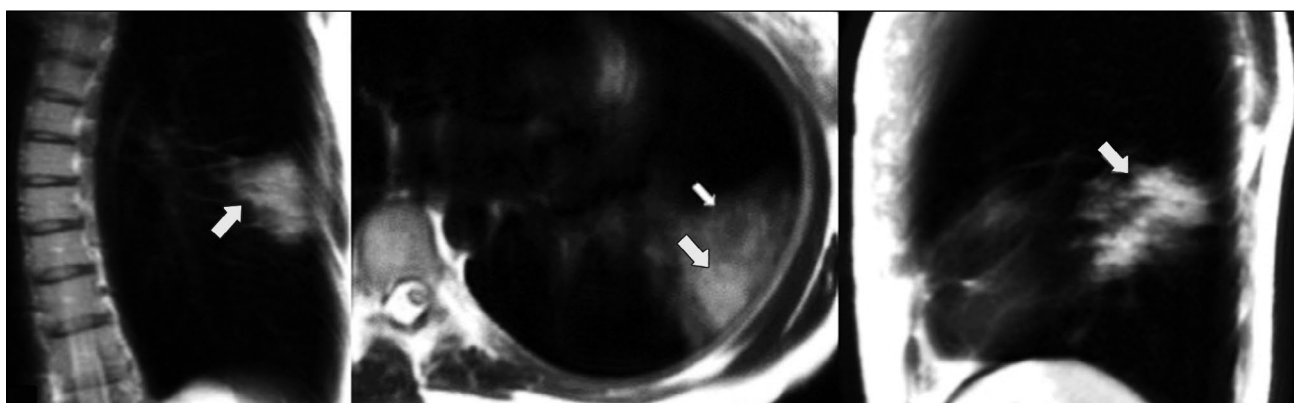


图3。吸气时在冠状面、轴状面和矢状面的肺部动态磁共振成像。橙色箭头表示吸气时可见的实变区（S6、8-9），白色箭头表示有云雾状征象区。



图4。呼气时在冠状面、轴状面和矢状面的肺部动态磁共振成像。箭头表示受影响的组织区域，其中包括标出的间质（云雾状征象）和肺泡（增厚）两种变化的区域，在呼气时可以区分出来（见图3）。

胸式呼吸运动也会对扫描水平有影响，从而对观察到的情况也有影响。在轴状的磁共振影像上，吸气时在信号增强区外围注意到的云雾状征象在呼气时变得更加强烈，这可能是由于肺实质增厚的增加。

病例3

一名患者（男性，49岁）在出现轻微咳嗽和低热（低于至37.5°C）的症状后第2天来到诊所。动态肺部MRI显示了云雾状征象的占优势的情况，这被不同的信号强度和信号变化区的大小证实，取

决于呼吸周期的相位。在冠状面、轴状面和矢状面，吸气时（图5）在右肺下叶检测到一个低强度的信号（S6，S9-10）。呼气结束时的冠状面和矢状面图像（图6）保留了所述区域的较高信号强度及其大小的增加。在轴状面，呼气时云雾状征象更加明显，同时可见肺组织病变区扩大。

讨论

计算机断层扫描是COVID-19肺炎以及其他病毒性肺炎时评估肺部的金标准。SARS-CoV-2

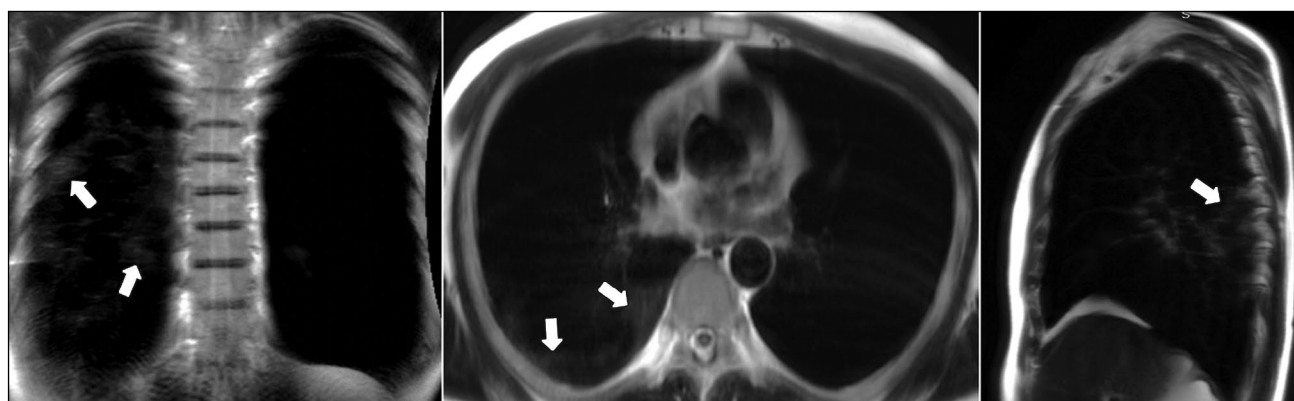


图5. 吸气时冠状面、轴状面和矢状面的肺部动态磁共振成像。箭头表示与云雾状模式相符合的低强度信号区 (S6、S9-10)。

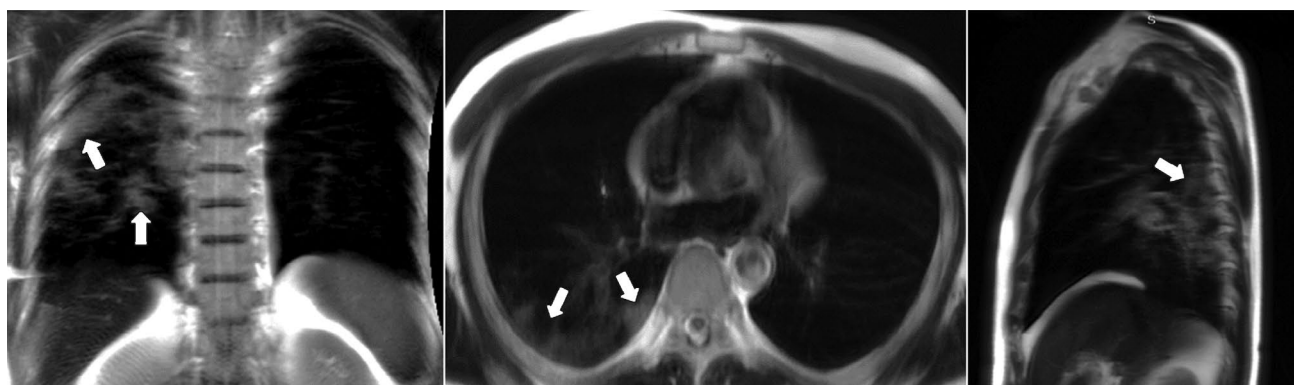


图6. 呼气时在冠状面、轴状面和矢状面的肺部动态磁共振成像。箭头表示与云雾状模式相符合的低强度信号区的增加 (S6、S9-10)。

急性冠状病毒肺炎的早期症状在胸部CT图像上最常出现为磨玻璃样阴影 (ground-glass opacities, GGO)。标志着肺泡病变的实变区通常出现在疾病的后期阶段。

我们在患有病毒性肺炎病人的MRI上发现变化, 其机制是发炎实质的存在, 因此, 从其接收的信号放大。在MRI扫描中类似的GGO是云雾状征象, 它是病毒性肺炎的确证[5]。在动态系列中, 我们观察到呼气时云雾状样的信号强度增厚并吸气时的明显变薄。这一征象可能是急性病毒性肺炎中肺组织早期变化的一个指标。我们认为, 反映肺泡受累的实变在呼吸过程中没有明显变化。因此, 肺部动态MRI可以区分实变和GGO的区域, 这在肺部静态MRI中并不总是可能的。

我们的作者团队以前曾使用MRI-LUNG协议[5] (静态扫描模式) 对病人进行了检查, 并发现了, 影像学的实质病变与通过CT扫描确定的病变相似。实时研究使我们能够确定, 当使用MRI时, 自由呼吸的肺部扫描可以快速进行, 并且不会给病人带来不适。我们研究的局限性是缺乏CT数据的演示, 以对检测到的模式进行比较。

其他科学小组已经研究了患有COVID-19时的MRI应用[6、8-14]。例如, D. Dong等人[8]认为MRI可能对孕妇和儿童的诊断有帮助; B. K. Fields等人[9]对不同的诊断方法 (CT、MRI、正电子发射断层扫描和CT的结合) 进行了比较, 并证

实了这一假设。在德国, M. C. Langenbach等人[10]接待了一个因原发性肺癌而接受MRI扫描的病人, 并发现了下长叶的变化, 这些变化表明病人患有COVID-19病毒, 随后这一假设得到了证实。G. Szarf等人[11]介绍了一个临床病例, 他们描述了MRI上有的类似于云雾状征象的小叶旁浑浊, 以及实变, 这种实变可能表明病人患有组织性肺炎。S. Akhlaghpour等人[12]获得了类似的成像模式。通过MRI获得了类似的COVID-19引发的病毒性肺炎的影像学, 显示并详述了8个临床病例。除了这些变化外, H. Dheir等人[13]还描述了结节 (11名患者在MRI上检测到结节, 12名患者在CT上检测到结节), 其敏感性和特异性分别为91.67和100%。

结论

一些临床病例清楚地表明, 动态MRI技术允许看到云雾状征象 (类似于CT中的GGO模式), 并将其与COVID-19患者的实变识别出来。

结果显示, 肺部动态MRI扫描比标准的静态扫描协议会有优势。然而, 虽然有潜力, 但肺部MRI仍然是一种实验性工具, 需要进一步研究以确定其在COVID-19患者管理中的作用。尽管如此, 观察到的模式也可能适用于肺部的其他病理状况。

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., Gholamrezaezhad 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. Vasilev 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. Vasilev 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., Gholamrezaezhad 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, Gholamrezaezhad 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. Vasilev 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

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

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

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

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，标注，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

绪论

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。临床生理学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[1]。

人工智能系统 (Artificial intelligence systems, AIS) 的使用范围越来越广, AIS 被用于几乎所有的医学分支[2]: 在心电图 (electrocardiogram, ECG) 评估方面的大量作品, 包括通过智能手表进行评估[3-7], 以及世界各地越来越多的关于计算机视觉的研究[8, 9], 以及各种智能解决方案的制定¹。例如, PhysioNet资源²包括大量的各种病理的公共数据集。最大的公共心电图数据集分别包括21 837个[10]和10 646个[11]心电图, 但虽然这个问题是很有意义的, 这种数据集的生成仍然是一个重大挑战, 需要一个详细的方法。

因此, 在对心电图的公共数据集进行分析的过程中, 我们提出了以下主要问题:

- 1) 心电图记录技术条件之间存在差异: 采样率、最低有效位、模拟数字转换器数位、记录时间、通道数;
- 2) 描述语言 (索引典) 是不相容的: 不同的“学校”、不同的病人群体、不同的最终用途;
- 3) 心电图异常类别在数据集和总体数据集内都存在不平衡性;
- 4) 对标注/分类的质量有疑问;
- 5) 缺乏或没有临床信息 (元数据)。

当应用于临床生理学的其他诊断和监测方法时, 这些问题量会成倍增加。这是因为为了在临床生理学中生成数据集并随后训练AIS, 可以使用以下数据³:

- 1) 人体生理指标数值 (血压、心率、饱和度);
- 2) 数字化的生物信号 (心电图、容器压力数值);
- 3) 感应和反射的信号 (神经电图、流变图、多普勒曲线、M型扫描超声);
- 4) 动态图像 (电影回放);
- 5) 复杂数据。

生成数据集的方法。是否有任何差异?

生成临床生理学数据集的方法与放射诊断的方法大致相同[12]: 规划; 形成索引典或词汇表,

纳入和排除的标准; 专家和审阅人的选择; 根据纳入标准进行的数据分析; 标注统一关系; 多级审核, 但也有关键的区别。

1. 因此, 处理一个数据集的顺序有很大的不同。准备一个数据集 (数值级数、图表、单独测量) 时的工作顺序如下:

- 数据分割;
 - 数据测量;
 - 数据标注, 是指给对象或数据集添加文本 (语义) 标签的程序;
 - 数据分类。
2. 对于简单 (二值) 对象属性的分类, 使用词典 (词汇表) 就足够了, 对于多类对象, 使用索引典是必要的。

3. 在生成数据集时, 有一些不太明显和难以分类的因素, 但还是会导致重大错误^{4, 5}:

- 进行临床生理学研究需要操作人员的高技能, 操作人员的依赖性因素是形成基线数据的核心因素之一;
- 在生成最终数据集时, 应该分析提交的研究集的以下因素: 足够的记录时间、通道数量、关闭信号过滤, 以及符合公认的技术参数、动态范围、信噪比、结果存储格式;
- 参与标注的专家和审阅人应该有足够的技能来进行这项工作: AIS测试报告应该包括他们技能和贡献的信息, 但允许对数据进行非人格化管理;
- 为了对用于临床生理学的人工智能系统进行测试需要一套硬件和软件的仪器; 同时, 硬件和软件的性能应该超过仪器制造商规定的最低要求, 并考虑到特定或潜在用户的典型计算机性能。

在形成临床生理学的数据集时, 选择记录的纳入和排除标准

排除标准 (绝对的, 其中一个就够了)

- 记录是以专有格式提交的, 制造商拒绝制备匹配层;
- 存储数据的技术条件是不遵守的 (例如, 对于数字心电图, 每次的记录时间短于10秒, 采样率短于500赫兹, 最低有效位大于5微伏, 模拟数字转换器数位短于10比特);
- 元数据访问是不可能的或者被严格限制;
- 最终数据集中包括的70%以下的心电图是正确标注和分类的。

¹ 诊断和远程医疗中心[互联网]。放射诊断中的AI服务。访问方式: <https://mosmed.ai/>。

² PhysioNet [Internet]。复杂生理信号研究资源。访问方式: <https://physionet.org/>。

³ GOST R 55036-2012/ISO/TS 25237:2008。俄罗斯联邦国家标准。卫生信息化。假名化。访问方式: <https://docs.cntd.ru/document/1200100339>。

⁴ GOST R 55036-2012/ISO/TS 25237:2008。俄罗斯联邦国家标准。卫生信息化。假名化。访问方式: <https://docs.cntd.ru/document/1200100339>。

⁵ GOST R 59921.5。俄罗斯联邦国家标准。临床医学中的人工智能系统。第5部分。对训练和测试算法的数据集的结构和应用的要求。访问方式: <https://docs.cntd.ru/document/1200183858>。

纳入标准（必须全部满足）

- 记录是以其中一种格式提交的：WDBF、EDF、aECG（HL-7）、SCP-ECG、DICOM-ECG、XML；
- 存储数据的技术条件是遵守的（例如，对于数字心电图，每次的记录时间至少为10秒，采样率至少为500赫兹，最低有效位为5微伏，模拟数字转换器数位至少为10比特）；
- 元数据访问不受限制；
- 最终数据集中包括的至少90%的心电图是正确标注和分类的。

需要注意的是，用于训练AIS的数据集应该反映全部可能的现象（综合征、诊断、结果），从最罕见的（偶然的）到最常见的。需要保持患者性别和种族差异的多样性是以数据集类型而定的（例如，在外呼吸功能参数的评估中，这些元数据是必须的）。在形成数据集时，人口中的现象（综合征）的频率表示法有更低的优先级。在使用按罕见（偶然）现象类别不平衡的数据集的情况下，建议使用额外的度量。

关于数据分析算法和人工智能测试方法在临床生理学中的发展和应用的规定

2023年1月1日生效的俄罗斯联邦GOST R 59921. 9-2022标准⁶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。

用于临床生理学的AIS开发者和所有的利益相关者都将能研究以下要求:

- 与形成、准备(分割、测量、检测、标注和分类)数据集以对人工智能系统进行测试的过程有关的;
- 与数据集的结构、应用和访问条件有关的;
- 与术语资源的组织和数据分析结果的表示有关的;
- 与用于医疗保健的医疗设备、智能系统和其他自动化系统之间的信息互动有关的;
- 与在人工智能技术的基础上对软件和硬件软件体系进行技术试验、台架试验、实验室试验、临床试验、注册后控制和运行控制的过程和结果有关的;
- 与按照医学和保健方面要解决的任务基于人工智能技术的软件和硬件软件体系的结果的形式和内容有关的。

新国家标准与其他GOST R“家族”和英语类似物不同的特点是对数据集的规定要求。特别是提出了三种情况：只在试验现场（台架）使用数据集的临床试验；在医疗机构的临床试验；组合临床试验。所述的情况都时以流程图而说明的（图1）。

该标准还提供了用于测试AIS对输入数据错误稳健性的测试选项，这些试验是对综合和组合数据进行的。该GOST R允许测试与不同数据类型和不同表示格式运行的人工智能系统。为了对临床生理学的AIS进行测试，可以使用：

- 人体生理指标数值（如血压、心率、饱和值等）；
- 数字化的生物信号（如心电图、容器压力数值等）。
- 感应和反射的信号（神经电图、流变图、多普勒曲线、M型扫描超声等）。
- 动态图像（电影回放，例如在超声检查下，运动视频录制）：含有上述几类数据的复杂

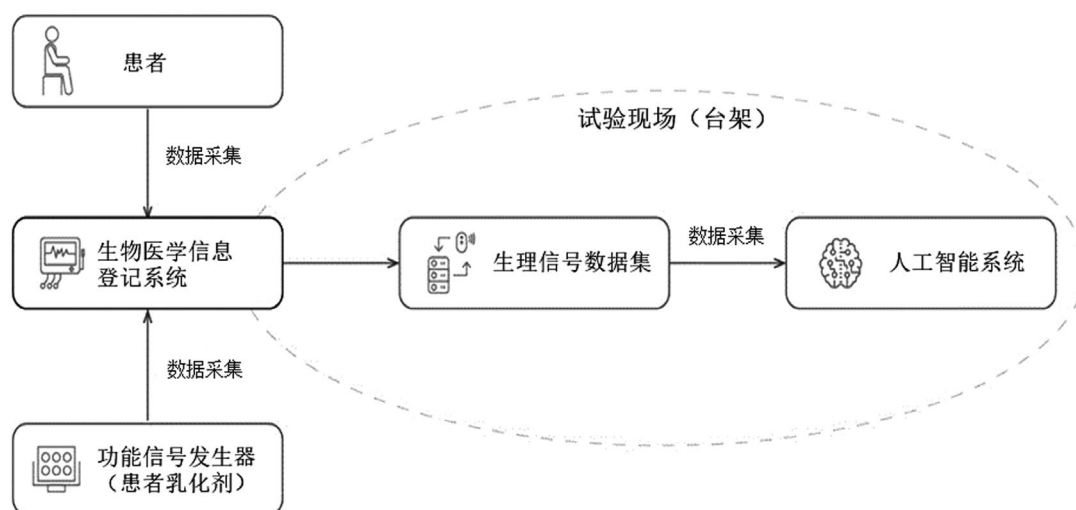


图1。使用数据集的临床试验流程图（一种可能的实现方法）。

⁶ GOST P 59921.9-2022. 俄罗斯联邦国家标准。临床医学中的人工智能系统。临床生理学中的数据分析算法。测试方法。一般要求。访问方式: <https://docs.cntd.ru/document/1200193730>。

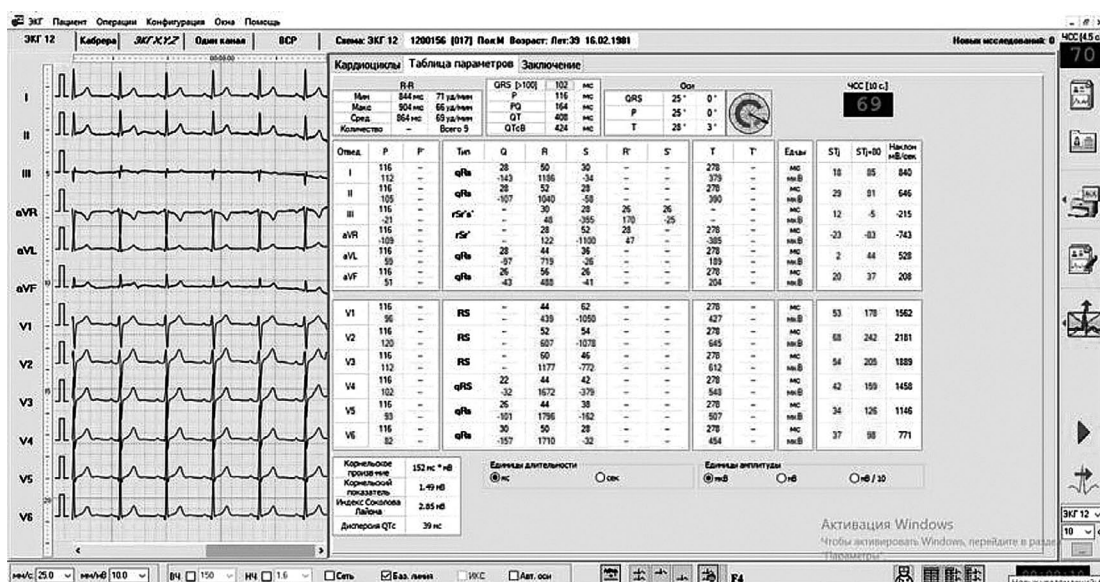


图2. GOST R 59921.9-2022《临床医学中的人工智能系统。临床生理学中的数据分析算法。测试方法》演示数据集中的文件例子。

数据（同步的和同相的）。数据可以代表单次测量的结果（病人研究），也可以是系统地代表病理过程的发展（同质性测量的时间序列），或反映呈现分级刺激（刺激剂）时的变化动态，或反映取决于外部条件（睡眠、休息、体力或精神负担、苦恼等）的指标变化而选择的。

该标准的一个重要特点是，它属于拟度量的GOST R类型，也就是说，它带有一套强制性的演示数据集（图2）。

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2023年生效^{7,8}。

结论

遵守上述规则允许采集用于AIS训练的数据集，同时使临床试验的三个阶段都有可能通过，即：（1）测验输入数据的正确性（识别违反研究技术获得的信号以及含有伪差和干扰的信号）；（2）测验识别综合征、现象、临床的

等价物和/或按商定的索引典或词汇表形成意见（注释）的准确性；（3）按综合和组合数据进行测试（识别启动或增强自然信号的综合信号刺激，评估刺激的有效性或无效性）。

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 loop-based program with a smartphone ECG device in the pediatric cardiology

⁷ GOST P 59921.7-2022. Российский стандарт. Клиническая физиология. Алгоритмы для анализа медицинских изображений. Общие требования. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200193728>.

⁸ GOST P 59921.9-2022. Российский стандарт. Клиническая физиология. Алгоритмы для анализа медицинских изображений. Общие требования. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200193730>.

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., Pathiravasan 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. Владзимирского, 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, Vladzimirsky 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, Pathiravasan 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. Vladzimirsky, A.E. Andreichenko, et al. Moscow; 2022. 40 p. (The series "Best practices of radiation and instrumental diagnostics"). (In Russ).

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

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

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

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

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

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку