



MOSCOW CENTER
FOR DIAGNOSTICS & TELEMEDICINE

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

DIGITAL DIAGNOSTICS

A peer-reviewed scientific medical journal

3 Volume 3 Issue

2022



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

РЕКЛАМА

Отдел рекламы
Тел.: +7 495 308 83 89
E-mail: adv@eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ

Зав. редакцией

Елена Андреевна Филиппова
E-mail: ddjournal@eco-vector.com
Тел: +7 (965) 012 70 72
Адрес: 127051, г. Москва, ул. Петровка,
д. 24, стр. 1

ПОДПИСКА

Подписка на печатную версию через
интернет:
www.journals.eco-vector.com/
www.akc.ru
www.pressa-rf.ru

OPEN ACCESS

В электронном виде журнал
распространяется бесплатно —
в режиме немедленного открытого доступа

ИНДЕКСАЦИЯ

- 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 29.09.2022.
Подписано в печать 07.10.2022. Формат 60 × 88%.
Печать офсетная. Печ. л. 22,25. Усл. печ. л. 20,7.
Уч.-изд. л. 12,1. Тираж 5000 экз.
Цена свободная.

Отпечатано в ООО «Типография Фурсова».
196105, Санкт-Петербург, ул. Благодатная, 69.
Тел.: +7 (812) 646-33-77



© ООО «Эко-Вектор», 2022

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

Digital Diagnostics

Том 3 | Выпуск 3 | 2022

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

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
Bisdas S., MBBS, MD, PhD (Лондон, Великобритания)
ORCID: 0000-0001-9930-5549
Гомболовский В.А., к.м.н. (Москва, Россия)
ORCID: 0000-0003-1816-1315
Frija G., профессор (Париж, Франция)
ORCID: 0000-0003-0415-0586
Guglielmi G., MD, профессор (Фоджа, Италия)
ORCID: 0000-0002-4325-8330
Holodny A., д.м.н. (Нью-Йорк, США)
ORCID: 0000-0002-1159-2705
Li H., MD, профессор (Пекин, КНР)
Кульберг Н.С., к.ф.-м.н., (Москва, Россия)
ORCID: 0000-0001-7046-7157
Mannelli L., MD (Нью-Йорк, США)
ORCID: 0000-0002-9102-4176
Мокиенко О.А., к.м.н. (Москва, Россия)
ORCID: 0000-0002-7826-5135
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
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
публикации. С правилами для авторов и договором публикации 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 (495) 308 83 89
E-mail: adv@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

- 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*



© Eco-Vector, 2022

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

Digital Diagnostics

Volume 3 | Issue 3 | 2022

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 (Obrninsk, Russia)
ORCID: 0000-0002-3549-4499

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

V.A. Gombolevskiy, MD, Dr.Sci. (Med) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0003-1816-1315

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)

N.S. Kul'berg, Cand.Sci. (Phys-Math) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-7046-7157

L. Mannelli, MD (New-York, United States)
ORCID: 0000-0002-9102-4176

O.A. Mokienko, MD, Cand.Sci. (Med) (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-7826-5135

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

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.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. Kobyakova, 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. Protsenko, 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.



CONTENTS

TECHNICAL NOTES

Liya R. Abuladze, Dmitriy S. Semenov, Olga Yu. Panina, Yuriy A. Vasilev

Optimized biparametric magnetic resonance imaging protocol for prostate cancer detection 166

REVIEWS

Aleksander V. Gusev, Anton A. Vladzimirskyy, Dariya E. Sharova, Kirill M. Arzamasov, Aleksander E. Khramov

Evolution of research and development in the field of artificial intelligence technologies for healthcare in the Russian Federation: results of 2021 178

Anastasia K. Smorchkova, Alexey V. Petraikin, Dmitry S. Semenov, Daria E. Sharova

Sarcopenia: modern approaches to solving diagnosis problems 196

Maria P. Shatenok, Sergey A. Ryzhov, Zoya A. Lantukh, Yuliya V. Druzhinina, Kirill V. Tolkachev

Patient dose monitoring software in radiology 212

Karel G.M. Moons, Douglas G. Altman, Johannes B. Reitsma, John P.A. Ioannidis, Petra Macaskill,

Ewout W. Steyerberg, Andrew J. Vickers, David F. Ransohoff, Gary S. Collins

Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis (TRIPOD):

Explanation and Elaboration. Translation in to Russian 232

LETTERS TO THE EDITOR

Andrey V. Vlasov

Coexistence of machine intelligence, cyber art, and diagnostics: is it possible? 324

CASE REPORTS

Evgenii Kobelev, Natalya T. Pak, Evgeniya E. Bobrikova, Wladimir Yu. Usov, Evgeniy E. Kliver, Dmitriy A. Sirota,

Aleksandr M. Chernyavskiy, Tatyana A. Bergen

Diagnostic challenge: innovative approach in use of magnetic resonance imaging in aortic aneurysm 332

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОТЧЁТЫ

Л.Р. Абуладзе, Д.С. Семенов, О.Ю. Панина, Ю.А. Васильев

Оптимизированный протокол бипараметрической магнитно-резонансной томографии для диагностики рака предстательной железы	166
--	-----

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

А.В. Гусев, А.В. Владимировский, Д.Е. Шарова, К.М. Арзамасов, А.Е. Храмов

Развитие исследований и разработок в сфере технологий искусственного интеллекта для здравоохранения в Российской Федерации: итоги 2021 года	178
---	-----

А.К. Сморгачева, А.В. Петрякин, Д.С. Семёнов, Д.Е. Шарова

Саркопегия: современные подходы к решению диагностических задач	196
---	-----

М.П. Шатёнок, С.А. Рыжов, З.А. Лантух, Ю.В. Дружинина, К.В. Толкачев

Возможности программного обеспечения для мониторинга дозовой нагрузки пациентов в лучевой диагностике	212
---	-----

K.G.M. Moons, D.G. Altman, J.B. Reitsma, J.P.A. Loannidis, P. Macaskill, E.W. Steyerberg, A.J. Vickers, D.F. Ransohoff, G.S. Collins

Прозрачная отчётность о многофакторной предсказательной модели для индивидуального прогнозирования или диагностики (TRIPOD): разъяснения и уточнения	232
--	-----

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

А.В. Власов

Существование машинного интеллекта, цифрового искусства и диагностики: возможно ли оно?	324
---	-----

КЛИНИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ

Е. Кобелев, Н.Т. Пак, Е.Э. Бобрикова, В.Ю. Усов, Е.Э. Кливер, Д.А. Сирота, А.М. Чернявский, Т.А. Берген

Возможности диагностики: инновационный подход в использовании магнитно-резонансной томографии при аневризме аорты	332
---	-----

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

Оптимизированный протокол бипараметрической магнитно-резонансной томографии для диагностики рака предстательной железы

Л.Р. Абуладзе¹, Д.С. Семенов¹, О.Ю. Панина^{1,2,3}, Ю.А. Васильев¹

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

² Городская клиническая онкологическая больница №1, Москва, Российская Федерация

³ Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Рак предстательной железы занимает одну из лидирующих позиций в структуре онкологической заболеваемости среди мужчин. Актуальные на сегодняшний момент рекомендации PI-RADS формируют требования к протоколу магнитно-резонансной томографии, которые невозможно полностью реализовать на значительной части функционирующих томографов. В результате подход к выполнению исследования варьирует в разных медицинских организациях, что нередко негативно влияет на качество интерпретации изображения и диагностику целевой патологии.

Цель — разработать оптимизированный для существующего парка магнитно-резонансных томографов протокол бипараметрической магнитно-резонансной томографии, потенциально эффективный для скрининга рака предстательной железы и раннего выявления новообразований. При этом протокол должен быть максимально приближен к актуальным рекомендациям PI-RADS v2.1 и соответствовать требованиям к эффективности работы отделений лучевой диагностики.

Материалы и методы. Предварительный анализ полученных магнитно-резонансных изображений предстательной железы в медицинских организациях Департамента здравоохранения города Москвы показал отсутствие единого подхода к выполнению данного исследования. Методом итерационной корректировки параметров сканирования нами был настроен протокол, обеспечивающий приемлемое качество визуализации при максимально возможном соответствии требованиям PI-RADS. Для количественной оценки качества получаемых изображений применялся фантом для контроля магнитно-резонансной томографии, рекомендованный Американским обществом рентгенологов.

Результаты. Разработан оптимизированный бипараметрический протокол для томографа Excelart Vantage 1,5 T, включающий T2-взвешенные изображения в трёх плоскостях и диффузионно-взвешенные изображения общей длительностью менее 11 мин. При этом обеспечен высокий уровень детализации предстательной железы, а параметры качества изображения (неоднородность яркости, нелинейность, разрешающая способность и толщина выделяемого среза) соответствовали допустимым производителем диапазонам.

Заключение. Предложенный протокол позволяет эффективно оценивать состояние предстательной железы. Его внедрение в практику медицинских организаций может оказать значимое влияние на выявляемость рака предстательной железы у населения. Следует отметить, что длительность протокола обеспечивает возможность его дополнения практически любым набором импульсных последовательностей в зависимости от целей исследования.

Ключевые слова: рак предстательной железы; бипараметрическая магнитно-резонансная томография; стандартизация.

Как цитировать

Абуладзе Л.Р., Семенов Д.С., Панина О.Ю., Васильев Ю.А. Оптимизированный протокол бипараметрической магнитно-резонансной томографии для диагностики рака предстательной железы // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 3. С. 166–177. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

Optimized biparametric magnetic resonance imaging protocol for prostate cancer detection

Liya R. Abuladze¹, Dmitriy S. Semenov¹, Olga Yu. Panina^{1,2,3}, Yuriy A. Vasilev¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

² City Clinical Oncological Hospital No. 1, Moscow, Russian Federation

³ Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Prostate cancer is one of the most commonly diagnosed cancers in men worldwide. PI-RADS v2.1 contains the requirements for the magnetic resonance imaging protocol, which cannot be fully implemented on a significant component of functioning scanners. Consequently, magnetic resonance imaging approaches vary in different medical organizations and often do not allow for a qualitative interpretation of images and diagnosis of the target pathology.

AIM: To develop a biparametric magnetic resonance imaging protocol optimized for the existing magnetic resonance imaging scanners for the diagnosis of prostate cancer and to allow the screening and detection of neoplasms as early as possible. Simultaneously, the protocol should fulfill the current PI-RADS v2.1 recommendations to the maximum possible extent and meet the requirements of effective workflow in the radiology department.

MATERIALS AND METHODS: Preliminary analysis of prostate magnetic resonance imaging scanning in medical organizations of the Moscow Health Care Department showed the absence of a unified approach. Using the iterative adjustment of scanning parameters, we adjusted the protocol to ensure acceptable quality with maximum available compliance with PI-RADS v2.1.

To quantify the quality of the images, we used the magnetic resonance imaging phantom recommended by the American College of Radiology.

RESULTS: The biparametric protocol was developed for Excelart Vantage 1.5 T, including T2-weighted images in three planes and diffusion-weighted images, which took less than 11 min. Moreover, the image quality parameters (intensity inhomogeneity, nonlinearity, resolution, and slice thickness) were within the acceptable ranges recommended by the magnetic resonance imaging manufacturer.

CONCLUSION: The prostate may be effectively evaluated using the proposed magnetic resonance imaging protocol. Introducing it into practice could have a significant impact on the detection of prostate cancer in men. The entire duration of the protocol provides a possibility to supplement it with any sequences, depending on the final purpose of investigation.

Keywords: prostate cancer; biparametric magnetic resonance imaging; standardization.

To cite this article

Abuladze LR, Semenov DS, Panina OYu, Vasilev YuA. Optimized biparametric magnetic resonance imaging protocol for prostate cancer detection. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):166–177. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

Received: 16.06.2022

Accepted: 25.07.2022

Published: 23.08.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

用于诊断前列腺癌的优化双参数磁共振成像协议

Liya R. Abuladze¹, Dmitriy S. Semenov¹, Olga Yu. Panina^{1,2,3}, Yuriy A. Vasilev¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

² City Clinical Oncological Hospital No. 1, Moscow, Russian Federation

³ Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russian Federation

简评

论证。前列腺癌在男性癌症发病率结构中占据主导地位之一。目前现实的PI-RADS建议构成了对磁共振成像协议的要求，无法在功能性断层扫描仪的大部分上完全实施。因此，各医疗机构进行检查的方法各不相同，这往往对图像解读和目标病理诊断的质量产生负面影响。

目标是为现有的核磁共振成像开发一种用于诊断前列腺癌的双参数磁共振成像的优化方案，允许潜在的有效筛查和早期发现肿瘤。同时，该协议应尽可能接近当前的PI-RADS v2.1建议，并满足放射科效率的要求。

材料与方法。莫斯科市卫生管理局医疗机构对获得的前列腺磁共振图像进行的初步分析表明，该研究的实施缺乏统一的方法。通过反复调整扫描参数，我们建立了一个协议，可提供可接受的可视化质量，同时尽可能满足PI-RADS要求。为了量化所获得图像的质量，使用了美国放射科医师协会推荐的磁共振成像控制体模。

结果。我们已为Excelart Vantage 1.5 T断层扫描仪开发了一个优化的双参数协议，其中包括三个平面的T2加权像和弥散加权成像，总时间不到11分钟。同时，确保了高水平的前列腺细节，图像质量参数（亮度不均匀性、非线性、分辨率和所选部分的厚度）对应于制造商的可接受范围。

结论。拟议的协议可以对前列腺进行有效的评估。将其引入医疗机构的实践会对人群中前列腺癌的可探测性产生重大影响。应该指出的是，该协议的持续时间使得可以根据研究的目标，补充几乎任何一套脉冲序列。

关键词：前列腺癌；双参数磁共振成像；标准化。

To cite this article

Abuladze LR, Semenov DS, Panina OYu, Vasilev YuA. 用于诊断前列腺癌的优化双参数磁共振成像协议. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):166–177. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

收到: 16.06.2022

接受: 25.07.2022

发布日期: 23.08.2022

论证

前列腺癌（PC）在男性恶性肿瘤发病率中排名第二[1]。磁共振成像（MRI）是诊断前列腺癌的主要方法之一。用于评估多参数MRI（mpMRI）结果的前列腺影像报告和数据系统（PI-RADS）指南于2012年首次发布[2]，并于2015年更新[3]。然而，PI-RADS v. 2评估系统还不够完善[4]，因此在2019年出现了一个新版本——PI-RADS v2.1，这使简化评估，减少放射科医生对前列腺mpMRI的解释变异[5]。近年来，对双参数MRI（bpMRI）的兴趣是由较短的扫描时间，因此研究成本更低，并且能够避免经常不合理地注射造影剂。动态对比度增强并不总是起决定性作用，因为它用于根据T2加权像（T2-WI）和地图来检测低信号形成的表观扩散系数（ADC值）。此外，使用造影剂有许多副作用，包括增加扫描时间和研究成本[6]。

实践表明，无论研究的最终目标如何，PI-RADS的建议都不能总是得到遵守，原因是多方面的：由于磁共振成像扫描仪的技术特性、其设置的特殊性、个别医疗机构的放射科医生和临床医生的个人意愿以及特定放射科的既定扫描协议。

该研究的**目标**是开发一种双参数MRI的加速（优化）协议，用于莫斯科市卫生局医疗机构的前列腺癌诊断，尽可能接近PI-RADS v2.1的建议。这样的协议有可能缩短检查的时间，以优化各部门的工作。如果可能提供与多参数MRI相当的诊断准确性的进一步证据，则标准化前列腺扫描协议。展望未来，正在考虑引入人工智能，以便利用开发的算法来提高男性盆腔MRI结果的成像和评估质量。

材料与方法

第一步是评估目前莫斯科市卫生局医疗机构的前列腺扫描协议。结果的搜索和分析是在莫斯科自动化统一医疗信息系统的统一放射信息服务中进行的，以确定扫描技术和既定技术参数的差异。元数据是通过从统一放射信息服务处下载获

得和分析的。在相关医疗机构进行检索的时间间隔包括2019–2021年。搜索查询包括以下关键词：“盆腔器官磁共振成像”、“盆腔器官对比剂磁共振成像”、“前列腺多参数磁共振成像”、“前列腺双参数磁共振成像”。临床病例由作者随机选择。

接下来，同样随机选择三个医疗机构（MO 1、MO 2、MO 3）的最常见的MRI模型（Excelart Vantage 1.5 T，东芝，日本），并使用模拟前列腺的体[7]模配置优化协议。成像质量由一位有10年以上经验的放射科医生与扫描期间直接在机器上工作的同事一起评估。从过程组织的角度来看，研究是以传统方式进行的：患者被置于仰卧位，并使用标准的身體线圈。所有患者在研究前都进行了必要的准备，以减少伪影和干扰。

一旦形成了一个尽可能接近PI-RADS v2.1[8]的要求并满足放射科医师的协议，对成像质量进行了定量评估。为此，美国放射学会（ACR）推荐的体模使用优化的协议进行扫描，正如在公认的技术控制程序中所做的那样[9]（图 1）。根据获得的体模轴向图像，计算质量参数：不均匀性、非线性、分辨率、所选部分的厚度。

结果

对正在进行的研究的评价

解决任务时，我们发现，扫描方法在莫斯科卫生部的各个医疗机构中有所不同。例如，在三个医疗结构，除了必要的脉冲序列外，脉冲序列集变化很大，这会影响诊断信息的完整性和总扫描时间（表1）。

扫描的技术参数也是如此。表2和表3以T2加权像和轴位的扩散加权成像为例，总结了清楚反映上述差异的元数据。

结果，预计在不同结构中获得的图像会有所不同，如图2-4所示。

因此，在所有的医疗机构中，PI-RADS v2.1推荐的关于在轴向和至少一个额外的（矢状和/

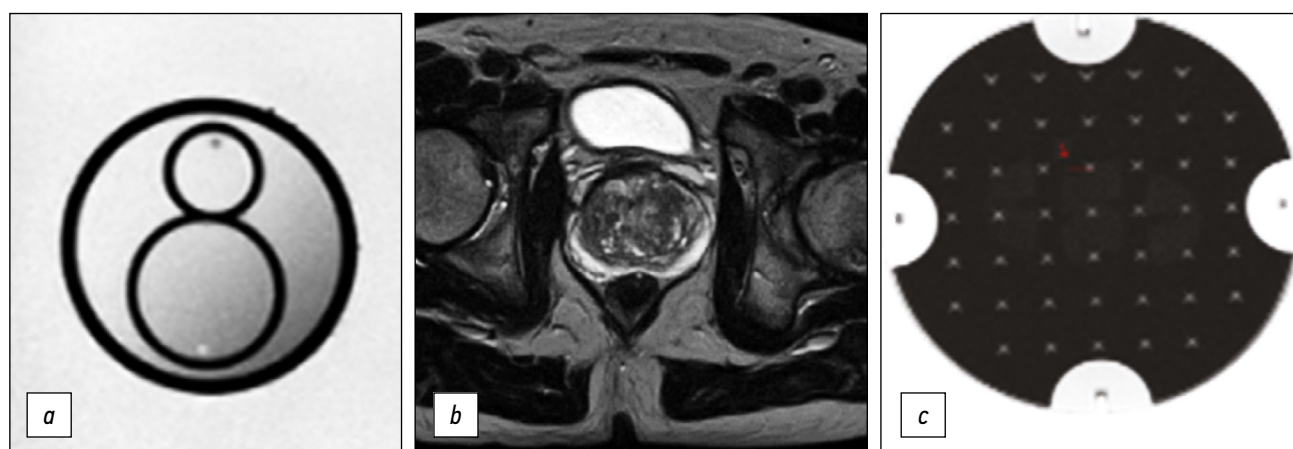


图1. 可视化质量评估：a — 前列腺体模；b — 患者；c — 美国放射学会（ACR）的模型。

表1使用的脉冲序列

脉冲序列	M O 1	M O 2	M O 3
T2 ax	+ (3)	+ (4)	+ (4)
T2 cor	+ (3)	+ (3)	-
T2 sag	+ (3)	+ (4)	+ (5)
T1 ax	+ (3)	+ (4)	-
T1 cor	-	-	+ (5)
T1 FS cor	-	-	+ (6)
T2 FS ax	+ (3)	-	+ (4)
T2 FS cor	+ (3)	-	+ (3)
DWI	+ (5)	+ (4)	+ (3)
ADC	+ (5)	+ (4)	+ (3)
总扫描时间, 分	22	30	40

注: “+” — 有, 括号内的层厚度为毫米 (mm); “-” — 无。M O — 医疗机构。

表2以T2作加权像为例, 轴位技术参数

技术参数	M O 1	M O 2	M O 3
TR, ms	5851	6006	5082
TE, ms	120	75	75
FOV, cm	35×30	30×35	40×30
Matrix	256×256	256×256	512×256
NAQ	1	1	1
Spacing between slices, mm	3.5	4.3	4.4
ETL, ms	23	9	9

注: 此处和表3, 4中: TR (repetition time) — 重复时间; TE (echo time) — 回声时间; FOV (field of view) — 视场; Matrix — 矩阵; NAQ (number of acquisition) — 数据采集的次数; Spacing between slices — 切片之间的距离; ETL (echo train length) — 回波链长度。M O — 医疗机构。

表3以扩散加权成像为例, 轴位技术参数

技术参数	M O 1	M O 2	M O 3
TR, ms	6772	9377	8841
TE, ms	80	80	100
FOV, cm	40×32	37×30	30×30
Matrix	128×128	128×192	128×128
NAQ	2	2	2
Spacing between slices, mm	1.75	4.5	6
ETL, ms	56	72	60

或冠状) 投影中存在T2作加权像的要求都得到了满足。还应注意, 轴位中T2作加权像的推荐层厚度不应超过3毫米: 在第二医疗机构和第三医疗机构为4毫米 (见图3和图4)。第一医疗机构也是如此: 扩散加权图像的切片厚度为5毫米, 建议≤4毫米 (见图2)。一个重要因素是视野: 根据PI-RADS v2.1, T2作加权像的FOV值应为12-20厘米, 而在第一医疗机构和第三医疗机构, 视野要大得多, 分别为30×35和40×30厘米 (见图2和图4)。根据PI-RADS v2.1, 推荐的扩散加权图像视野为16-22厘米, 而所有三个医疗机构都没有遵循这些建议。FOV值和截面厚度的可变

性这一事实不可避免地会影响分辨率, 从而影响到检测肿块的能力。

优化协议的设置

从技术角度来看, 设置协议参数的程序与涂药器的正常操作 (例如, 在调试设备时) 没有区别。然而, 在这种情况下, 我们以PI-RADS v2.1推荐的参数为指导。为了尽量减少MRI因素对患者的影响, 初步参数调整是在体模上进行的。由于技术原因, 参数数值的选择尽可能接近建议值, 因为无法完全复制它们, 并被迭代修正以达到满意的结果 (从放射科医生的角度来看)。生成的协议如表4所示。

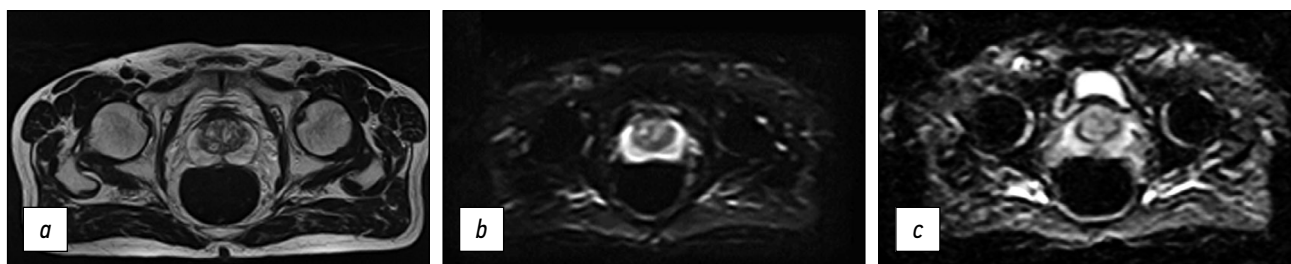


图2。第一医疗机构(MO 1): *a* — T2-WI, 轴位 (TR 5851, TE 120, FOV 35×30 cm, Matrix 256×256; *b*, *c* — DWI和ADC (TR 6772, TE 80, FOV 40×32 cm, Matrix 128×128)。

注: 此处和图3-5上: T2-WI — T2作加权像; DWI — 扩散加权成像; ADC — 表观扩散系数。TR (repetition time) — 重复时间; TE (echo time) — 回声时间; FOV (field of view) — 视场; Matrix — 矩阵。

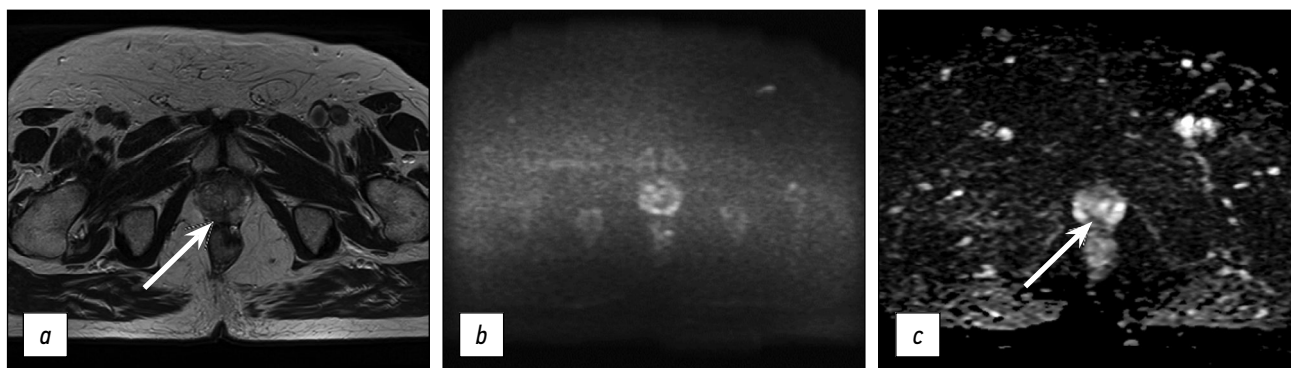


图3。第二医疗机构 (MO 2)。在右侧外周区, T2-WI和ADC图上有一个与被膜 (箭头) 相邻的低信号区域: *a* — T2-WI, 轴位 (TR 6006, TE 75, FOV 30×25 cm, Matrix 256×256); *b*, *c* — DWI和ADC (TR 9377, TE 80, FOV 37×30 cm, Matrix 128×192)。

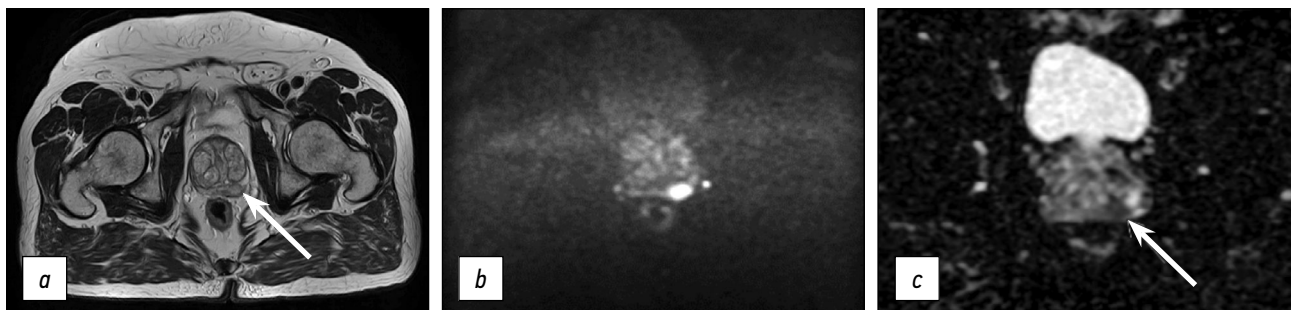


图4。第三医疗机构 (MO 3)。在左侧外周区, T2-WI和ADC图上有一个低信号形成物: *a* — T2-WI, 轴位 (TR 5082, TE 75, FOV 40×30 cm, Matrix 512×256); *b*, *c* — DWI和ADC (TR 8841, TE 100, FOV 30×30 cm, Matrix 128×128)。

应该注意的是, 根据PI-RADS, T1作加权像不是双参数MRI的强制性序列。将其纳入协议是基于提供评估研究区域淋巴结和骨骼结构的继发性损伤以及腺体和精囊组织中是否存在出血性变化的可能性。建议配置中的T1-作加权像持续时间为15秒, 这不会显着影响研究的总时间。

质量控制

评估MRI技术状况的传统方法是扫描体模并计算图像质量的定量特征。在这项工作中, 我们为开发的协议使用了标准控制程序[9]。根据获得的图像, 计算亮度不均匀性、分辨率、非线性和测量的切片厚度 (表5)。

从制造商的文件中获取的CT扫描仪规格已被作为允许值。请注意, 由于开发的协议缺乏参考值, 因此未确定本研究中常用的信噪比参数。

临床影像

由此产生的协议提供了足够高水平的可视化质量。图5显示了使用优化协议获得的图像。总扫描时间不到11分钟。

讨论

前列腺癌是男性死亡的主要原因之一。例如, 在美国, 前列腺癌在癌症死亡率结构中排名第

表4优化的扫描参数

脉冲序列，层厚，mm	设置技术参数		持续时间，分
T 2 AX (3)	TR, ms	6400	2:25
	TE, ms	126	
	FOV, cm	20×20	
	Matrix	512×512	
	NAQ	1	
	Spacing, mm	3.3	
	ETL, ms	13	
T 2 SAG (3)	TR, ms	5000	2:25
	TE, ms	100	
	FOV, cm	20×20	
	Matrix	512×512	
	NAQ	1	
	Spacing, mm	3.3	
	ETL, ms	9	
T2 COR (3)	TR, ms	5000	2:25
	TE, ms	100	
	FOV, cm	20×20	
	Matrix	512×512	
	NAQ	1	
	Spacing, mm	3.3	
	ETL, ms	9	
DWI (b=1000)	TR, ms	6858	3:25
	TE, ms	100	
	FOV, cm	30×30	
	Matrix	256×256	
	NAQ	5	
	Spacing, mm	3	
	ETL, ms	60	
T 1 AX (5)	TR, ms	5.5	0:15
	TE, ms	2.5	
	FOV, cm	25×27	
	Matrix	640×476	
	NAQ	1	
	Spacing, mm	2.5	
总扫描时间 （分钟）			10:55

表5图像质量控制结果

参数	定值			允许值
	M O 1	M O 2	M O 3	
不均匀性，%	9.44	5.9	4.8	<10
分辨能力，mm	1.0	1.25	1.0	≤1.5
非线性，%	0.1	0.4	0.2	<1
切片厚度，mm	3.0	3.1	3.0	3±1

注：M O — 医疗机构。

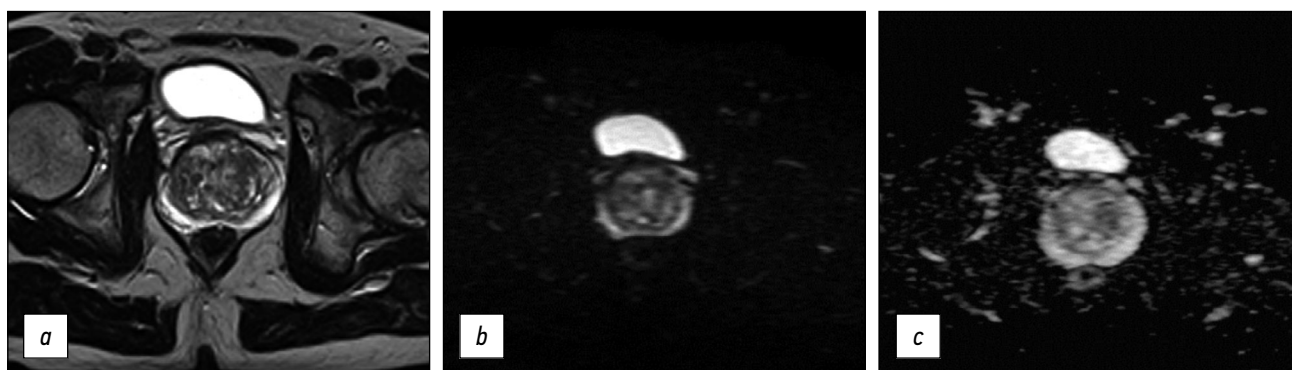


图5。使用加速双参数磁共振成像协议获得的图像。前列腺变化符合PI-RADS 2的患者： a— T2-WI，轴位；b，c— DWI和ADC。

二[10]，在欧洲国家排名第三[11]。尽管诊断前列腺癌和监测前列腺特异性抗原的方法有所改进，但俄罗斯的发病率仍然很高[12]。目前，已确定的风险因素包括年龄、种族（黑人）和家族史：如果近亲在幼年时诊断出前列腺癌或多个已确定诊断的亲属在场，则患该疾病的风险更高[13]。

双参数MRI是一种扫描方案，仅包括T2加权像和带ADC卡的扩散加权图像。所有PI-RADS ≥ 3 的患者，如果怀疑有恶性肿瘤，将进行活检[14]。并且由于此类病变需要进一步关注（T2加权像和扩散加权图像是主要的脉冲序列），动态对比度增强的效果可能不是决定性的。因此，双参数MRI可以被广泛引入临床实践。使用这种协议作为一种快速无创测试来进一步筛选出需要检查的男性和临床上有显著性前列腺癌的低风险者似乎是可行的。

T. Tamada和合著者的研究[6]表明，对于根据PI-RADS v2.1检测具有临床意义的前列腺癌，双参数MRI与多参数MRI相当。然而，值得注意的是，多参数MRI的诊断敏感性显著高于双参数MRI，而双参数MRI的特异性显著高于多参数MRI。这就是为什么使用PI-RADS v2.1协议的双参数MRI将有助于避免不必要的活检。R. L. Sherrer和合著者的研究[14]表明，在双参数MRI诊断有临床意义的前列腺癌结果为阴性的患者中，多参数MRI方法未检测到肿瘤病理。公平地说，应该注意的是，尽管在J. P. Zawaideh等人的研究[15]中双参数MRI与多参数MRI相当，多参数测试显示，与双参数MRI（17%）相比，被归类为PI-RADS 3的病变（8.3%）更少，假阳性更少（11.4% vs 18.9%），这提供了多参数MRI的更高特异性（74 vs 67%）。

放射科医生需要一些因素来充分评估MR图像：患者的适当准备，根据检查的最终目的选择扫描模式，以及选择最佳的扫描参数。此外，值得注意的是，诊断可能很困难（由于肠蠕动或髋关节植入物等严重伪影），因此，根据定义，该研究不能进行PI-RADS评价。了解患者的病史很重要。临床和实验室数据，再加上对MR图像的分析，可以提供关于患者状况的更详细的信息。

谈到优化科室工作，国外文献中也提出了前列腺扫描方案“加速”的问题。M. van der Leest和合著者[16]建议使用仅包含T2加权像，扩散加权图像和表观扩散系数的方案来诊断具有临床意义的前列腺癌，以缩短研究时间并降低研究成本。该论文展示了以下数据：在使用加速双参数MRI协议时，47%的患者避免了不必要的活检，而传统的双参数MRI和多参数MRI协议要求49%的病例进行活检。作者报告说，加速双参数MRI可以在8分钟内完成，与多参数MRI相比，直接成本降低了一半以上（54%），与普通双参数MRI相比，降低了37%。该研究计划的专家间的一致性快速双参数MRI为90%，普通双参数MRI为93%[16]。同时，根据A. Stanzione等人的工作结果[17]，与双参数MRI和多参数MRI协议（分别为86%和87%）相比，加速双参数MRI协议的诊断准确性最低（83%）。作者的结论是，这样的协议不适用于此目的，此外还证明，研究的解释直接取决于放射科医生的经验。

R. Engels和合著者[8]进行了大规模分析，结果以表格形式汇总了多参数MRI的最低推荐技术参数，其中使用1.5 T断层扫描仪的双参数协议的总扫描时间超过13分钟。在我们的研究中，实现了缩短扫描协议时间的目标：例如，当使用推荐的PI-RADS v2.1脉冲序列进行双参数MRI时，我们的协议持续时间为10分40秒。我们还建议在轴向投影中额外使用T1加权像，持续时间为15秒，而总扫描时间为10分55秒。

我们开发的协议是使用MRI作为前列腺癌筛查方法可行性的第一阶段工作。需要更多证据来证实这一假设，为未来的研究人员提供了空间。共提供莫斯科市卫生部三个不同医疗机构的三个临床病例，证明了前列腺扫描协议的异质性。然而，值得注意的是，该协议是为一个MRI模型（Excelart Vantage 1.5 Tesla）制定的，并为其计算了质量参数。当然，该协议需要对其他型号的断层扫描仪进行调整和测试，然后对结果进行评估。

该协议要求进一步研究检测PCa的诊断准确性，例如，通过使用纹理分析，这是前列腺癌诊断中一个越来越受关注的课题[18]，以便与组织

病理学发现的结果进行比较。因此，下一步将是对使用不同医疗机构的标准前列腺扫描协议和优化协议获得的研究进行统计比较。

应从整体时间和成本效益的角度进一步评估该协议。

结论

脉冲序列集直接取决于研究的最终目标、放射科医师和各个医疗机构的临床医师的个人意愿。由于缺乏标准化的、统一的协议，某个放射科存在既定的、»习惯性«的扫描协议是有问题的。由于在莫斯科市医疗机构的条件下，完全符合PI-RADS v2.1建议的扫描并不总是可能用于诊断前列腺癌，因此在每个特定的医疗机构中，该程序是根据不同的协议，使用一套不同的脉冲序列和技术特征进行的，这也影响到研究的时间。我们建议优化的双参数MRI协议。所提出协议的技术特点尽可能接近PI-RADS标准，而扫描时间小于11分钟，这对繁忙环境中的放射科工作无疑能起到优化作用。

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries // *CA Cancer J Clin.* 2021. Vol. 71. P. 209–249. doi: 10.3322/caac.21660
2. Barentsz J.O., Richenberg J., Clements R., et al. ESUR prostate MR guidelines 2012 // *Eur Radiol.* 2012. Vol. 22, N 4. P. 746–757. doi: 10.1007/s00330-011-2377-y
3. Weinreb J.C., Barentsz J.O., Choyke P.L., et al. PI-RADS prostate imaging — reporting and data system: 2015, version 2 // *Eur Urol.* 2016. Vol. 69, N 1. P. 16–40. doi: 10.1016/j.eururo.2015.08.052
4. Park S.Y., Jung D.C., Oh Y.T., et al. Prostate cancer: PI-RADS version 2 helps preoperatively predict clinically significant cancers // *Radiology.* 2016. Vol. 280, N 1. P. 108–116. doi: 10.1148/radiol.16151133
5. Israël B., van der Leest M., Sedelaar M., et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the detection of clinically significant prostate cancer: what urologists need to know. Part 2: interpretation // *Eur Urol.* 2020. Vol. 77, N 4. P. 469–480. doi: 10.1016/j.eururo.2019.10.024
6. Tamada T., Kido A., Yamamoto A., et al. Comparison of biparametric and multiparametric mri for clinically significant prostate cancer detection with pi-rads version 2.1 // *J Magn Reson Imaging.* 2021. Vol. 53, N 1. P. 283–291. doi: 10.1002/jmri.27283
7. Патент на изобретение РФ RU 208239 U1. Семенов Д.С., Петрайкин А.В., Васильев Ю.А., и др. Устройство фантома для настройки протоколов магнитно-резонансной томографии предстательной железы у пациентов с металлоконструкциями тазобедренного сустава. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47429681>. Дата обращения: 15.03.2022.
8. Engels R.R., Israël B., Padhani A.R., et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the detection of clinically significant prostate cancer: what urologists need to know. Part 1: acquisition // *Eur Urol.* 2020. Vol. 77, N 4. P. 457–468. doi: 10.1016/j.eururo.2019.09.021
9. Методика контроля параметров и характеристик магнитно-резонансных томографов в условиях эксплуатации. Методические рекомендации № 17 (утв. 10.09.2011). Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456079947>. Дата обращения: 15.03.2022.
10. Siegel R.L., Miller K.D., Fuchs H.E., et al. Cancer Statistics, 2021 // *CA Cancer J Clin.* 2021. Vol. 71, N 1. P. 7–33. doi: 10.3322/caac.21654
11. Ferlay J., Colombet M., Soerjomataram I., et al. Cancer incidence and mortality patterns in Europe: Estimates for 40 countries and 25 major cancers in 2018 // *Eur J Cancer.* 2018. Vol. 103. P. 356–387. doi: 10.1016/j.ejca.2018.07.005
12. Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. Москва, 2021. 252 с.
13. Patel A.R., Klein E.A. Risk factors for prostate cancer // *Nat Clin Pract Urol.* 2009. Vol. 6, N 2. P. 87–95. doi: 10.1038/ncpuro1290
14. Sherrer R.L., Glaser Z.A., Gordetsky J.B., et al. Comparison of biparametric MRI to full multiparametric MRI for detection of clinically significant prostate cancer // *Prostate Cancer Prostatic Dis.* 2019. Vol. 22, N 2. P. 331–336. doi: 10.1038/s41391-018-0107-0
15. Zawaideh J.P., Sala E., Shaïda N., et al. Diagnostic accuracy of biparametric versus multiparametric prostate MRI: assessment of contrast benefit in clinical practice // *Eur Radiol.* 2020. Vol. 30, N 7. P. 4039–4049. doi: 10.1007/s00330-020-06782-0

使用获得的MR图像的标准化协议具有通过放射诊断方法在男性盆腔检查项目中进一步培训和实施人工智能的潜力。

ADDINIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared as part of research (№ ЕГИСУ: AAAA-A21-121012290079-2) under the Program of the Moscow Healthcare Department "Scientific Support of the Capital's Healthcare" 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. Yu.A. Vasilev — study design, MRI protocol optimization, manuscript revising, advisory support, L.R. Abuladze — study design, data analysis, manuscript drafting; D.S. Semenov — study design, data analysis, manuscript drafting, technical audit; O.Yu. Panina — manuscript revising, advisory support.

16. Van der Leest M., Israël B., Cornel E.B., et al. High diagnostic performance of short magnetic resonance imaging protocols for prostate cancer detection in biopsy-naïve men: the next step in magnetic resonance imaging accessibility // *Eur Urol*. 2019. Vol. 76, N 5. P. 574–581. doi: 10.1016/j.eururo.2019.05.029
17. Stanzione A., Ponsiglione A., Cuocolo R., et al. Abbreviated protocols versus multiparametric mri for assessment of

- extraprostatic extension in prostatic carcinoma: a multireader study // *Anticancer Res*. 2019. Vol. 39, N 8. P. 4449–4454. doi: 10.21873/anticancer.13617
18. Гележе П.Б., Блохин И.А., Семенов С.С., и др. Радиомика магнитно-резонансной томографии при раке предстательной железы: что известно в настоящее время? // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 4. С. 441–452. doi: 10.17816/DD70170

REFERENCES

1. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*. 2021;71:209–49. doi: 10.3322/caac.21660
2. Barentsz JO, Richenberg J, Clements R, et al. ESUR prostate MR guidelines 2012. *Eur Radiol*. 2012;22(4):746–757. doi: 10.1007/s00330-011-2377-y
3. Weinreb JC, Barentsz JO, Choyke PL, et al. PI-RADS prostate imaging — reporting and data system: 2015, version 2. *Eur Urol*. 2016;69(1):16–40. doi: 10.1016/j.eururo.2015.08.052
4. Park SY, Jung DC, Oh YT, et al. Prostate cancer: PI-RADS version 2 helps preoperatively predict clinically significant cancers. *Radiology*. 2016;280(1):108–116. doi: 10.1148/radiol.16151133.
5. Israël B, van der Leest M, Sedelaar M, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the detection of clinically significant prostate cancer: what urologists need to know. part 2: interpretation. *Eur Urol*. 2020;77(4):469–480. doi: 10.1016/j.eururo.2019.10.024
6. Tamada T, Kido A, Yamamoto A, et al. Comparison of biparametric and multiparametric mri for clinically significant prostate cancer detection with pi-rads version 2.1. *J Magn Reson Imaging*. 2021;53(1):283–291. doi: 10.1002/jmri.27283
7. Patent RUS 208239 U1. Semenov DS, Petryaykin AV, Vasiliev YuA, et al. Phantom device for configuring protocols of magnetic resonance imaging of the prostate gland in patients with metal structures of the hip joint. (In Russ). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47429681>. Accessed: 15.03.2022.
8. Engels RR, Israël B, Padhani AR, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the detection of clinically significant prostate cancer: what urologists need to know. Part 1: acquisition. *Eur Urol*. 2020;77(4):457–468. doi: 10.1016/j.eururo.2019.09.021
9. Methodology for monitoring the parameters and characteristics of magnetic resonance tomographs under operating conditions Methodological recommendations No. 17 (approved 10.09.2011). (In Russ). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/456079947>. Accessed: 15.03.2022.
10. Siegel RL, Miller KD, Fuchs HE, et al. Cancer Statistics, 2021. *CA Cancer J Clin*. 2021;71(1):7–33. doi: 10.3322/caac.21654
11. Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, et al. Cancer incidence and mortality patterns in Europe: Estimates for 40 countries and 25 major cancers in 2018. *Eur J Cancer*. 2018;103:356–387. doi: 10.1016/j.ejca.2018.07.005
12. Malignant neoplasms in Russia in 2020 (morbidity and mortality). Ed. by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. Moscow; 2021. 252 p. (In Russ).
13. Patel AR, Klein EA. Risk factors for prostate cancer. *Nat Clin Pract Urol*. 2009;6(2):87–95. doi: 10.1038/ncpuro1290
14. Sherrer RL, Glaser ZA, Gordetsky JB, et al. Comparison of biparametric MRI to full multiparametric MRI for detection of clinically significant prostate cancer. *Prostate Cancer Prostatic Dis*. 2019;22(2):331–336. doi: 10.1038/s41391-018-0107-0
15. Zawaideh JP, Sala E, Shaida N, et al. Diagnostic accuracy of biparametric versus multiparametric prostate MRI: assessment of contrast benefit in clinical practice. *Eur Radiol*. 2020;30(7):4039–4049. doi: 10.1007/s00330-020-06782-0
16. Van der Leest M, Israël B, Cornel EB, et al. High diagnostic performance of short magnetic resonance imaging protocols for prostate cancer detection in biopsy-naïve men: the next step in magnetic resonance imaging accessibility. *Eur Urol*. 2019;76(5):574–581. doi: 10.1016/j.eururo.2019.05.029
17. Stanzione A, Ponsiglione A, Cuocolo R, et al. Abbreviated protocols versus multiparametric mri for assessment of extraprostatic extension in prostatic carcinoma: A multireader study. *Anticancer Res*. 2019;39(8):4449–4454. doi: 10.21873/anticancer.13617
18. Gelezhe PB, Blokhin IA, Semenov SS, et al. Radiomics of magnetic resonance imaging in prostate cancer: what is currently known? *Digital Diagnostics*. 2021;2(4):441–452. (In Russ).

AUTHORS' INFO

* Liya R. Abuladze, MD;
address: Petrovka st. 24/1, Moscow, 127051, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>;
eLibrary SPIN: 5640-9989; e-mail: l.abuladze@npcmr.ru

ОБ АВТОРАХ

* Абуладзе Лия Руслановна;
адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>;
eLibrary SPIN: 5640-9989; e-mail: l.abuladze@npcmr.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

Dmitriy S. Semenov;ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;

eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: d.semenov@npcmr.ru

Olga Yu. Panina, MD;ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8684-775X>;

eLibrary SPIN: 5504-8136; e-mail: o.panina@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

Семенов Дмитрий Сергеевич;ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;

eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: d.semenov@npcmr.ru

Панина Ольга Юрьевна;ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8684-775X>;

eLibrary SPIN: 5504-8136; e-mail: o.panina@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

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

Развитие исследований и разработок в сфере технологий искусственного интеллекта для здравоохранения в Российской Федерации: итоги 2021 года

А.В. Гусев^{1, 2}, А.В. Владзимирский³, Д.Е. Шарова³, К.М. Арзамасов³, А.Е. Храмов^{4, 5}¹ К-Скай, Петрозаводск, Российская Федерация² Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения, Москва, Российская Федерация³ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация⁴ Университет Иннополис, Казань, Российская Федерация⁵ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Применение технологий искусственного интеллекта в российском здравоохранении является одним из приоритетных направлений реализации национальной стратегии развития искусственного интеллекта в нашей стране. Внедрение цифровых решений в медицинских организациях на основе искусственного интеллекта должно способствовать повышению уровня жизни населения и качества медицинской помощи, включая профилактические обследования, диагностику, основанную на анализе изображений, прогнозирование возникновения и развития заболеваний, подбор оптимальных дозировок лекарственных препаратов, сокращение угроз пандемий, автоматизацию и повышение точности хирургических вмешательств и т.д.

Идёт развитие нормативного и технического регулирования в сфере применения искусственного интеллекта в здравоохранении. Создан отечественный рынок соответствующих решений, некоторые из них получили регистрационные удостоверения Росздравнадзора как медицинские изделия. Различными научными коллективами выполняются исследовательские работы. Вместе с этим мы пока существенно отстаём от стран-лидеров в сфере искусственного интеллекта, таких как США и Китай. Инвестиции в продукты искусственного интеллекта для здравоохранения существенно снизились по итогам 2021 г. Основные причины отставания, как минимум с точки зрения рыночных показателей, находятся в низком спросе и ограниченных возможностях государственных медицинских организаций финансировать проекты искусственного интеллекта, а также в сфере доверия к безопасности и эффективности таких решений.

Ключевые слова: цифровое здравоохранение; искусственный интеллект; машинное обучение; большие данные; системы поддержки принятия решений; программное обеспечение; медицинские изделия.

Как цитировать

Гусев А.В., Владзимирский А.В., Шарова Д.Е., Арзамасов К.М., Храмов А.Е. 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: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

Evolution of research and development in the field of artificial intelligence technologies for healthcare in the Russian Federation: results of 2021

Aleksander V. Gusev^{1, 2}, Anton A. Vladzimirsky³, Dariya E. Sharova³,
Kirill M. Arzamasov³, Aleksander E. Khramov^{4, 5}

¹ K-Skai, Petrozavodsk, Russian Federation

² Russian Research Institute of Health, Moscow, Russian Federation

³ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

⁴ Innopolis University, Kazan, Russian Federation

⁵ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

ABSTRACT

The use of artificial intelligence technologies in Russian healthcare is a priority area for implementing a national strategy for the development of artificial intelligence in the country. The introduction of digital solutions based on artificial intelligence in healthcare facilities should improve the standard of living of the population and the quality of medical care, including areas of preventive examinations, diagnostics based on image analysis, prediction of disease development, selection of optimal drug dosages, reducing the threat of pandemics, and automating and increasing the accuracy of surgical interventions.

Policy management and technical regulation are under development in the field of artificial intelligence in healthcare. The domestic market for relevant solutions has been created, and some products have been certified as medical devices from Roszdravnadzor (Federal Service for Surveillance in Healthcare). Various teams of scientists are conducting research. However, Russia is still behind the leading countries in the field of artificial intelligence, such as the United States and China. Investments in healthcare products based on artificial intelligence decreased significantly in 2021. The major reasons for the lag, at least in terms of market indicators, are low demand and the inability of state medical organizations to fund artificial intelligence projects. There are also other issues related to trust in the safety and effectiveness of such solutions.

Keywords: digital health; artificial intelligence; machine learning; big data; decision support systems; software; medical devices.

To cite this article

Gusev AV, Vladzimirsky AV, Sharova DE, Arzamasov KM, Khramov AE. Evolution 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. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

Received: 11.05.2022

Accepted: 11.08.2022

Published: 23.08.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

俄罗斯联邦医疗保健人工智能技术领域的研发发展：2021年结果

Aleksander V. Gusev^{1,2}, Anton A. Vladzimirsky³, Dariya E. Sharova³,
Kirill M. Arzamasov³, Aleksander E. Khramov^{4,5}

¹ K-Skai, Petrozavodsk, Russian Federation

² Russian Research Institute of Health, Moscow, Russian Federation

³ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

⁴ Innopolis University, Kazan, Russian Federation

⁵ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

简评

人工智能技术在俄罗斯保健事业的应用是我国人工智能发展国家战略的优先领域之一。在医疗机构中引入基于人工智能的数字解决方案应有助于提高生活水平和医疗救护质量，包括预防性检查、基于图像分析的诊断、预测疾病的发生和发展、选择最佳的药物剂量、减少流行病的威胁、自动化和提高手术干预的准确性等。

人工智能在医疗保健中的应用领域的规范和技术规定正在发展。相关解决方案的国内市场已经建立，其中一些已获得俄罗斯联邦卫生监督局的医疗器械注册证书。各个科学团队开展研究工作。与此同时，我们在人工智能领域仍显著落后于美国、中国等领先国家。2021年对医疗保健人工智能产品的投资显著下降。至少从市场指标来看，滞后的主要原因在于公共卫生组织资助人工智能项目的需求和能力较低，以及对此类解决方案的安全性和有效性的信任。

关键词：数字健康；人工智能；机器学习；大数据；决策支持系统；软件；医疗产品。

To cite this article

Gusev AV, Vladzimirsky AV, Sharova DE, Arzamasov KM, Khramov AE. 俄罗斯联邦医疗保健人工智能技术领域的研发发展：2021年结果. *Digital Diagnostics*. 2022;3(2):178–194. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

收到：11.05.2022

接受：11.08.2022

发布日期：23.08.2022

绪论

目前,使用基于人工智能(AI)技术的各种IT解决方案是医疗数字化转型最有前景的领域之一。对人工智能日益增长的兴趣是由几个趋势驱动的,包括硬件计算能力的提高,云计算的发展,大量数字数据的快速积累和机器学习算法的发展。这些前提条件为通过引入各种人工智能产品来提高医疗效率创造了条件,包括改进实用医学和医疗保健组织,最终旨在提高医疗质量和提高医疗资源管理效率[1]。

基于人工智能技术的软件领域的主要研发领域是疾病及其并发症发展的诊断和预测、个性化治疗的淘汰、个人医疗助理用于监测和评估患者状况的工作实时开发新药并支持其临床试验。一个独立的、但仍未充分发展的领域是为医疗保健部门开发机器人、完全自动设备。

潜在地,基于人工智能的软件可以提高医生、护士和医疗机构的效率,减少医疗过程的文档支持时间,提供患者路线和过程中所有参与者的必要通信。COVID-19大流行病大大增加了人们对人工智能产品应用的兴趣。同时,最近的出版物表明,为了在实际医疗保健中广泛引入人工智能系统,需要进行额外的研究和开发,包括确保独立的临床验证和成本效益评估[2,3]。

分析数据显示,2021年全球医疗AI市场规模为81.9亿美元,2022年将增长至101.1亿美元,复合年增长率(CAGR)为23.46%,到2026年规模将进一步扩大以48.44%的复合年增长率增长至491亿美元¹。

自2017年以来,用于医疗保健的人工智能投资一直在稳步增长(图1)。根据CBInsights的数据²,2021年,对提供基于人工智能技术的各种产品的公司的总投资额达到122亿美元(505笔交易)。相比之下,2020年这一数字为66.27亿美元(397笔交易),2019年为41.29亿美元(367笔交易),而2018年“仅”为27亿美元(264笔交易)³。

俄罗斯联邦医疗保健人工智能市场发展的主要原则

俄罗斯联邦人工智能市场的法律监管基础由俄罗斯联邦总统第490号令确定⁴,该令批准了《2030年前国家人工智能发展战略》。

俄罗斯联邦人工智能发展的目标被定义为提高其人口的福利和生活质量、确保国家安全和法律与秩序、实现俄罗斯经济的可持续竞争力,包括在世界领先地位人工智能领域。

战略中的医疗保健被定义为实施人工智能的优先领域之一,应有助于实现国家医疗保健项目的战略目标和目标,包括降低发病率和死亡率、提高预期寿命等⁵。

在医疗机构中引入基于人工智能的数字解决方案应有助于提高生活水平和医疗救护质量,包括预防性检查、基于图像分析的诊断、预测疾病的发生和发展、选择最佳的药物剂量、减少流行病的威胁、自动化和提高手术干预的准确性。

人工智能发展的主要方向已被确定为刺激需求和引进国内产品、确保人工智能的安全应用、

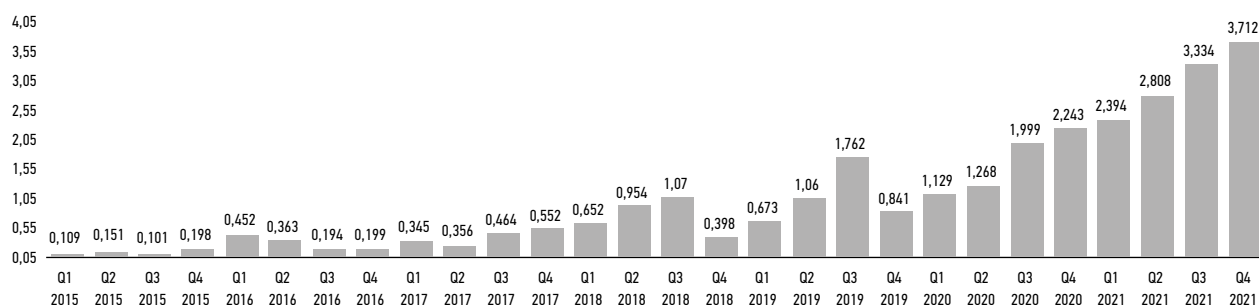


图1. 根据CB Insights的数据,用于医疗卫生的人工智能系统的风险投资动态为十亿美元。

¹ Companies in the artificial intelligence in healthcare market are introducing AI-powered surgical robots to improve precision as per the business research company's artificial intelligence in healthcare global market report 2022 [Internet]. 存取方式: <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/03/30/2413072/0/en/Companies-In-The-Artificial-Intelligence-In-Healthcare-Market-Are-Introducing-AI-Powered-Surgical-Robots-To-Improve-Precision-As-Per-The-Business-Research-Company-s-Artificial-Inte.html>. 访问日期: 2022年3月15日

² 一家美国私营公司,拥有商业智能平台和全球数据库,可提供有关私营公司和投资者活动的市场情报。

³ State of AI 2021 Report [Internet]. 存取方式: <https://www.cbinsights.com/research/report/ai-trends-2021/>. 访问日期: 2022年3月15日

⁴ 2019年10月10日俄罗斯联邦总统令第490号《关于在俄罗斯联邦发展人工智能》(连同《2030年前国家人工智能发展战略》)。存取方式: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/. 访问日期: 2022年3月15日

⁵ 2018年5月7日第204号俄罗斯联邦总统令《关于2024年前俄罗斯联邦发展的国家目标和战略目标》。存取方式: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201805070038>. 访问日期: 2022年3月15日

改善监管和技术规范，以及开发优质数据集。为此，在联邦和地区行政当局层面，应确保完成一系列任务：

- 1) 对研发的长期支持；
- 2) 促进人工智能软件在公共卫生部门和医疗机构的实施；
- 3) 发展人工智能教育，包括提高公众对人工智能技术潜力的认识；
- 4) 制定规范和技术法规；
- 5) 在国际市场上支持出口及推广俄罗斯人工智能产品；
- 6) 创建激励机制，吸引对科学、研究和开发人工智能产品的投资；
- 7) 在人工智能产品的创建和使用中形成综合安全性。

根据国家人工智能发展战略，重点如下：

- 1) 制作高质量的标记数据集，并为科学组织和开发人员提供受控访问；
- 2) 促进医疗保健领域基于人工智能技术的软件产品竞争市场的创建和发展，包括创造条件为在各级医疗保健中使用此类产品付费。

这些任务的完成将确保增加科学研究和出版物的数量和质量，显着增加投资量，增加开发人员之间的竞争，从而提高基于人工智能技术的医疗保健软件解决方案的质量，增加体积并提高其应用效率。

在卫生部门实施人工智能战略的主要成功指标是增加：

- 1) 为医学和保健开发人工智能产品的公司数量；
- 2) 智力活动成果的数量（专利、在俄罗斯和国际科学同行评审期刊上的出版物等）；
- 3) 经过国家注册的产品数量，包括作为软件医疗产品；
- 4) 使用基于人工智能的产品来提高绩效的政府机构和医疗保健组织的数量；
- 5) 俄罗斯科学家在世界领先期刊上发表的有关人工智能在医疗保健方面的文章数量和引文索引；
- 6) 由合格的医疗专业人员标记和验证的可用数据集的数量。

标准调节发展

俄罗斯联邦政府第2129-р⁶号法令规定的人工智能法律监管的基本原则和目标包括创建简化使用

人工智能技术创建的软件的实施机制、确定使用这种软件的法律责任，发展保险机构，完善制度数据流通，建立国家技术监管和合格评定体系，制定一整套促进技术发展的措施。

从人工智能的实施来看，医疗保健行业是一个特例：人工智能解决方案在实际临床实践中应用的安全性、有效性和信任问题是奠基石。

医疗保健领域人工智能产品的开发、上市和使用的监管正在两个关键领域发展：

- 1) 确保人工智能产品作为软件医疗设备的安全性、质量和有效性；
- 2) 确保数据保护和隐私措施，包括网络安全和用于机器学习目的的匿名医疗数据的流通。

如果制造商基于人工智能技术创建的软件旨在用于医疗和诊断目的（提供医疗服务），它将被归类为医疗设备。其法律依据是第4-FZ号联邦法⁷，俄罗斯联邦根据该法批准了《欧亚经济联盟内医疗器械（医疗器械和医疗设备）流通统一原则和规则协议》。该文件规定，制定整体协调的医疗器械政策应以全称为国际医疗器械监管者论坛（IMDRF）的规则和建议为基础，该论坛是由世界各地的医疗器械监管机构自愿组成的团体，联合起来制定和协调准则[4]。IMDRF创建了AI医疗器械工作组（AIMD），旨在实现对此类医疗器械管理的一致方法。其活动涵盖基于机器学习的医疗器械统一监管和技术方法的标准化和开发。

自2019年秋季以来，俄罗斯联邦卫生监督局下属的一个特别工作组一直在努力审议修改俄罗斯联邦现行法规的建议，并根据IMDRF的建议和监管文件，创建新的文件，以规范基于人工智能的软件的开发和市场推出。

根据第323-FZ号联邦法⁸，仅有在按照法律规定的方式事先获得国家注册的情况下，才允许医疗设备，包括软件医疗设备的流通。

直到2022年，俄罗斯基于人工智能技术创建的软件的注册是根据国家规定进行的。为此，俄罗斯联邦卫生监督局与俄罗斯联邦卫生部一道，考虑到人工智能的特点，对现行医疗器械流通法规进行了所有必要的修改。特别是，已发布以下文件的新版本：

- 1) 2012年12月27日《关于批准国家医疗器械注册规则》的第1416号俄罗斯联邦政府令⁹，经2020年11月24日《关于国家医疗器械注册规则的修订》的第1906号俄罗斯联邦政府令修订¹⁰；

⁶ 俄罗斯联邦政府2020年8月19日第2129-р号《关于批准2024年前人工智能和机器人技术领域关系管理的发展概念》的法令。存取方式：<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74460628/>。访问日期：2022年3月15日

⁷ 2016年1月31日第4-FZ号联邦法《关于批准欧亚经济联盟内医疗器械（医疗器械和医疗设备）流通统一原则和规则协议》。存取方式：<https://ipbd.ru/doc/0001201601310008/>。访问日期：2022年3月15日

⁸ 2011年11月21日第323-FZ号联邦法《关于俄罗斯联邦健康保护的基本原则》（最新修订）。存取方式：http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/。访问日期：2022年3月15日

⁹ 存取方式：<https://base.garant.ru/70291692/>。访问日期：2022年3月15日

¹⁰ 存取方式：http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_368970/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/。访问日期：2022年3月15日

2) 俄罗斯联邦卫生部2017年1月19日第11n号令《关于批准医疗器械制造商（胜场商）技术和操作文件内容要求》¹¹；

3) 俄罗斯联邦卫生部2021年8月30日《关于批准以技术试验、毒理学研究和临床试验形式对医疗器械进行符合性评估的程序》的第885n号命令¹²；

4) 2012年6月6日第4n号《关于批准医疗器械名称分类》的俄罗斯卫生部命令¹³，以及2020年7月7日第686n号《关于对2012年6月6日第4n号《关于批准医疗器械名称分类》的俄罗斯卫生部命令附件1和2的修正》的命令¹⁴。

自2026年1月1日起，医疗器械注册将仅按照欧亚经济联盟（EAEU）的规则进行。为此，对欧亚经济委员会（EEC）的监管法律行为进行了必要的修订，特别是对欧亚经济委员会理事会于2018年11月12日第25号提出的建议¹⁵，其中规定了单独的第7节“软件”。

技术法规的发展

目前，在俄罗斯，与世界上所有在人工智能实施方面领先的国家（美国、中国、加拿大、韩国、欧盟国家）一起，已经通过了国家战略或其他文件，确立了国家目标、任务和人工智能发展规划[5]。这些文件巩固了人工智能技术监管的基本原则和方法。基于国家战略，正在制定法律法规和技术标准。

自2019年以来，俄罗斯启动了自己的医疗和保健人工智能领域国家技术标准的制定和批准程序。这项工作的主要目标是促进我国的社会经济发展，融入世界经济和国际标准化体系，提高解决方案和服务的质量，提高竞争力。

2019年7月，根据联邦计量和技术管理局（Rosstandart）第1732号命令¹⁶，成立了“人工智能”标准化技术委员会（TC 164），负责处理人工智能问题，提高该领域标准化工作的效率[6]。在TC 164的框架内，成立了一个单独的特别小组委员会01“医疗领域人工智能”（SC 01），负责制定国家和国际标准，协调医疗领域人工智能系统开发、测试和运行要求的统一和标准化工作，并制定使用人工智能技术的医疗设备的认证要求（俄罗斯标准2019年12月31日第3471号令¹⁷）。小组委员会01在莫斯科国家医疗保健预算机构“莫斯科市卫生局诊断和远程医疗技术科学和实用临床中心”的基础上运作。该小组委员会由24个专业组织和独立的外部专家组成。小组委员会01的SC 01成员按照TC 164的经营计划，不断致力于国家标准的制定。2021年，开发了《临床医学中的人工智能系统》系列的前6个文件，包括《临床试验》、《技术测试的程序和方法》、《具有自适应算法的人工智能系统的变更管理》、《性能参数的评估和控制》、《训练和测试算法的数据集结构 and 应用顺序要求》、《操作的一般要求》（表1）[7]。

表1俄罗斯联邦医学人工智能领域现行国家标准清单

序号	标准名称和详细信息
1	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.1-2022《临床医学中的人工智能系统。第1部分。临床评估》
2	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.2-2021《临床医学中的人工智能系统。第2部分。技术测试方案与方法》
3	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.3-2021《临床医学中的人工智能系统。第3部分。持续学习的人工智能系统中的变更管理》
4	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.4-2021《临床医学中的人工智能系统。第4部分。使用参数的评价与控制》
5	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.5-2022《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结构和应用的要求》
6	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.6-2021《临床医学中的人工智能系统。第6部分。操作的一般要求》

¹¹ 存取方式: <https://base.garant.ru/71626748/>。访问日期: 2022年3月15日

¹² 存取方式: <https://docs.cntd.ru/document/608935477>。访问日期: 2022年3月15日

¹³ 存取方式: <https://docs.cntd.ru/document/902353334>。访问日期: 2022年3月15日

¹⁴ 存取方式: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202008100015>。访问日期: 2022年3月15日

¹⁵ 欧亚经济委员会董事会。2018年11月12日第25号建议《关于在欧亚经济联盟框架内将产品归类为医疗器械的标准（2021年6月29日修订）》。存取方式: <https://docs.cntd.ru/document/551663485>。访问日期: 2022年3月15日

¹⁶ 俄罗斯联邦工业贸易部、联邦计量和技术管理局于2019年7月25日第1732号《关于建立标准化“人工智能”技术委员会》的命令。存取方式: <https://docs.cntd.ru/document/560916332>。访问日期: 2022年3月15日

¹⁷ 俄罗斯联邦工业贸易部、联邦计量和技术管理局2019年12月31日第3471号令《关于修订联邦技术监管和计量局2019年7月25日第1732号《关于建立标准化“人工智能”技术委员会》的命令。存取方式: <https://docs.cntd.ru/document/564243465>。访问日期: 2022年3月15日

表2关于医疗保健人工智能系统主题的准则清单

序号	文件名称及详细信息
1	数据集准备条例，包括对形成代表性数据样本的方法的描述。第1部分：方法建议 / 编者 S.P. Morozov, A.V. Vladzimirskiy, A.E. Andreichenko等。“放射和仪器诊断的最佳实践”系列。第103期莫斯科：莫斯科卫生部诊断和远程医疗技术科学与实践中心，2021年，40页
2	基于智能技术（放射学）的软件临床试验。K-49 Morozov S.P.、Vladzimirsky A.V.、Klyashtorny V.G.等。基于智能技术（放射学）的软件临床试验。“放射和仪器诊断的最佳实践”系列。第57期莫斯科，2019年，51页
3	关于在国家系统内进行国家注册的医疗器械（在软件方面）的质量、有效性和安全性检查程序的方法学建议。莫斯科：俄罗斯联邦卫生监督局联邦国家预算机构全俄医疗设备研究和测试研究所，2021年，33页。

所发布的标准在世界范围内是无与伦比的。根据到2025年的长期工作计划，TC 164应协调制定医疗保健AI领域的约50项标准。此外，还发布了一些单独的方法学建议，也可以作为技术监管工具（表2）。

俄罗斯医疗人工智能解决方案概述

根据S曲线发展的概念，俄罗斯医疗保健人工智能市场目前正在从形成阶段进入快速增长阶段。这种转变发生的速度不仅取决于人工智能技术的开发者，还取决于法规更新和机制到位的速度，以资助人工智能软件提供的医疗服务。

P. A. Komar和合著者[8]根据多因素评估方法，包括市场前景、投资者兴趣指标、知识产权数据等，对提供各种医药和保健产品的俄罗斯人工智能初创企业进行了排名。根据该评级，俄罗斯医疗保健人工智能解决方案市场上有30多家不同的公司。其中60%以上的公司在医学图像分析领域营业，包括Third Opinion、Botkin.Ai和Celsus等产品。相比之下，全球约有2.8千家公司在医疗和保健中的人工智能领域营业，因此，就公司数量而言，俄罗斯部分在全球市场的份额约为1.25%。

同时，对企业数量的机械计算也应严格处理。从全球的角度来看，投资的涌入往往导致创业活动的爆炸性增长—大量初创企业的出现，由于投资者的支持，只专注于“炒作浪潮”上的暂时存在，而不是创造真实的产品。通过实施其开发（而不是通过投资）监控产品进入市场的动态、其作为医疗器械的注册、使用量和收入在战略上更为正确。通过这种方式，可以确定从数量到质量的过渡过程。

截至2021年底，35家公司中的7家（20%）使用第1906号政府法令¹⁸规定的一步注册程序，获得了俄罗斯联邦卫生监督局11份医疗器械产品注册证书。第一个使用人工智能技术创建并同时获得注册证书的产品是Webiomed预测分析平台，

该平台于2020年春季通过了相应的国家注册。随后，在2020年11月和2020年12月，又有2款AI辅助医学影像分析领域的产品也分别获得了注册证：Botkin.Ai医学影像分析处理平台和Care Mentor Ai影像服务平台（表3）。

人工智能医疗保健领域的科学研究

俄罗斯人工智能技术发展中的一个明亮但几乎被遗忘的片断可以被视为“使用比较思想的机器进行研究的新方法的制定”一书，于1832年由拿破仑战争的老兵、内政部官员谢苗·尼古拉耶维奇·科萨科夫(1787 - 1853)出版。在此基于机械唯物主义原则的著作中，作者提出了五种“比较思想机器”的设计、穿孔卡片、使用权重系数的多标准搜索方法，以及第一种处理大数据的方法（前身现代人工智能算法）[9]。

1954年由A. A. Lyapunov院士主持的《自动机与思维》跨学科研讨会，是我国人工智能领域研究和发展的正式开始[10]。直到20世纪80年代末，苏联在人工智能领域的理论研究水平至少符合全球趋势，而在医疗数据自动分析领域的发展（特别是Y. I. Neimark和A. P. Matusova在心电信号数学处理领域的著作）明显领先于国外。1974年，苏联科学院主席团系统分析委员会成立了人工智能问题科学委员会，支持自然语言处理、知识和数据表示、机器人智能行为、等等然而，自1980年代以来，由于社会经济形势的恶化和随后的苏联解体，人工智能和机器学习的应用技术逐渐滞后。然而，在医疗保健领域，在1980-1990年代期间人工智能发展停滞不前，还应考虑另一个因素，当时有相当数量的“专家系统”（实际上是自动化的医疗决策支持系统）被提议用于心脏病学、外科、内分泌学和神经外科等。但是，它们并没有产生大规模的效果。这些发展基于结构化的“决策树”（它们可能非常广泛，但可预测且完全静态）；因此，在操作期间没有进行算法的训练和开发。对医生而言，这种软件没有实

¹⁸ 俄罗斯联邦政府2020年11月24日第1906号法令《关于修订医疗器械国家注册规则》。存取方式：<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011270010>。访问日期：2022年3月15日

表3截至2021年12月，俄罗斯联邦卫生监督局为使用人工智能技术创建的软件医疗设备颁发的注册证书清单

序号	签发日期	有关注册证书、产品和制造商的信息
1	2020年4月3日	“根据 TU 62.01.29-001-12860736-2019支持医疗决策的系统WEBIOMED”的软件，RU No. RZN 2020/9958，开发商：K-Sky，网站： https://webiomed.ai/
2	2020年11月3日	对DICOM标准的图像进行可视化和处理的Botkin.AI应用软件，符合TU 58.29.32-001-45146066-2020，RU No. RZN 2020/12028 对，开发商：Intellogic，网站： https://botkin.ai/
3	2020年12月11日	“Care Mentor AI神经网络系统”的软件，符合TU 62.01.29-001-28263422-2019，版本：Webshow，API。RU № RZN 2020/11137，开发商：CareMentorAI，网站： https://carementor.ru/
4	2021年5月27日	“神经网络系统Care Mentor AI用于诊断基于计算机断层扫描数据的新冠病毒感染COVID-19”的软件，符合TU 58.29.32-002-28263422-2020，版本：Webshow，API。RU № RZN 2021/14406，开发商：CareMentorAI，网站： https://carementor.ru/
5	2021年5月27日	CELS® 软件，符合TU 58.29.32-001-28139219-2019，RU No. RZN 2021/14449，开发商：医学筛查系统，网站： https://celsus.ai
6	2021年6月1日	分析人体胸部的荧光图和X线照片的软件模块，符合TU 58.29.32-001-21494354-2020，RU No. RZN 2021/14506，开发商：PTM，网站： https://thirdopinion.ai/
7	2021年7月27日	“Care Mentor AI神经网络系统，用于分析X射线投影乳房X射线照相术”的软件，符合TU 58.29.32-003-28263422-2021，版本：Webshow，API。RU № RZN 2021/14869，开发商：CareMentorAI，网站： https://carementor.ru/
8	2021年10月12日	“神经网络系统Care Mentor AI，用于根据负载下足部的横向射线照相确定纵向扁平足”的软件，符合TU 58.29.32-004-28263422-2021，版本：Webshow，API。RU № RZN 2021/15554，开发商：CareMentorAI，网站： https://carementor.ru/
9	2021年6月22日	RADLogics平台放射学图像自动处理的软件包，符合TU 58.29.32-320-17493389-2020，RU No. 2021/14627，开发商：Radlogics Rus，网站： https://www.radlogics.com/
10	2021年9月24日	分析人体计算机断层扫描研究的软件模块，符合TU 58.29.32-002-21494354-2021，RU No. RZN 2021/14651，开发商：PTM，网站： https://thirdopinion.ai/
11	2021年11月27日	用于Gamma Multivox医疗图像和数据登记、成像、处理、存档和传输的软件包，符合TU 62.01.29-001-16428326-2018，RU No. RZN 2021/13277，网站： https://www.gammamed.ru/

际意义，对医疗数据自动分析的兴趣急剧下降。

人工智能在2000年代初的复兴归功于一种新的数学设备（包括人工神经网络）、计算能力的快速增长以及数字形式的生物医学数据的大规模积累。

根据《2030年前国家人工智能发展战略》¹⁹，俄罗斯人工智能发展的优先事项之一是发展该领域的研究和开发，包括医疗保健领域。图2显示了俄罗斯作者在Scopus科学信息数据库所标引的国际科学期刊和权威科学会议上发表的科学论文数量的动态，其主题对应于人工智能技术在医学和医疗保健中的应用。自2016年以来的稳定增长是清晰可见的。2021年，根据标题中给出的要求搜到的出版物数量为227篇文章和评论。对出版物的分析表明，60%以上的著作是与外国同事共同完成的。这一事实只能受到欢迎，因为它证明了俄罗斯研究人员和医生在如此蓬勃发展的领域扩大了国际科学合作。

但需要注意的是，与该领域的领先国家相比，在医疗人工智能领域发表的世界级研究成果数量仍然相对较少。例如，Scopus中的类似查询显示，2021年，中国研究人员发表了1926篇文章，英国作者发表了1661篇，美国发表了4087篇。这表明，在俄罗斯联邦的医疗人工智能系统的研究和开发方面，有一个差距，需要通过超前发展来弥补。毫无疑问，不仅需要对开发进行投资，还需要对来自医学研究中心和临床机构的研究人员进行额外的定向资助。

这表明，2021年俄罗斯作家的大部分作品是由国家科学支持机构资助的——俄罗斯基础研究基金（38篇），俄罗斯联邦教育和科学部（20篇），以及俄罗斯科学基金会（13篇）。在资助机构中也提到了俄罗斯的大学，但几乎没有俄罗斯私人投资者或企业资助的研究成果发表。这证实了过去几年俄罗斯企业对投资人工智能医学领域研发的兴趣不高，以及政府对该领域研究

¹⁹ 2019年10月10日俄罗斯联邦总统令第490号《关于在俄罗斯联邦发展人工智能》（连同《2030年前国家人工智能发展战略》）。存取方式：http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/。访问日期：2022年3月15日

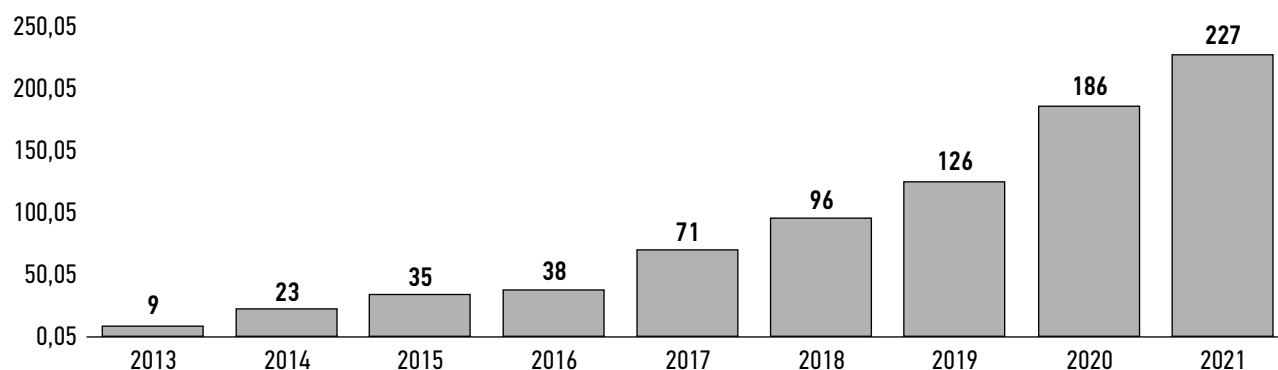


图2. 过去10年, 俄罗斯作者在医学和人工智能的交叉领域发表的Scopus科学信息数据库中的索引出版物数量。

注: 数据库查询: (TITLE-ABS-KEY (medicine OR healthcare) AND ("artificial intelligence" OR "machine learning") AND AFFILCOUNTRY (Russia OR "Russian Federation")).

的资助占主导地位(需要注意的是, 2021年主要发表的是前几年的研究成果, 主要期刊文章的准备、审阅和发表时间较长)。

俄罗斯在医疗人工智能领域的研究目标和内容在很大程度上遵循全球趋势。2021年的大量工作致力于试点项目, 以探索人工智能作为对被诊断为新冠病毒感染COVID-19的患者的各方面护理的潜力。在第38届国际机器学习会议(ICML, 2021)上, Sberbank的人工智能实验室展示了两项人工智能服务: 一种用于在X射线上识别肺炎病灶并进一步确定患者接受治疗的优先级的模型, 一个用于评估肺炎住院患者的严重疾病风险的模型, 包括由COVID-19引起的肺炎²⁰。通过不断的训练和改进参数, 在X光片上识别肺炎病灶的模型已达到97.8%的准确率。

联邦国家自治高等教育机构“国立研究托木斯克理工大学”与联邦国家预算科学研究所“心血管疾病综合问题研究所”和EPAM系统(圣彼得堡)以及一些美国同事联合来自各种公司和大学, 在应用人工智能诊断肺炎方面已经取得了研制成果, 包括那些与COVID-19有关的[11]。作者表明, 大多数肺部疾病诊断工作中使用的标准深度学习方法不会围绕指示COVID-19或肺炎的模式激活。提出了一种基于间接观察的神经网络训练, 其准确性可与为诊断COVID-19和肺炎而创建的专门网络的准确性相媲美。作者表明, 预先训练过的VGG-16卷积网络[12], 在以受控的注意力重新训练的情况下, 在验证和测试子集上的分类准确率最高, 分别为88%和84%。

在创新城大学(喀山市), 人工智能研究所也开发了一个使用基于X射线图像的AI检测COVID-19的系统。对于AI训练, 该数据集包括了2.8万张健康人和各类肺炎患者的肺部图像, 以及94张感染冠状病毒的胸部器官的X光图像。该研究的结果是一个神经网络, 它可以通过X射线诊断冠状病毒,

准确率高达80%; 这样, 神经网络学会了识别由COVID-19引起的常见病症。

此外, 我们注意到Botkin.AI平台正在积极致力于辐射诊断解决方案领域。该解决方案可轻松与医疗信息系统集成, 使用AI确保医疗图像的自动选择、去个性化和处理。自2017年以来, 公司一直与领先的制药公司、私人 and 公共诊所合作(在俄罗斯地区、独联体国家、南美和中东有30多个成功项目)。目前, 该公司的主要解决方案与乳房X光检查、胸部和脑部CT扫描结果的自动分析有关。

当然, 俄罗斯研究人员在医学人工智能系统领域的工作不仅限于COVID-19的问题。俄罗斯卫生部(莫斯科)的亥姆霍兹国家眼病医学研究中心正在研究使用人工智能技术从眼底图像诊断糖尿病视网膜病变[13]。

在K. I. Shakhgeldian的领导下, 远东地区正在研究机器学习在预测任务中的应用, 包括心血管疾病的预防[14]。

慢性非传染性疾病预测方面的研究和开发, 以及基于人工智能技术的实际临床实践数据研究, 是作为Webiomed平台开发的一部分进行的[15]。该平台旨在自动分析匿名医疗数据, 以预测个人和人群层面的疾病及其并发症的可能发展。支持对超过2.7千种不同特征的分析, 患者的电子病历系统使用NLP技术从医疗协议和其他文档中提取这些特征。可以对40种不同的疾病进行自动分析, 包括18种预测和诊断机器学习模型, 其中一些模型的准确率超过80%。迄今为止, Webiomed平台是俄罗斯联邦唯一用于分析电子病历数据的解决方案。

俄罗斯卫生部联邦国家预算机构“N. I. Pirogov国家医疗和外科中心”(莫斯科)与伊曼纽尔康德波罗的海联邦大学(加里宁格勒)的神经技术和人工智能中心以及因诺

²⁰ SberPress [互联网]。在ICML上, Sber展示了其基于人工智能的医学发展。存取方式: <https://press.sber.ru/publications/na-icml-sber-predstavil-svoi-razrabotki-na-osnove-iskusstvennogo-intellekta-v-medicine>。访问日期: 2022年3月15日

波利斯大学（喀山）的神经科学和认知技术实验室共同处理与诊断中枢神经系统疾病相关的医学中可解释人工智能系统的构建问题。特别是在2021年，开发了一种基于无监督学习的癫痫脑电图数据标记系统，该系统基于使用极端事件理论对癫痫放电的表示[16]。由斯科尔科沃创新中心居民Immersmed有限公司开发的医生决策支持系统目前正在皮罗戈夫中心进行临床测试[17]。该团队还提出了基于AI的方法，用于根据功能性运动和认知试验来诊断与年龄相关的神经退行性变化[18]。

使用机器学习方法分析生物电信号在实施脑机接口技术以实现创伤性脑损伤和中风后患者的康复方面是必需的[19]。脑溢血后康复的一种方法是通过脑机接口电路中运动的心理表征进行训练，可以控制每次尝试想象运动的结果。

俄罗斯在医疗人工智能领域最大研究项目是计算机视觉技术在放射诊断中的应用莫斯科实验，该项目于2020年在莫斯科市政府的支持下以多中心前瞻性研究的形式启动，研究在实际临床实践中使用人工智能技术的可行性（www.mosmed.ai）。共有18名开发者参与了该研究；53项人工智能服务被集成到统一放射信息服务（ERIS EMIAS）中，用于分析射线照片、计算机断层扫描和乳房X光检查的结果。在两年内，已经对560多万次辐射检查进行了自动分析，其结果可供150家医疗机构的10,000多名医生使用。目前正在对用户参与、人工智能算法的技术质量和诊断准确性以及其对医生和医疗组织绩效的影响进行全面的科学分析。已经证明，由于初步的自动化分析，某些类型的放射检查结果的描述持续时间减少了。在放射诊断中使用人工智能服务来提高放射科医生的工作效率的合理性已经明确确立。为了开发人工智能市场，作为实验的一部分，与参与公司正在不断开展工作，包括研讨会和与医生会面的形式。为了履行俄罗斯联邦国家人工智能发展战略的规定，正在创建一个数据集库[20]。实验材料作为上述第一批国家标准的基础，以及在将人工智能软件注册为医疗设备过程中进行的临床试验方法。

每月对人工智能服务进行评级——实验参与者；它基于一组技术质量和诊断准确性指标。对于实验的每一个方向，都会在公共领域公布三位领先者；从此类排行榜中（leaderboard——排行榜）最固定的参与者中，可以确定下面描述的几个研制成果。

“第三意见”人工智能服务是最早在俄罗斯医疗保健智能技术市场上表现出自己的公司之一。正在开发用于识别数字化血液和骨髓涂片、胸部X射线和眼底图像的算法。“第三意见”是俄罗斯医疗技术市场上最早提供对医院视频流进行连续人工智能分析模块的公司之一，目的是防止褥疮、患者跌倒和其他医院事故。随后，该服务被安装在本国几家领先的私人医疗中心。第三意见平台用于自动分析胸部X射线结果的人工智能服

务在相关实验领域相当稳定地排名前三。在对诊断准确性的前瞻性评估中，该服务达到了0.84的特征曲线下的区域（95% CI 0.83 - 0.85）。

Celsus人工智能服务是乳房X线摄影方向实验排行榜的自信参与者。在对诊断准确性的前瞻性评估中，该服务达到了0.74的特征曲线下的区域（95% CI 0.73 - 0.74）。应该指出的是，Celsus平台支持四种模式：乳腺摄影、荧光照相术、胸部X光、胸部和大脑的计算机断层扫描。然而，在实验中，最高结果与乳腺预防性放射检查结果的自动分析精确相关。

IraLabs人工智能服务的特点是对放射学结果的自动处理问题进行了深入的方法学开发，以及其出版活动。作为试验的一部分，该公司为慢性非传染性疾病、骨质疏松症的机会性筛查以及评估COVID-19的肺部病变体积同时提供了多项服务。该公司在实验排行榜中最稳定的参与与最后一个方向相关：在胸部器官计算机断层扫描（特征曲线下面积）上处理新型冠状病毒感染表现的算法的准确度为0.88（95% CI 0.87 - 0.88）。在骨质疏松症筛查中，该开发商的人工智能服务很快就取得了0.94（95% CI 0.88-1.00）的良好效果。

必须强调的是，所提供的数据并不是对排名领先者的完整或官方概述。这只是强调几个活跃的市场参与者同时发展几个方向。我们再次注意到：有53个人工智能服务参与了七个方向的实验，其中大部分都显示出相当令人鼓舞的结果。详细分析将在我们随后的出版物中介绍。

俄罗斯医疗保健人工智能市场的规模和动态评估

我们分析了媒体上关于投资俄罗斯公司为医疗提供专门的人工智能产品的出版物，相关开发公司网站上的信息，以及一些国家机构提供的关于国家通过赠款和其他工具支持的数据。基于这些信息，我们评估了俄罗斯医疗保健AI产品的动态（图3）。截至2021年底，俄罗斯在医疗领域的人工智能投资总额为539万美元，占全球水平的0.04%，与2020年相比，2021年在俄罗斯的投资减少了3.2倍，而在全球则增加了1.8倍。

俄罗斯人工智能产品投资来源结构如图4所示。可以看出，俄罗斯在人工智能产品开发方面的投资几乎70%来自公共资金来源，包括斯科尔科沃基金会、国家技术倡议（NTI）、援助创新基金会等支持机构。图5显示了按市场部门划分的投资分布。

在俄罗斯市场上的公司的收入正在系统地增加，增长动态如图6所示。尽管该指标正式增长，但应该指出的是，就市场成熟度而言，收入结构仍然存在很大风险：俄罗斯公司收入的最大份额是通过参与莫斯科实验以及其他赠款获得的支持工具，包括来自行业发展机构的支持工具。这种情况表明，俄罗斯公司迄今未能找到可扩展和可

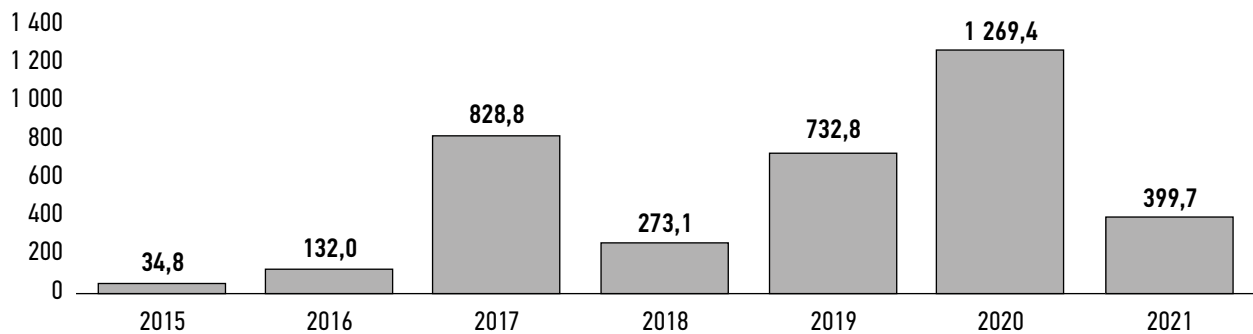


图3。2015-2021年俄罗斯对医学和医疗保健人工智能系统的投资动态（作者数据），百万卢布

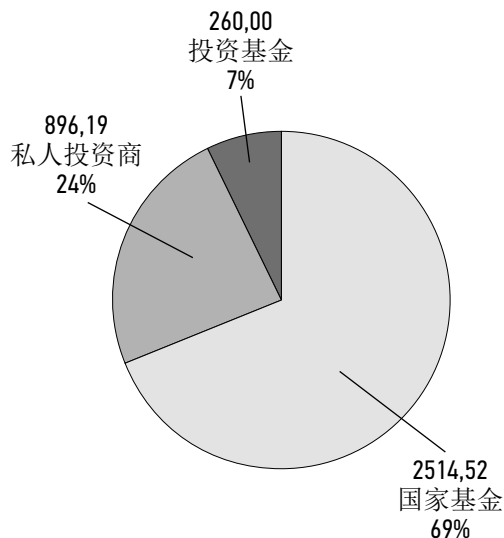


图4。俄罗斯对医学和医疗保健人工智能系统的投资来源（作者数据），百万卢布

销售的工具来推广其产品，这可能是由于政府对医疗保健市场的总体监管的具体情况。

根据披露的俄罗斯人工智能初创公司收入数据，我们估计2021年医疗人工智能市场的规模约为7亿卢布，占全球市场的0.11%。

根据平均市场乘数和收入，我们估计俄罗斯开发公司的总资本为2亿美元，全球相同指标为490亿美元。因此，我们在该指标中的份额为0.4%。

到2021年底，总共有20多个俄罗斯联邦主体启动了各种人工智能产品实施项目，包括作为试点项目或科学和实践实验实施的项目。COVID-19大流行已成为俄罗斯对人工智能越来越感兴趣的关键驱动力。

结论

所提供的数据清楚地表明，俄罗斯需要采取额外的系统措施来开发基于人工智能技术的医疗保健产品的研究、开发和实施。该领域是数字经

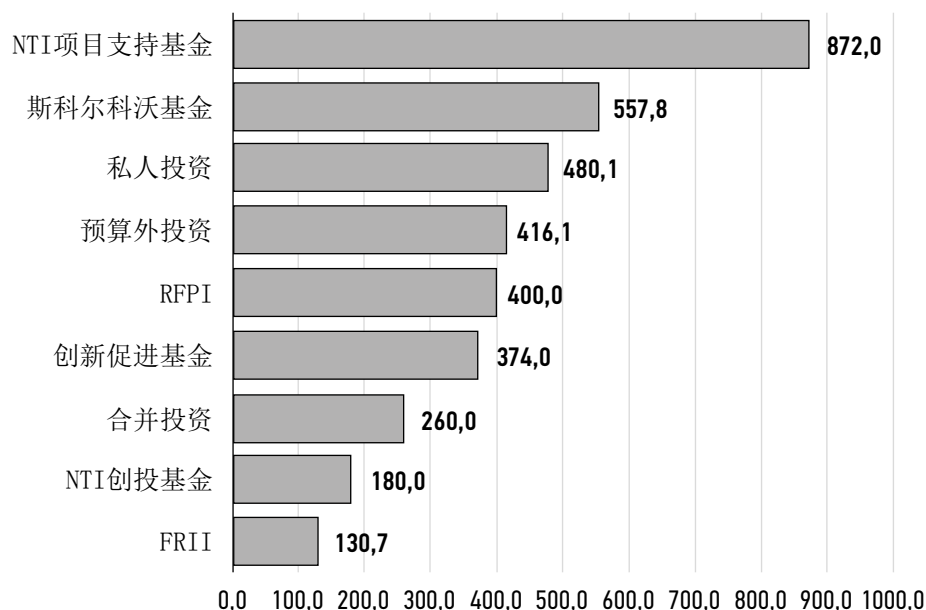


图5。投资医疗和医疗保健人工智能系统的方向（作者数据），百万卢布

注：NTI——国家技术倡议基金会；RFPI——俄罗斯直接投资基金；FRII——互联网倡议发展基金会。

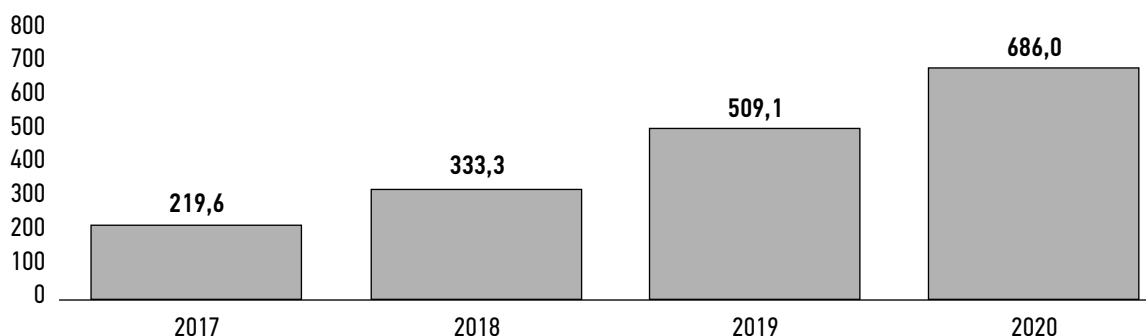


图6. 2017–2020年俄罗斯医学和医疗保健人工智能系统开发者的收入动态（作者数据），百万卢布

济中最大和最重要的部分之一，滞后可能非常危急。

至少从市场的角度来看，结果低的问题之一是俄罗斯公司在实际医疗保健中缺乏可扩展的销售和大规模实施。

我们认为这种现象可能有三个关键原因。首先，在创新的人工智能产品和服务方面，缺乏有针对性的国家资金用于医疗机构和卫生当局实施人工智能系统。当前的联邦计划和国家项目，包括在医疗保健领域创建统一数字轮廓的项目，不包含任何引入人工智能的措施或资金。在医疗服务名目中，没有可以应用人工智能技术提供的服务，这对至少在公共医疗领域购买相关产品的增长造成了障碍。第二，所提出的解决方案没有足够的价值。许多公司专注于改进其产品，提高机器学习算法的准确性，但未对科学研究给予足够的重视，并未提供令人信服的证据来证明其解决方案对国内医疗保健的有效性和价值。第三，对产品的不信任。很少有俄罗斯开发商对适当组织的临床试验和产品测试给予应有的关注。目前，俄罗斯联邦卫生监督局已为7家开发公司颁发了11个AI系统注册证书。但在医学中，对新技术的信任问题关键的：首先此处，在决定应用任何新事物时，应以“不伤害”的原则为指导。

看来，解决在实际医疗中引进和使用人工智能产品的支付来源问题，对人工智能产品质量的可信度进行更多的研究，并加强其对

消费者的价值，是俄罗斯联邦需要解决的主要战略挑战，以确保人工智能技术在我国医疗机构的研究、开发和实际应用的增长。

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The article has no sponsorship.

Competing interests. The authors declare that there is no conflict of interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.V. Gusev — the idea, the overview of products and projects, sections on regulation and data on market performance; A.V. Vladzmyrskyy — the general version of the entire article, the conclusion; D.E. Sharova — a section on policy management and technical regulation; K.M. Arzamasov — the description of the Moscow experiment; A.E. Khramov — the history and current data on research in the field of AI in healthcare.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the Federal Service for Surveillance in Healthcare and personally to the Deputy Head of the Department of the State Control and Registration of Medical Devices M.M. Sukhanova for their assistance in writing this article. We also express our gratitude to the Presidential Program for Support of Leading Scientific Schools of the Russian Federation (grant NSh-589.2022.1.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again by eric topol. New York: Basic Books, 2019. 341 p.
2. Roberts M., Driggs D., Thorpe M., et al. Common pitfalls and recommendations for using machine learning to detect and prognosticate for COVID-19 using chest radiographs and CT scans // *Nat Mach Intel*. 2021. Vol. 3, N 3. P. 199–217. doi: 10.1038/s42256-021-00307-0
3. Wynants L., Van Calster B., Collins G.S., et al. Prediction models for diagnosis and prognosis of COVID-19: systematic review and critical appraisal // *BMJ*. 2020. Vol. 369. P. m1328. doi: 10.1136/bmj.m1328
4. Гусев А.В., Морозов С.П., Кутичев В.А., Новицкий Р.Э. Нормативно-правовое регулирование программного обеспечения

- для здравоохранения, созданного с применением технологий искусственного интеллекта, в Российской Федерации // *Медицинские технологии. Оценка и выбор*. 2021. № 1. С. 36–45. doi: 10.17116/medtech20214301136
5. Шарова Д.Е., Зинченко В.В., Ахмад Е.С., и др. К вопросу об этических аспектах внедрения систем искусственного интеллекта в здравоохранении // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 3. С. 356–368. doi: 10.17816/DD77446
 6. Морозов С.П., Зинченко В.В., Хоружая А.Н., и др. Стандартизация искусственного интеллекта в здравоохранении: Россия выходит в лидеры // *Врач и информационные технологии*. 2021. № 2. С. 12–19. doi: 10.25881/18110193_2021_2_12

7. Морозов С.П., Владзимирский А.В., Шарова Д.Е., и др. Первые национальные стандарты Российской Федерации на системы искусственного интеллекта в медицине // Менеджмент качества в медицине. 2022. № 1. С. 58–62.
8. Комарь П.А., Дмитриев В.С., Ледяева А.М., и др. Рейтинг стартапов искусственного интеллекта: перспективы для здравоохранения России // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2021. Т. 7, № 3 С. 32–41. doi: 10.29188/2712-9217-2021-7-3-32-41
9. Корсаков С.Н. Начертание нового способа исследования при помощи машин, сравнивающих идеи / пер. с франц.; под ред. А.С. Михайлова. Москва: МИФИ, 2009. 44 с.
10. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: учебное пособие. Санкт-Петербург: Питер, 2000. 384 с.
11. Danilov V.V., Proutski A., Karpovsky A., et al. Indirect supervision applied to COVID-19 and pneumonia classification // *Informatics Medicine Unlocked*. 2022. Vol. 28. P. 100835. doi: 10.1016/j.imu.2021.100835
12. Mohammadi R., Salehi M., Ghaffari H., et al. Transfer learning-based automatic detection of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from chest X-ray images // *J Biomed Phys Eng*. 2020. Vol. 10, N 5. P. 559–568. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.2008-1153
13. Нероев В.В., Брагин А.А., Зайцева О.В. Разработка прототипа сервиса для диагностики диабетической ретинопатии по снимкам глазного дна с использованием методов искусственного интеллекта // Национальное здравоохранение. 2021. Т. 2, № 2. С. 64–72. doi: 10.47093/2713-069X.2021.2.2.64-7
14. Невзорова В.А., Бродская Т.А., Шахгельдян К.И., и др. Методы машинного обучения в прогнозировании рисков 5-летней

- смертности (по данным исследования ЭССЕ-РФ в Приморском крае) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022. Т. 21, № 1. С. 2908. doi: 10.15829/1728-8800-2022-2908
15. Гиляревский С.Р., Гаврилов Д.В., Гусев А.В. Результаты ретроспективного анализа записей электронных амбулаторных медицинских карт пациентов с хронической сердечной недостаточностью: первый российский опыт // Российский кардиологический журнал. 2021. Т. 26, № 5. С. 4502. doi: 10.15829/1560-4071-2021-4502
16. Karpov O.E., Grubov V.V., Maksimenko V.A., et al. Noise amplification precedes extreme epileptic events on human EEG // *Physical Review*. 2021. Vol. 103. P. 022310. doi: 10.1103/PhysRevE.103.022310
17. Кучин А.С., Грубов В.В., Максименко В.А., Утяшев Н.П. Автоматизированное рабочее место врача-эпилептолога с возможностью автоматического поиска приступов эпилепсии // Врач и информационные технологии. 2021. № 3. Р. 62–73. doi: 10.25881/18110193_2021_3_62
18. Kuc A., Korchagin S., Maksimenko V.A., et al. Combining statistical analysis and machine learning for eeg scalp topograms classification // *Frontiers Systems Neuroscience*. 2021. Vol. 15. P. 716897. doi: 10.3389/fnsys.2021.716897
19. Hramov A.E., Maksimenko V.A., Pisarchik A.N. Physical principles of brain-computer interfaces and their applications for rehabilitation, robotics and control of human brain states // *Physics Reports*. 2021. Vol. 918. P. 1–133. doi: 10.1016/j.physrep.2021.03.002
20. Морозов С.П., Владзимирский А.В., Шулькин И.М., и др. Исследование целесообразности применения технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике // Врач и информационные технологии. 2022. № 1. С. 12–29.

REFERENCES

1. Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again by eric topol. New York: Basic Books; 2019. 341 p.
2. Roberts M, Driggs D, Thorpe M, et al. Common pitfalls and recommendations for using machine learning to detect and prognosticate for COVID-19 using chest radiographs and CT scans. *Nat Mach Intell*. 2021;3(3):199–217. doi: 10.1038/s42256-021-00307-0
3. Wynants L, Van Calster B, Collins GS, et al. Prediction models for diagnosis and prognosis of COVID-19: systematic review and critical appraisal. *BMJ*. 2020;369:m1328. doi: 10.1136/bmj.m1328
4. Gusev AV, Morozov SP, Kutischev VA, Novitsky RE. Regulatory and legal regulation of software for healthcare created using artificial intelligence technologies in the Russian Federation. *Medical Technologies. Evaluation Selection*. 2021;(1):36–45. (In Russ). doi: 10.17116/medtech20214301136
5. Sharova DE, Zinchenko VV, Akhmad ES, et al. On the question of ethical aspects of the introduction of artificial intelligence systems in healthcare. *Digital Diagnostics*. 2021;2(3):356–368. (In Russ). doi: 10.17816/DD77446
6. Morozov SP, Zinchenko VV, Khoruzhaya AN, et al. Standardization of artificial intelligence in healthcare: Russia is becoming a leader. *Doctor and information technology*. 2021;(2):12–19. (In Russ). doi: 10.25881/18110193_2021_2_12
7. Morozov SP, Vladzimirsky AV, Sharova DE, et al. The first national standards of the Russian Federation for artificial intelligence systems in medicine. *Quality Management Med*. 2022;(1):58–62. (In Russ).
8. Komar PA, Dmitriev VS, Ledneva AM, et al. Rating of artificial intelligence startups: prospects for Russian healthcare. *Russ J Telemedicine E-Health*. 2021;7(3):32–41. (In Russ). doi: 10.29188/2712-9217-2021-7-3-32-41
9. Korsakov SN. The outline of a new method of research using machines comparing ideas. Transl. with French. Ed. by A.S. Mikhailov. Moscow: Moscow Institute of Engineering and Physics; 2009. 44 c.
10. Gavrilova TA, Khoroshevsky VF. Knowledge bases of intelligent systems: study guide. Saint Petersburg: Piter; 2000. 384 p.
11. Danilov VV, Proutski A, Karpovsky A, et al. Indirect supervision applied to COVID-19 and pneumonia classification. *Informatics Medicine Unlocked*. 2022;28:100835. doi: 10.1016/j.imu.2021.100835
12. Mohammadi R, Salehi M, Ghaffari H, et al. Transfer learning-based automatic detection of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from chest X-ray images. *J Biomed Phys Eng*. 2020;10(5) 559–568. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.2008-1153
13. Neroev VV, Bragin AA, Zaitseva OV. Development of a prototype service for the diagnosis of diabetic retinopathy from fundus images using artificial intelligence methods. *National Healthcare*. 2021;2(2):64–72. (In Russ). doi: 10.47093/2713-069X.2021.2.2.64-7
14. Nevzorova VA, Brodskaya TA, Shakhgelyan KI, et al. Machine learning methods in predicting the risks of 5-year mortality (according to the ESSE-RF study in Primorsky Krai). *Cardiovascular Therapy Prevention*. 2022;21(1):2908. (In Russ). doi: 10.15829/1728-8800-2022-2908

- 15.** Gilyarevsky SR, Gavrilov DV, Gusev AV. The results of a retrospective analysis of records of electronic outpatient medical records of patients with chronic heart failure: the first Russian experience. *Russ J Cardiology*. 2021;26(5):4502. (In Russ). doi: 10.15829/1560-4071-2021-4502
- 16.** Karpov OE, Grubov VV, Maksimenko VA, et al. Noise amplification precedes extreme epileptic events on human EEG. *Physical Review*. 2021;103:022310. doi: 10.1103/PhysRevE.103.022310
- 17.** Kuchin AS, Grubov VV, Maksimenko VA, Utyashev NP. Automated workplace of an epileptologist with the possibility of automatic search for epilepsy attacks. *Doctor and information technology*. 2021;(3):62–73. (In Russ). doi: 1025881/18110193_2021_3_62

- 18.** Kuc A, Korchagin S, Maksimenko VA, et al. Combining statistical analysis and machine learning for eeg scalp topograms classification. *Frontiers Systems Neuroscience*. 2021;15:716897. doi: 10.3389/fnsys.2021.716897
- 19.** Hramov AE, Maksimenko VA, Pisarchik AN. Physical principles of brain-computer interfaces and their applications for rehabilitation, robotics and control of human brain states. *Physics Reports*. 2021;918:1–133. doi: 10.1016/j.physrep.2021.03.002
- 20.** Morozov SP, Vladzimirsky AV, Shulkin IM, et al. Investigation of the feasibility of using artificial intelligence technologies in radiation diagnostics. *Doctor and information technology*. 2022;(1):12–29. (In Russ).

AUTHORS' INFO

*** Aleksander V. Gusev**, Cand. Sci. (Tech);
address: 17, Nabereznaya Varkausa str., 185031,
Petrozavodsk, Karelia, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7380-8460>;
eLibrary SPIN: 9160-7024; e-mail: agusev@webiomed.ai

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

Dariya E. Sharova;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>;
eLibrary SPIN: 1811-7595; e-mail: d.sharova@npcmr.ru

Kirill M. Arzamasov;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7786-0349>;
eLibrary SPIN: 3160-8062; e-mail: k.arzamasov@npcmr.ru

Aleksander E. Khramov;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2787-2530>;
eLibrary SPIN: 7357-7556; e-mail: a.hramov@innopolis.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Гусев Александр Владимирович**, к.т.н.;
адрес: Россия, 185031, Республика Карелия, Петрозаводск,
набережная Варкауса, д. 17;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7380-8460>;
eLibrary SPIN: 9160-7024; e-mail: agusev@webiomed.ai

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

Шарова Дарья Евгеньевна;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>;
eLibrary SPIN: 1811-7595; e-mail: d.sharova@npcmr.ru

Арзамасов Кирилл Михайлович;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7786-0349>;
eLibrary SPIN: 3160-8062; e-mail: k.arzamasov@npcmr.ru

Храмов Александр Евгеньевич;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2787-2530>;
eLibrary SPIN: 7357-7556; e-mail: a.hramov@innopolis.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

Саркопения: современные подходы к решению диагностических задач

А.К. Сморгочкова, А.В. Петрайкин, Д.С. Семёнов, Д.Е. Шарова

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

АННОТАЦИЯ

Саркопения является относительно новым диагнозом для медицинской статистики и системы здравоохранения, и тем не менее представляет социальное и экономическое бремя для системы здравоохранения из-за большого количества возможных неблагоприятных исходов, таких как повышение риска падений, физическая инвалидизация, увеличение времени пребывания в стационаре и увеличение смертности.

Несмотря на то, что узкоспециализированного медикаментозного лечения для саркопии не существует, профилактика и своевременное немедикаментозное лечение помогут снизить риск потенциальных неблагоприятных последствий.

Для установки диагноза саркопии необходимо подтверждение снижения не только мышечной силы, но и мышечной массы. Инструментальная диагностика включает в себя такие методы, как двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия и биоимпедансометрия. Дополнением к этим методам могут быть алгоритмы искусственного интеллекта для автоматической сегментации мышечной и жировой ткани на компьютерно-томографических и магнитно-резонансных изображениях с последующим расчётом скелетно-мышечного индекса на уровне L3 позвонка. Такое программное обеспечение при его использовании в структурах, подобных Единому радиологическому информационному сервису Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы, открывает возможности для оппортунистического скрининга. Тем не менее общепризнанных количественных значений L3 скелетно-мышечного индекса для компьютерно-томографической и магнитно-резонансной диагностики саркопии пока не существует, несмотря на признание данных методик золотым стандартом Европейской рабочей группой по саркопии у пожилых людей. В дополнение к этому существует проблема унификации термина «скелетно-мышечный индекс».

При решении указанных проблем с помощью дальнейших популяционных исследований станет возможным получение новой методики инструментальной диагностики саркопии с последующим её применением для скрининга данного патологического состояния.

Ключевые слова: саркопения; старческая астения; искусственный интеллект; оппортунистический скрининг.

Как цитировать

Сморгочкова А.К., Петрайкин А.В., Семёнов Д.С., Шарова Д.Е. Саркопения: современные подходы к решению диагностических задач // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 3. С. 196–211. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

Sarcopenia: modern approaches to solving diagnosis problems

Anastasia K. Smorchkova, Alexey V. Petraikin, Dmitry S. Semenov, Daria E. Sharova

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Although sarcopenia is a relatively new diagnosis for medical statistics and the healthcare system, it represents a social and economic burden on the healthcare due to the large number of possible adverse outcomes such as increased risk of falls, physical disability, longer hospital stays, and increased mortality. No specialized medical treatment is available for sarcopenia; however, prevention and timely nonpharmacological treatment can reduce the risk of potential adverse effects. To establish the diagnosis of sarcopenia, it is necessary to confirm the decrease in not only muscle strength but also muscle mass. Instrumental diagnostics includes methods such as dual-energy X-ray absorptiometry and bioimpedance analysis. These methods can be supplemented by artificial intelligence algorithms for the automatic segmentation of muscle and fat tissue on computed tomography and magnetic resonance images, followed by calculation of the skeletal muscle index at the level of the L3 vertebra (L3SMI). Such software, when used in systems such as the Unified Radiological Information Service of the Unified Medical Information and Analytical System of Moscow, opens up opportunities for opportunistic screening. However, despite the recognition of CT and MRI as the “gold standard” by the European Working Group on Sarcopenia in Older People, there are no generally accepted L3SMI cut-off values for CT and MR diagnostics of sarcopenia. Furthermore, there is the problem of unifying the term “skeletal muscle index.” If these problems could be solved through further population studies, it will be possible to obtain a new method for the instrumental diagnosis of sarcopenia with its subsequent use for opportunistic screening.

Keywords: sarcopenia; frailty; artificial intelligence; mass screening.

To cite this article

Smorchkova AK, Petraikin AV, Semenov DS, Sharova DE. Sarcopenia: modern approaches to solving diagnosis problems. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):196–211. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

Received: 31.08.2022

Accepted: 19.09.2022

Published: 27.09.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

肌肉减少症：解决诊断问题的现代方法。

Anastasia K. Smorchkova, Alexey V. Petraikin, Dmitry S. Semenov, Daria E. Sharova

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

概要

肌肉减少症是医学统计和医疗保健系统的一个相对较新的诊断。然而，由于大量可能的不良后果，例如跌倒风险增加、残疾、住院时间延长和死亡率增加，它对医疗体系造成了社会和经济负担。

虽然肌肉减少症没有高度专业化的药物治疗法，但预防和及时的非药物治疗可以降低潜在不良反应的风险。

诊断肌肉减少症不仅需要确认肌力下降，还需要确认肌肉质量下降。仪器诊断包括双能X光吸收测量（DXA）和生物阻抗测定法（BIA）等方法。这些方法可以辅以人工智能（AI）算法，用于在计算机断层扫描和磁共振图像上自动分割肌肉和脂肪组织，然后计算L3椎骨水平的肌肉骨骼指数。此类软件在莫斯科市统一医疗信息和分析系统（ERIS EMIAS）统一放射信息服务等系统中使用时，为机会性筛查提供了机会。然而，尽管欧洲老年人肌肉减少症工作组将CT和MRI技术认定为“金标准”，但仍然没有公认的用于诊断肌肉减少症的CT和MR定量L3介质值。除此之外，还有统一术语“肌肉骨骼指数”的问题。

如果这些问题通过进一步的人群研究得到解决，将有可能获得一种用于肌肉减少症的仪器诊断的新方法，并随后将其用于筛查这种疾病。

关键词：肌肉减少症；老年虚弱；人工智能；机会性筛查。

To cite this article

Smorchkova AK, Petraikin AV, Semenov DS, Sharova DE. 肌肉减少症：解决诊断问题的现代方法。 *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):196–211. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

收到: 31.08.2022

接受: 19.09.2022

发布日期: 27.09.2022

绪论

目前越来越关注与人类身体组成的普遍变化有关的系统性疾病和病症，其中包括由于人口老化。肌肉减少症就是这样的一种病症（sarcopenia，来自希腊语sarx--肌肉、penia--短缺）。这种病症是老年衰弱综合征的一部分，即“衰弱”（Frailty syndrome）。

肌肉减少症的第一个工作定义发表于2010年；2016年为ICD-10定义的肌肉疏松症代码也保留在ICD-11中。这样一来这是医学统计和卫生体系中的一种比较新的诊断。

肌肉减少症是指一种进行性的全身骨骼肌肉疾病，与跌倒、骨折、身体残疾和死亡等不良后果的风险有关[1]。在老年病学中肌肉减少症是指原发性肌肉减少症，就是一种在没有其他原因的情况下，由于老化而导致的骨骼肌力量、质量和功能的逐渐普遍丧失[2]。

肌肉减少症会导致很多负面的后果和结果，以及对身体的不良影响，如提高跌倒风险提高导致骨折[3]、身体残疾[4]。肌肉减少症也与住院时间以及很多疾病的后果更加严重有关[5]。

考虑到对经济与保健事业的潜在负担，及时诊断肌肉减少症和预防其后果是一个很重要的问题。

我们的综述目的是评估在一个大都市地区（莫斯科）范围内肌肉减少症的真正意义，以及确定优化诊断这种疾病的方法。

肌肉减少症： 优化病理状况的诊断方法

流行病学

原发性肌肉减少症与老化有关，所以老年患者最易得病。在文献中具有信息表明从50岁就有肌肉功能的早期丧失[6]，但是在临床上平时研究60岁以上的年龄组。

根据一系列综述[7, 8]在一般人群中肌肉减少症的患病率为10%（60岁以上的人）。除了性别和社会组之外【独立生活的老年人（community-dwelling）；在养老院住的老年人和住在特殊医院的老年人】，普及性差异取决于诊断法官法：测试、生物电阻抗法、双能x线骨密度测定法、CT扫描、核磁共振成像。

在编制该文章时，在俄罗斯没有进行大样本的流行病学调查研究。有一部著作[9]，其包括230个65岁以上的非住院患者，根据欧洲的老年人肌肉减少症工作组（European Working Group on Sarcopenia in Older People, EWGSOP）和国际的肌肉减少症工作组（International Working

Group on Sarcopenia, IWGS）的标准，肌肉减少症的普及性评估为30%，这与上述的综述信息不一致。差异可能的原因是样本量小及其不平衡（95.6%为女性），所以要确认数据。

肌肉减少症对生活质量和医疗体系的影响

肌肉减少症大大降低了生活质量，导致身体活动被迫受到限制[10]，这进一步加重了病人的情况。在健康和患有急性、慢性疾病和癌症的人群中都观察到了负面的影响[11, 12]。用Short Form-36（SF-36）¹和EuroQoL（EQ-5D）²公用调查表评估患者的生活质量，以及用有效的专门的SarQoL（Sarcopenia and Quality of Life）[13-16]调查表，也有俄语版本[17]。根据这些调查表评估生活质量时使用百分制。SF-36提出了一个从0到100的数值，其中0对应的是最差的，100对应的是最好的生活质量。在EQ-5D中，最终得分也是用百分制表示，但0分对应最差的健康状况，100分对应最好的健康状况。

除了降低生活质量，肌肉减少症导致医疗体系的巨大经济费用。有研究描述了患有和不患有肌肉减少症的病人的费用支出（总住院费用的中位数，每人3个月的平均医疗费用，90天的术后费用）。在个别情况下肌肉减少症患者的总住院费用平均每人可增加14,322美元[18]。要考虑到，现有的研究主要考虑与进行手术（如癌症外科）有关的住院治疗费用，使用不同的诊断方法，以及没有统一的边界值，以便确定肌肉减少症的诊断[19]。为了更具体的评估医疗体系对肌肉减少症患者的总费用，必须进一步的研究，并使用更多同质化的样本并辅以其他临床情况（尤其是门诊费用分析）。

肌肉减少症的医疗

目前没有统一的、高度具体的肌肉减少症的疗法。但是病理生理学的理解允许选择可能的疗法。具有肌肉减少症的药物的和非药物的疗法。在非药物的疗法中最有效的是体能锻炼，尤其是力量练习[20]。目前它们是最便宜的长期预防肌肉减少症的方式，也是支持和改善整体身体健康的方式[21]。为了改善和巩固肌肉质量和力量增长使用食物添加剂，如蛋白质（包括乳清蛋白）、抗氧化剂和长链多不饱和脂肪酸[22]。在使用肌肉减少症的非药物治疗中，建议从体能锻炼开始，因为本方法比饮食调整的证据更多[23]。药物治疗中使用以下的药物：维生素D[24]、选择性雄激素受体调节剂、肌肽拮抗剂、激活素[25]，但是目前其有效需要通过大量的试验方法进行进一步确认。

¹ 36-Item Short Form Survey Instrument (SF-36) [电子资源]。存取方式：https://www.rand.org/health-care/surveys_tools/mos/36-item-short-form/survey-instrument.html。访问日期：2022年6月6日

² EuroQol Research Foundation. EQ-5D-5L User Guide, 2019 [电子资源]。存取方式：<https://euroqol.org/publications/user-guides/>。访问日期：2022年6月6日

肌肉减少症的诊断

目前在临床实践中肌肉减少症的诊断经常基于普通的既往史信息，就是主诉疾病特有的症状和体征跌倒、感觉虚弱、行走速度慢、从座位上站起来困难[26]。EWGSOP推荐使用SARC-F (Strength, Assistance with walking, Rising from a chair, Climbing stairs, and Falls) 问卷进行客观诊断并作为筛查工具[27]，考虑到了行走、从椅子和楼梯上爬起以及跌倒时的力量以及是否需要帮助。但是由于其敏感性(25; 31.6; 50%)和特异性(81.4; 82.4; 81.8%)中等，根据EWGSOP、美国国立卫生研究院基金会(FNIH)和国际肌肉疏松症工作组(International Working Group on Sarcopenia, IWGS)的诊断标准[30]，调查表在大多数情况下只能诊断严重的肌肉减少症。

在俄罗斯肌肉减少症不是作为一个单独的病名来诊断的，而是作为年性肌无力综合征的一个组成部分；用于初级筛查使用“岁数不是障碍”的表格，为了进一步的诊断确定使用综合老年病学评估[2]。

为了正确的诊断肌肉减少症必须使用仪器诊断手法。必须测量两个参数，就是肌肉力量(包括劳动能力)和肌肉量[1]。肌肉力量低意味着有可能具有肌肉减少症；为了确定诊断要使用评估肌肉质量的方法[1]。

肌肉力量最简单的测量方法是握力计来评估握力，并进一步比较得到的数据和人群中的参考值[1]。握力与总的肌肉力量有很好的相关性，但是为了得到更加准确的结果要考虑不同的肌肉群[29]。腕力测量法中低肌力的规范数据是由性别和体重指数(BMI)决定的：因此，对于BMI为24.1至28的男性，阈值是<30公斤的抖动力量，对于BMI为23.1至26的女性，则是<17.3公斤[2]。为了评估劳动能力使用从椅子上站起来的测试[2]，也可以使用“起身行走试验”、行走速度试验，这些方法列入简易机体功能评估法中(Short Physical Performance Battery, SPPB)。行走速度试验时病人要按平常速度行走4米，同时记录下走完这段距离所需的时间，并计算出速度(单位：米/秒)[30]。根据EWGSOP2(2019年)的建议，严重肌肉减少症的阈值是行走速度 ≤ 0.8 米/秒。“起身行走试验”时病人要从椅子上站起来，走3米到一个标记处，转身，走回椅子上并在上面坐下[31]。根据EWGSOP2本试验的阈值是 ≥ 20 秒，为了用于诊断肌肉减少症。SPPB试验是综合的，并包括行走速度评估、平衡状态评估和从椅子上站起来的测试。在本试验最大的可能的结果是12分， ≤ 8 分是指身体功能差[32]。

为了评估身体成分和肌肉质量使用双能x线骨密度测定法(dual energy X-ray absorptiometry)和生物电阻抗、生物阻抗分析法(bioelectrical impedance analysis)。为了评估肌肉组织重量及其质量，根据EWGSOP，金本位制是CT扫描和核磁共振成像[1]。EWGSOP建

议在L3椎骨水平上进行CT扫描检查、测量大腿中间三分之一的肌肉组织，以及用超声波评估肌肉组织[33]。肌肉减少症的实验室评估方法包括肌酸稀释试验、一系列神经肌肉生物标志物、非特异性炎症反应评估、荷尔蒙、合成代谢因素[1]。

肌肉减少症的放射诊断方法

肌肉减少症的放射诊断基于肌肉组织体积减少和其质量恶化的评估。双能量X射线吸收测定法是最常用的方法，因为它的辐射量低，而且有可能获得可重复的结果，尽管如此，它也有其缺点和限制：该研究涉及测量瘦体质量(lean body mass, LBM)而不是孤立的肌肉质量，这在液体摄入量增加和/或有大量纤维组织的患者中可能会得到不正确的结果；由于图像的投影类型，它也不可能评估肌肉质量[32]；该方法的一个局限性是需要单个密度计上进行动态研究并定期校准[34]；不可能进行机会性研究。

EWGSOP将CT扫描和核磁共振成像称无创评估肌肉组织的黄金标准，但是这些方法由于试验/设备贵、缺少明确的诊断阈值以及需要分割来识别肌肉和其他解剖结构等原因而没有被广泛使用[1, 32]。与双能X射线吸收测量相比，进行CT扫描和核磁共振成像时不能扫描全身，因为受剂量(对CT扫描)或者时间限制(对核磁共振成像)，所以只能扫描一个身体部分。

目前CT评估肌肉质量的最确实和有效的方法之一是在L3椎体水平测量轴向切片[35]。在这个身体部分肌肉量和脂肪组织比例与整个身体的比例有很好的相关性[36]。该解剖标志可用于评估患者的肌肉减少症，也不考虑到身高体重指数，腹部实质器官、骨骼结构在这个切片上的表现最少，分割肌肉和脂肪组织的难度较小[37, 38]。

肌肉减少症肥胖症的诊断

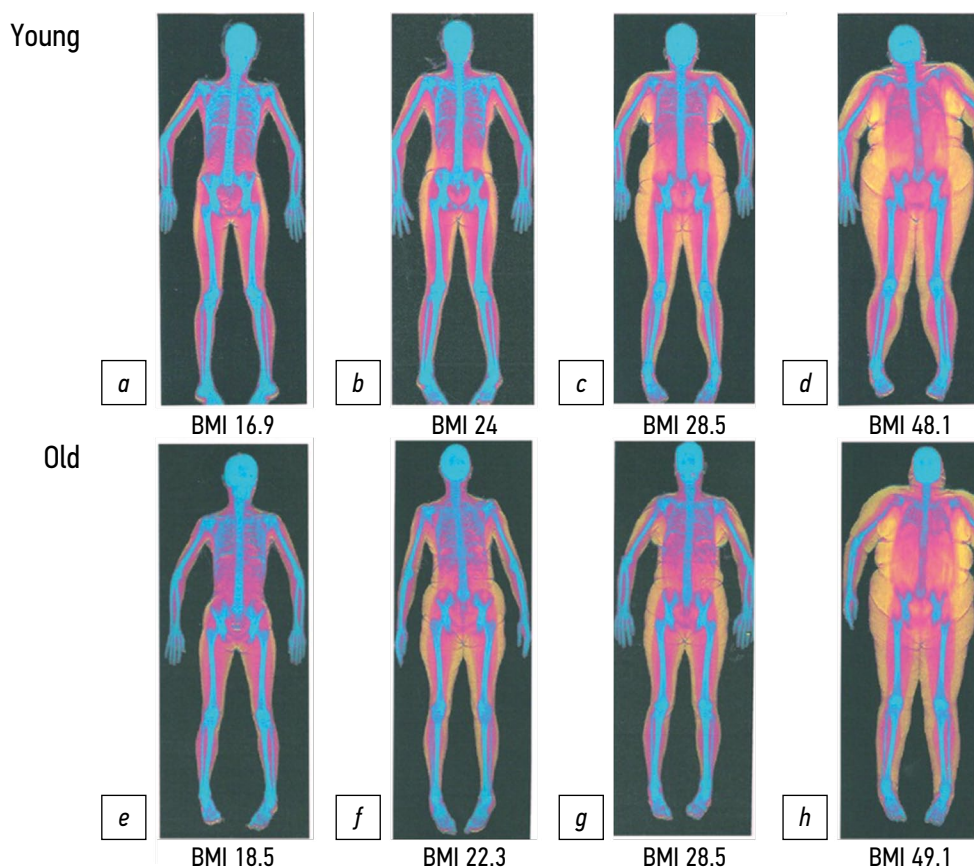
肌肉减少症最严重的并发症之一是肌肉疏松性肥胖症。经常(但不一定)肌肉减少症患者的肌肉质量损失伴随着脂肪组织的增加。这种过程直接影响到肌肉组织的质量，从而影响到身体的表现[39]。

肌肉减少症像肥胖一样，以亚急性慢性促炎症为特征，对肌肉组织和脂肪组织的功能有负面影响。在肌肉减少症肥胖症中还发现了肌肉与脂肪代谢的关系[41]。因此，有这种合并病症会提高不良后果的风险[42]。

在诊断肌肉和脂肪组织时使用的诊断方法和可以使用于肌肉减少症肥胖症：双能x线骨密度测定法很有效的使用于确定身体成分和组织质量比(图1)，CT扫描和核磁共振成像可以直观地看到内脏器官和皮下脂肪组织过多的面积和分布模式。

肌肉减少症定量诊断标准

为了诊断肌肉量的降低经常使用两种参数，就是骨骼肌量(skeletal muscle mass)和阑尾骨



***图1**年轻（a-d）和老年（e-h）妇女不同身体质量指数（BMI）值的双能量X射线吸收仪（根据D. J. Tomlinson等人[43]）获得的诊断图像实例。用蓝色的标记骨组织，用红色的标记无脂肪的肌组织，用黄色的标记脂肪组织。

*可以在Creative Commons Attribution 3.0 International License (CC BY 3.0), Physiological Reports上找到。

骨骼肌量（ASM；appendicular skeletal muscle mass）。ASM是通过双能X射线吸收仪确定的（全身扫描，上肢和下肢——没有实质器官的身体部分；见图1），而骨骼肌质量是通过生物阻抗确定的。

骨骼肌质量参数（SMI；skeletal muscle index）作为导出参数。但是具有术语统一化的问题，因为不同的作者对同一概念的肌肉骨骼指数使用不同的公式[44]。有以下的根据不同参数调整的方法：ASM对身高（ASM/m²），ASM对体重（ASM/kg）和AMM对身高体重指数（AMM/身高体重指数）。每种方法有自己的缺点：例如，身高调整SMI（ASM/m²）与女性气喘病的相关性不太可靠，而且没有考虑到脂肪组织的分布[45]。有信息，使用基于身高体重指数的SMI比基于身高的SMI对严重的肌肉减少症的检出率高两倍[44]。唯一有普遍接受的用于确定肌肉减少症诊断的边界值是AMM与身高的比率（ASM/m²）。它们在欧洲（EWGSOP）和亚洲（Asian Working Group on Sarcopenia, AWGS）的肌肉减少症工作组的协议中确定。这些信息以及根据肌肉力量确定诊断的数量标准请见表1和表2。其他SMI方法使用别的调整参数（身高体重指数，重量），缺少通用边界值。

用CT和MRI进行死后仪器诊断的一种变体是用公式计算L3SMI， $L3SMI = \frac{S}{h^2}$ ，其中L3SMI是L3椎体水平的骨骼-肌肉指数（cm²/m）；S是切片中捕获的所有肌肉群的面积（cm²）；h是人的高度（m）。

在图2显示了通过人工智能算法测量L3水平的切片中夹有的肌肉组织、皮下脂肪组织和内脏脂肪组织面积的变体。

虽然使用CT扫描的应用有前途，并被接受为评估肌肉减少症的金标准[1]，但至今还没有该指数的通用边界值[44]。

为了根据L3水平的SMI诊断肌肉减少症使用不同的标准。对男性的肌肉减少症边界值为<55 cm²/m²，对女性的为<39 cm²/m²[47]，如果男生的身高体重指数>25为<53 cm²/m²，男生的身高体重指数<25为<43 cm²/m²，对女生不管身高体重指数为<41 cm²/m²[48]。统一化的缺乏再次强调必须进一步的人群研究，为了确定准确的SMI L3值。

肌肉减少症放射学诊断的新方法

使用CT可靠地评估肌肉质量损失程度的问题是需要对一系列CT图像中的肌肉组织进行人工分

表1欧洲的老年人肌肉减少症工作组（EWGSOP2）的协议中确定的诊断肌肉减少症的数量边界值。

研究方法	男性的边界值	女性的边界值
EWGSOP2对肌力低下的数量标准		
握力	<27 kg	<16 kg
从椅子上站起来的测试	>15秒，5次从椅子上站起来	
EWGSOP2对肌肉量低下的数量标准		
阑尾骨骼肌块 (ASM)	<20 kg	<15 kg
ASM/身高 ² , kg/m ²	<7.0 kg/m ²	<5.5 kg/m ²

表2亚洲的肌肉减少症工作组（AWGS）的协议中确定的诊断肌肉减少症的数量边界值。

研究方法	男性的边界值	女性的边界值
AWGS对肌力低下的数量标准		
握力	<28 kg	<18 kg
从椅子上站起来的测试	>12秒，5次从椅子上站起来	
AWGS对肌肉量低下的数量标准		
ASM/身高 ² , kg/m ²	<7.0 kg/m ²	<5.4 kg/m ²

割，这在病人流量大的情况下是很困难的。然而，目前使用掩膜的半自动形态测量计算机软件在放射学肌肉密度方面的分割（肌肉通常在-29到+150豪斯菲尔德单位的范围内，脂肪在-30到-190豪斯菲尔德单位的范围内）还没有被普遍使用。这样的软件例子是Slice-0-Matic[49]， AsanJ-Morphometry[50]和3D Slicer[51]。

随着人工智能技术在医学影像领域的广泛到来，特别是机器学习、神经网络和深度学习，现在有可能创造出能在CT扫描和核磁共振成像图像上更准确地分割不同结构的软件，而且还具有自学能力。尽管开发和使用该技术存在挑战，但文献中有相关科学论文涉及机器学习的分割算法的开发和验证，特别是癌症患者腹部CT扫描的骨骼肌分割[52-55]。用于训练模型的最流行的架构是U-Net[56]，其首先开发目的是在细胞生物学进行显象，但是后来开始在放射诊断有效的使用。第二个最常用的架构是全连接神经网络（FCNN；Fully Connected Neural Network）[57]，

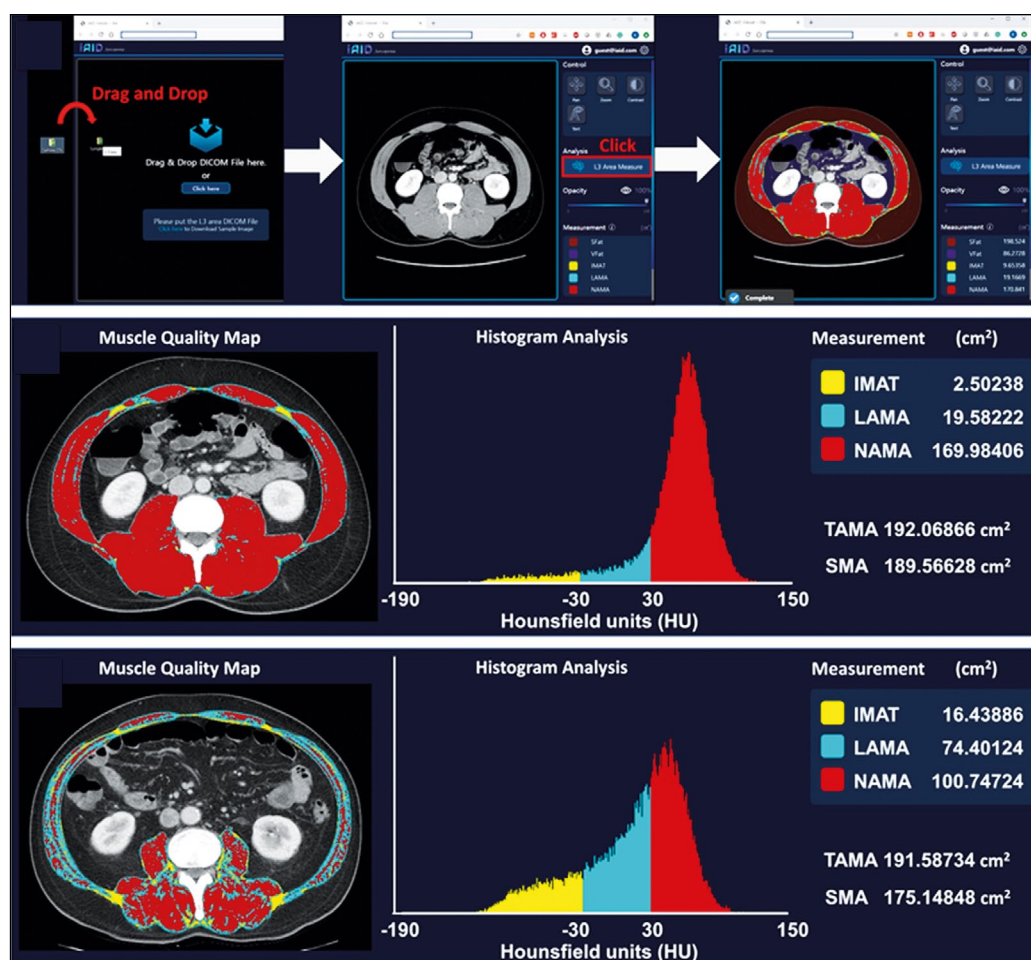
它是通用的，并最初是为语义分割开发的。主要的用于评估神经网络分割器性能的参数是有骰子系数，它显示了一个数据集与另一个数据集的一致性百分比，在这种情况下，预测的标记与神经网络开发者制定的标准的一致性。目前在文献中已经具有骰子系数超过0.97的算法例子[58]。

越来越多的研究人员正在为几个不同的子任务创建基于几个架构的复杂模型，如J. Ha等人[46]：事实上，现成的软件使用了两种架构，YOLOv3和FCNN，其中第一个架构执行搜索特定对象（在本例中为L3椎体）的任务，而第二个架构本身执行分割。深度学习的使用也为创造显示骨骼和肌肉组织质量的地图提供了可能性，即以肌肉内脂肪的数量来显示。例子是D.W. Kim等人的文章[59]，著者基于之前创建的FCNN架构的算法创建了一个网络应用，用这个一个网络应用可以从L3椎体水平的CT切片中创建标记图，清楚地显示肌肉组织与肌肉内脂肪的比例（图3）。目前在工作中主要缺点是缺少相关的边界值或专门的指数，为了客观的，而不是



***图2**使用J. Ha等人[46]的L3SEG-net AI算法在L3水平上对测量肌组织的、皮下脂肪组织和内脏脂肪组织进行切片的面积测量实例（单位：cm²）。自左而右用红色标记皮下脂肪组织，用紫色标记骨骼肌肉量，用绿色标记内脏脂肪组织。

*可以在Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), Scientific Reports上找到。



*图3用网络的自动工具获得的肌肉组织质量图（根据D. W. Kim等人[59]）。IMAT：肌间脂肪组织区；LAMA：低密度肌肉组织区；NAMA：正常密度肌肉组织区；SMA：骨骼肌区；TAMA：腹部的肌肉组织一般区。

*可以在Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), JMIR Medical Informatics上找到。

主观的评估肌肉组织质量。但是，鉴于评估肌肉组织的强度和数量以及质量对完整诊断和预后肌肉减少症过程的重要性，这是一个相当有前景的未来研究领域。

值得注意的是，基于深度学习技术的专业软件的出现，不仅使临床和实际工作中明确了对肌肉疏松症的诊断，而且也为此类疾病的机会性筛查提供了可能性。

机会性筛查的可能性

正如我们之前所说，计算L3 SMI指数并在使用放射学技术的仪器诊断中获得其特异性，使得使用自动分割软件进行机会主义CT筛查成为可能。该解剖标志很有意思因为它经常出现在CT检查中，这部分是由于护理标准，例如癌症，需要CT扫描来寻找远处的转移灶。作为一种认可，L3SMI的计算在癌症患者中经常可以得到，并被用来评估癌症恶病质及其与疾病结果的关系[47, 48, 60]。P. M. Graffy等人的发表的作品[61]可以作为肌肉组织分割算

法在大型回顾性筛查成功的例子。作者使用了2004年4月至2016年12月期间进行无造影剂增强的腹部CT的8037名临床症状不明显的患者的样本。考虑到样本大多数是健康的人，除了验证该算法外，作者还获得了健康人群的平均值。本研究的限制是只是使用了一家医院的CT图像，而且该算法在有金属结构伪影、运动伪影的CT图像和低剂量扫描方案获得的CT图像上表现不佳。最后一个限制任何分割算法所固有的。但是虽然有缺点，不能高估机会性筛查的重要优点之一，就是不必进行补充的X射线检验，因此减少了病人接受的假设X射线剂量。

在莫斯科统一医疗信息和分析系统（ERIS EMIAS）的统一放射学信息服务中成功实施机会性筛查的一个例子是对骨质疏松症[62]和其他一些疾病和状况（主动脉瘤、肺动脉高压的迹象与肺动脉干径的测定、肺癌、中风的迹象等）的机会性筛查项目。使用计算机视觉技术分析医疗图像并进一步应用于莫斯科市的医疗保健系统进行了实验³[63]。

³ 诊断与远程医疗中心[在线]。工智能服务目录放射诊断的工智能服务。存取方式：https://mosmed.ai/service_catalog/。访问日期：2022年8月26日

通过与已经实施的解决方案进行类比，并考虑到国外同事的经验，我们建议一种方案，即组织对肌肉减少症的机会性筛查（包括回顾性筛查），随后在ERIS EMIAS中实施。可以将U-Net++架构作为一个原型，用于开发L3椎体水平CT图像上肌肉和脂肪组织的自动分割工具[64]。该方法的优点是神经网络的骰子系数值很高，包括训练样本量很小（皮下脂肪0.9706，肌肉0.9312，肌肉内脂肪0.6465，内脏脂肪0.9609；训练样本量15名患者）。这个方向的前景是可以快速评估肌肉组织的数量，完善诊断肌肉减少症的边界值，从而及时发现病理状况，预测和减少各种侵入性干预的不良后果，防止这类病人的生活质量逐渐下降，减少卫生系统资源的成本。

结论

肌肉减少症是一种对医疗体系造成社会和经济负担的疾病。虽然肌肉减少症没有高度专业化的药物治疗，但预防和及时的非药物治疗，并进行力量锻炼，可以降低潜在不良反应的风险。必须及时诊断肌肉力量和肌肉量的减少。在CT和MRT图像上自动分割肌肉和脂肪组织并随后计算L3SMI的人工智能算法，可以很好地补充已经使用的仪器诊断方法（双能X射线吸收仪和生物阻抗成像）。

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cruz-Jentoft A.J., Bahat G., Bauer J., et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis // *Age and Ageing*. 2018. Vol. 48, N 1. P. 16–31. doi: 10.1093/ageing/afy169
2. Ткачева О.Н., Котовская Ю.В., Рунихина Н.К., и др. Клинические рекомендации «Старческая астения» // *Российский журнал гериатрической медицины*. 2020. № 1. С. 11–46. doi: 10.37586/2686-8636-1-2020-11-46
3. Bischoff-Ferrari H.A., Orav J.E., Kanis J.A., et al. Comparative performance of current definitions of sarcopenia against the prospective incidence of falls among community-dwelling seniors age 65 and older // *Osteoporosis Int*. 2015. Vol. 26, N 12. P. 2793–2802. doi: 10.1007/s00198-015-3194-y
4. da Silva Alexandre T., de Oliveira Duarte Y.A., Ferreira Santos J.L., et al. Sarcopenia according to the European Working Group on sarcopenia in older people (EWGSOP) versus dynapenia as a risk factor for disability in the elderly // *J Nutr Health Aging*. 2014. Vol. 18, N 5. P. 547–553. doi: 10.1007/s12603-014-0465-9
5. Sousa A.S., Guerra R.S., Fonseca I., et al. Sarcopenia and length of hospital stay // *Eur J Clin Nutr*. 2015. Vol. 70, N 5. P. 595–601. doi: 10.1038/ejcn.2015.207
6. Faulkner J.A., Larkin L.M., Claflin D.R., Brooks S.V. Age-related changes in the structure and function of skeletal muscles // *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2007. Vol. 34, N 11. P. 1091–1096. doi: 10.1111/j.1440-1681.2007.04752.x
7. Shafiee G., Keshtkar A., Soltani A., et al. Prevalence of sarcopenia in the world: a systematic review and meta-analysis of general population studies // *J Diabetes Metab Disord*. 2017. Vol. 16. P. 21. doi: 10.1186/s40200-017-0302-x
8. Petermann-Rocha F., Balntzi V., Gray S.R., et al. Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis // *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2021. Vol. 13, N 1. P. 86–99. doi: 10.1002/jcsm.12783
9. Сафонова Ю.А., Зоткин Е.Г. Саркопения у пациенток старшего возраста с остеоартритом крупных суставов // *Научно-практическая ревматология*. 2019. Т. 57, № 2. С. 154–159. doi: 10.14412/1995-4484-2019-154-159
10. Tsekoura M., Kastrinis A., Katsoulaki M., et al. Sarcopenia and its impact on quality of life // *Adv Exp Med Biol*. 2017. Vol. 987. P. 213–218. doi: 10.1007/978-3-319-57379-3_19
11. Sepúlveda-Loyola W., Osadnik C., Phu S., et al. Diagnosis, prevalence, and clinical impact of SARCOPENIA IN COPD: a systematic review and meta-analysis // *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2020. Vol. 11, N 5. P. 1164–1176. doi: 10.1002/jcsm.12600
12. Nipp R.D., Fuchs G., El-Jawahri A., et al. Sarcopenia is associated with quality of life and depression in patients with advanced cancer // *Oncologist*. 2017. Vol. 23, N 1. P. 97–104. doi: 10.1634/theoncologist.2017-0255

。在ERIS EMIAS系统使用类似的软件，提供进行机会性筛查的可能性。

虽然EWGSOP将CT扫描和核磁共振成像视为金本位制，目前还没有公认的L3SMI定量值，以便使用CT扫描和MRI诊断肌肉减少症。除此之外，还有统一术语“肌肉骨骼指数”的问题。如果这些问题通过进一步的人群研究得到解决，将有可能获得一种用于肌肉减少症的仪器诊断的新方法，并随后将其用于筛查这种疾病。

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a group of authors as part of research (No. in the Unified State Information System for Accounting of Research, Development, and Technological Works (EGISU): AAAA-A21-121012290079-2) under the Program of the Moscow Healthcare Department “Scientific Support of the Capital's Healthcare” 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. A.S. Smorchkova — data sources collection and analysis, manuscript preparation; A.V. Petraikin — manuscript preparation, manuscript revision; D.S. Semenov, D.E. Sharova — review concept, manuscript preparation, final editing.

13. Beaudart C., Biver E., Reginster J.Y., et al. Development of a self-administrated quality of life questionnaire for sarcopenia in elderly subjects: the SarQoL // *Age Ageing*. 2015. Vol. 44, N 6. P. 960–966. doi: 10.1093/ageing/afv133
14. Geerinck A., Bruyère O., Locquet M., et al. Evaluation of the responsiveness of the SARQOL® questionnaire, a patient-reported outcome measure specific to sarcopenia // *Adv Ther*. 2018. Vol. 35, N 11. P. 1842–1858. doi: 10.1007/s12325-018-0820-z
15. Geerinck A., Locquet M., Bruyère O., et al. Evaluating quality of life in frailty: applicability and clinimetric properties of the SARQOL questionnaire // *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2021. Vol. 12, N 2. P. 319–330. doi: 10.1002/jcsm.12687
16. Witham M.D., Heslop P., Dodds R.M., et al. Performance of the SARQOL quality of life tool in a UK population of older people with probable sarcopenia and implications for use in clinical trials: findings from the SARCNET registry // *BMC Geriatrics*. 2022. Vol. 22, N 1. P. 368. doi: 10.1186/s12877-022-03077-5
17. Сафонова Ю.А., Лесняк О.М., Баранова И.А., и др. Русский перевод и валидация SarQoL — опросника качества жизни для пациентов с саркопенией // *Научно-практическая ревматология*. 2019. Т. 57, № 1. С. 38–45.
18. Gani F., Buettner S., Margonis G.A., et al. Sarcopenia predicts costs among patients undergoing major abdominal operations // *Surgery*. 2016. Vol. 160, N 5. P. 1162–1171. doi: 10.1016/j.surg.2016.05.002
19. Bruyère O., Beaudart C., Ethgen O., et al. The health economics burden of sarcopenia: a systematic review // *Maturitas*. 2019. Vol. 119. P. 61–69. doi: 10.1016/j.maturitas.2018.11.003
20. Peterson M.D., Rhea M.R., Sen A., Gordon P.M. Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis // *Ageing Res Rev*. 2010. Vol. 9, N 3. P. 226–237. doi: 10.1016/j.arr.2010.03.004
21. McKendry J., Currier B.S., Lim C., et al. Nutritional supplements to support resistance exercise in countering the sarcopenia of aging // *Nutrients*. 2020. Vol. 12, N 7. P. 2057. doi: 10.3390/nu12072057
22. Robinson S.M., Reginster J.Y., Rizzoli R., et al. Does nutrition play a role in the prevention and management of sarcopenia? // *Clin Nutr*. 2018. Vol. 37, N 4. P. 1121–1132. doi: 10.1016/j.clnu.2017.08.016
23. Lozano-Montoya I., Correa-Pérez A., Abrahá I., et al. Nonpharmacological interventions to treat physical frailty and sarcopenia in older patients: a systematic overview — the senator Project Ontop series // *Clin Interv Aging*. 2017. Vol. 12. P. 721–740. doi: 10.2147/CIAS132496
24. Lappe J.M., Binkley N. Vitamin D and Sarcopenia/Falls // *J Clin Densitometry*. 2015. Vol. 18, N 4. P. 478–482.
25. Rooks D., Roubenoff R. Development of pharmacotherapies for the treatment of sarcopenia // *J Frailty Aging*. 2019. P. 1–11. doi: 10.14283/jfa.2019.11
26. Morley J.E., Abbatecola A.M., Argiles J.M., et al. Sarcopenia with limited mobility: an international consensus // *J Am Med Dir Assoc*. 2011. Vol. 12, N 6. P. 403–409. doi: 10.1016/j.jamda.2011.04.014
27. Malmstrom T.K., Miller D.K., Simonsick E.M., et al. SARC-F: a symptom score to predict persons with sarcopenia at risk for poor functional outcomes // *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2015. Vol. 7, N 1. P. 28–36. doi: 10.1002/jcsm.12048
28. Bahat G., Yilmaz O., Kiliç C., et al. Performance of SARC-F in regard to sarcopenia definitions, muscle mass and functional measures // *J Nutr Health Aging*. 2018. Vol. 22, N 8. P. 898–903. doi: 10.1007/s12603-018-1067-8
29. Porto J.M., Nakaishi A.P., Cangussu-Oliveira L.M., et al. Relationship between grip strength and global muscle strength in community-dwelling older people // *Arch Gerontol Geriatr*. 2019. Vol. 82. P. 273–278. doi: 10.1016/j.archger.2019.03.005
30. Maggio M., Ceda G.P., Ticinesi A., et al. Instrumental and non-instrumental evaluation of 4-meter walking speed in older individuals // *PLoS One*. 2016. Vol. 11, N 4. P. e0153583. doi: 10.1371/journal.pone.0153583
31. Podsiadlo D., Richardson S. The timed “Up & go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons // *J Am Geriatr Soc*. 1991. Vol. 39, N 2. P. 142–148. doi: 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x
32. Beaudart C., McCloskey E., Bruyère O., et al. Sarcopenia in daily practice: assessment and management // *BMC Geriatrics*. 2016. Vol. 16, N 1. P. 170. doi: 10.1186/s12877-016-0349-4
33. Stringer H.J., Wilson D. The role of ultrasound as a diagnostic tool for sarcopenia // *J Frailty Aging*. 2018. Vol. 7, N 4. P. 258–261. doi: 10.14283/jfa.2018.24
34. Петрайкин А.В., Смолярчук М.Я., Петрайкин Ф.А., и др. Оценка точности денситометрических исследований. Применение фантома РСК ФК2 // *Травматология и ортопедия России*. 2019. Т. 25, № 3. С. 124–134. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-124-134
35. Shen W., Punyanitya M., Wang Z., et al. Total body skeletal muscle and adipose tissue volumes: estimation from a single abdominal cross-sectional image // *J Appl Physiol* (1985). 2004. Vol. 97, N 6. P. 2333–2338. doi: 10.1152/jappphysiol.00744.2004
36. Mourtzakis M., Prado C.M., Lieffers J.R., et al. A practical and precise approach to quantification of body composition in cancer patients using computed tomography images acquired during routine care // *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008. Vol. 33, N 5. P. 997–1006. doi: 10.1139/H08-075
37. Kim E.Y., Kim Y.S., Park I., et al. Prognostic significance of CT-determined sarcopenia in patients with small-cell lung cancer // *J Thorac Oncol*. 2015. Vol. 10, N 12. P. 1795–1799. doi: 10.1097/JTO.0000000000000690
38. Baracos V., Kazemi-Bajestani S.M. Clinical outcomes related to muscle mass in humans with cancer and catabolic illnesses // *Int J Biochem Cell Biol*. 2013. Vol. 45, N 10. P. 2302–2308. doi: 10.1016/j.biocel.2013.06.016
39. Franceschi C., Garagnani P., Morsiani C., et al. The continuum of aging and age-related diseases: common mechanisms but different rates // *Front Med (Lausanne)*. 2018. Vol. 5. P. 61. doi: 10.3389/fmed.2018.00061
40. Ferrucci L., Fabbri E. Inflammageing: chronic inflammation in ageing, cardiovascular disease, and frailty // *Nature Rev Cardiol*. 2018. Vol. 15, N 9. P. 505–522. doi: 10.1038/s41569-018-0064-2
41. Zamboni M., Rubele S., Rossi A.P. Sarcopenia and obesity // *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2019. Vol. 22, N 1. P. 13–19. doi: 10.1097/MCO.0000000000000519
42. Batsis J.A., Villareal D.T. Sarcopenic obesity in older adults: etiology, epidemiology and treatment strategies // *Nat Rev Endocrinol*. 2018. Vol. 14, N 9. P. 513–537. doi: 10.1038/s41574-018-0062-9

43. Tomlinson D.J., Erskine R.M., Winwood K., et al. Obesity decreases both whole muscle and fascicle strength in young females but only exacerbates the aging-related whole muscle level asthenia // *Physiol Rep.* 2014. Vol. 2, N 6. P. e12030. doi: 10.14814/phy2.12030
44. Kim K.M., Jang H.C., Lim S. Differences among skeletal muscle mass indices derived from height-, weight-, and body mass index-adjusted models in assessing sarcopenia // *Korean J Intern Med.* 2016. Vol. 31, N 4. P. 643–650. doi: 10.3904/kjim.2016.015
45. Newman A.B., Kupelian V., Visser M., et al. Sarcopenia: alternative definitions and associations with lower extremity function // *J Am Geriatr Soc.* 2003. Vol. 51, N 11. P. 1602–1609. doi: 10.1046/j.1532-5415.2003.51534.x
46. Ha J., Park T., Kim H.K., et al. Development of a fully automatic deep learning system for L3 selection and body composition assessment on computed tomography // *Sci Rep.* 2021. Vol. 11, N 1. P. 21656. doi: 10.1038/s41598-021-00161-5
47. Prado C.M., Lieffers J.R., McCargar L.J., et al. Prevalence and clinical implications of SARCOPENIC obesity in patients with solid tumours of the respiratory and gastrointestinal tracts: a population-based study // *Lancet Oncol.* 2008. Vol. 9, N 7. P. 629–635. doi: 10.1016/S1470-2045(08)70153-0
48. Martin L., Birdsell L., Macdonald N., et al. Cancer cachexia in the age of obesity: skeletal muscle depletion is a powerful prognostic factor, independent of body mass index // *J Clin Oncol.* 2013. Vol. 31, N 12. P. 1539–1547. doi: 10.1200/JCO.2012.45.2722
49. Popuri K., Cobzas D., Esfandiari N., et al. Body composition assessment in axial CT images using FEM-based automatic segmentation of skeletal muscle // *IEEE Trans Med Imaging.* 2016. Vol. 35, N 2. P. 512–520. doi: 10.1109/TMI.2015.2479252
50. Park J., Gil J.R., Shin Y., et al. Reliable and robust method for abdominal muscle mass quantification using CT/MRI: An explorative study in healthy subjects // *PLoS One.* 2019. Vol. 14, N 9. P. e0222042. doi: 10.1371/journal.pone.0222042
51. Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., et al. 3D Slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network // *Magn Reson Imaging.* 2012. Vol. 30, N 9. P. 1323–1341. doi: 10.1016/j.mri.2012.05.001
52. Burns J.E., Yao J., Chalhoub D., et al. A machine learning algorithm to estimate sarcopenia on abdominal CT // *Acad Radiol.* 2020. Vol. 27, N 3. P. 311–320. doi: 10.1016/j.acra.2019.03.011
53. Blanc-Durand P., Schiratti J.B., Schutte K., et al. Abdominal musculature segmentation and surface prediction from CT using deep learning for sarcopenia assessment // *Diagn Interv Imaging.* 2020. Vol. 101, N 12. P. 789–794. doi: 10.1016/j.diii.2020.04.011
54. Graffy P.M., Liu J., Pickhardt P.J., et al. Deep learning-based muscle segmentation and quantification at abdominal CT: Application to a longitudinal adult screening cohort for sarcopenia assessment // *Br J Radiol.* 2019. Vol. 92, N 1100. P. 20190327. doi: 10.1259/bjr.20190327
55. Ackermans L.L., Volmer L., Wee L., et al. Deep learning automated segmentation for muscle and adipose tissue from abdominal computed tomography in polytrauma patients // *Sensors (Basel).* 2021. Vol. 21, N 6. P. 2083. doi: 10.3390/s21062083
56. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation // *Lecture Notes Computer Sci.* 2015. P. 234–241. doi: 10.1007/978-3-319-24574-4_28
57. Shelhamer E., Long J., Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation // *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell.* 2017. Vol. 39, N 4. P. 640–651. doi: 10.1109/TPAMI.2016.2572683
58. Islam S., Kanavati F., Arain Z., et al. Fully-automated deep learning slice-based muscle estimation from CT images for sarcopenia assessment // *Clin Radiol.* 2022. Vol. 77, N 5. P. e363–e371. doi: 10.1016/j.crad.2022.01.036
59. Kim D.W., Kim K.W., Ko Y., et al. Assessment of myosteotosis on computed tomography by automatic generation of a muscle quality map using a web-based toolkit: feasibility study // *JMIR Med Inform.* 2020. Vol. 8, N 10. P. e23049. doi: 10.2196/23049
60. Dong X., Dan X., Yawen A., et al. Identifying sarcopenia in advanced non-small cell lung cancer patients using skeletal muscle CT radiomics and machine learning // *Thorac Cancer.* 2020. Vol. 11, N 9. P. 2650–2659. doi: 10.1111/1759-7714.13598
61. Graffy P.M., Liu J., Pickhardt P.J., et al. Deep learning-based muscle segmentation and quantification at abdominal CT: Application to a longitudinal adult screening cohort for sarcopenia assessment // *Br J Radiol.* 2019. Vol. 92, N 1100. P. 20190327. doi: 10.1259/bjr.20190327
62. Петрайкин А.В., Артюкова З.Р., Низовцова Л.А., и др. Анализ эффективности внедрения системы скрининга остеопороза // *Менеджер здравоохранения.* 2021. № 2. P. 31–39. doi: 10.21045/1811-0185-2021-2-31-39
63. Морозов С.П., Владимировский А.В., Ледихова Н.В., и др. Московский эксперимент по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике: вовлеченность врачей-рентгенологов // *Врач и информационные технологии.* 2020. № 4. С. 14–23. doi: 10.37690/1811-0193-2020-4-14-23
64. Сениукова О.В., Пятковский С.А., Петрайкин А.В., и др. Автоматическая сегментация мышечной и жировой ткани на КТ-изображениях для оценки состава тела человека и диагностики саркопении // *Конференция «Информационные технологии для персонализированной медицины» с блоком летней школы для молодых ученых, 4 ноября 2021 г.: сборник тезисов.* Москва, 2021. С. 41. doi: 10.14341/cbaipm-2021-41

REFERENCES

1. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing.* 2019;48(1):16–31. doi: 10.1093/ageing/afy169
2. Tkacheva ON, Kotovskaya YV, Runikhina NK, et al. Clinical guidelines on Frailty. *Russ J Geriatric Med.* 2020;(1):11–46. (In Russ). doi: 10.37586/2686-8636-1-2020-11-46
3. Bischoff-Ferrari HA, Orav JE, Kanis JA, et al. Comparative performance of current definitions of sarcopenia against the prospective incidence of falls among community-dwelling seniors age 65 and older. *Osteoporos Int.* 2015;26(12):2793–2802 doi: 10.1007/s00198-015-3194-y
4. da Silva Alexandre T, de Oliveira Duarte YA, Ferreira Santos JL, et al. Sarcopenia according to the European working group on sarcopenia

- in older people (EWGSOP) versus Dynapenia as a risk factor for disability in the elderly. *J Nutr Health Aging*. 2014;18(5):547–553. doi: 10.1007/s12603-014-0465-9
5. Sousa AS, Guerra RS, Fonseca I, et al. Sarcopenia and length of hospital stay. *Eur J Clin Nutr*. 2016;70(5):595–601. doi: 10.1038/ejcn.2015.207
 6. Faulkner JA, Larkin LM, Claflin DR, Brooks SV. Age-related changes in the structure and function of skeletal muscles. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2007;34(11):1091–1096. doi: 10.1111/j.1440-1681.2007.04752.x
 7. Shafiee G, Keshtkar A, Soltani A, et al. Prevalence of sarcopenia in the world: a systematic review and meta-analysis of general population studies. *J Diabetes Metab Disord*. 2017;16:21. doi: 10.1186/s40200-017-0302-x
 8. Petermann-Rocha F, Balntzi V, Gray SR, et al. Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2022;13(1):86–99. doi: 10.1002/jcsm.12783
 9. Safonova YA, Zotkin EG. Sarcopenia in older patients with osteoarthritis of large joints. *Sci Pract Rheumatol*. 2019;57(2):154–159. (In Russ). doi: 10.14412/1995-4484-2019-154-159
 10. Tsekoura M, Kastrinis A, Katsoulaki M, et al. Sarcopenia and its impact on quality of life. *Adv Exp Med Biol*. 2017;987:213–218. doi: 10.1007/978-3-319-57379-3_19
 11. Sepúlveda-Loyola W, Osadnik C, Phu S, et al. Diagnosis, prevalence, and clinical impact of sarcopenia in COPD: a systematic review and meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2020;11(5):1164–1176. doi: 10.1002/jcsm.12600
 12. Nipp RD, Fuchs G, El-Jawahri A, et al. Sarcopenia is associated with quality of life and depression in patients with advanced cancer. *Oncologist*. 2018;23(1):97–104. doi: 10.1634/theoncologist.2017-0255
 13. Beaudart C, Biver E, Reginster JY, et al. Development of a self-administrated quality of life questionnaire for sarcopenia in elderly subjects: the SarQoL. *Age Ageing*. 2015;44(6):960–966. doi: 10.1093/ageing/afv133
 14. Geerinck A, Bruyère O, Locquet M, et al. Evaluation of the responsiveness of the SarQoL questionnaire, a patient-reported outcome measure specific to sarcopenia. *Adv Ther*. 2018;35(11):1842–1858. doi: 10.1007/s12325-018-0820-z
 15. Geerinck A, Locquet M, Bruyère O, et al. Evaluating quality of life in frailty: applicability and clinimetric properties of the SarQoL questionnaire. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2021;12(2):319–330. doi: 10.1002/jcsm.12687
 16. Witham MD, Heslop P, Dodds RM, et al. Performance of the SarQoL quality of life tool in a UK population of older people with probable sarcopenia and implications for use in clinical trials: findings from the SarcNet registry. *BMC Geriatr*. 2022;22(1):368. doi: 10.1186/s12877-022-03077-5
 17. Russian translation and validation of SarQoL — quality of life questionnaire for patients with sarcopenia. *Sci Pract Rheumatol*. 2019;57(1):38–45. (In Russ). doi: 10.14412/1995-4484-2019-38-45
 18. Gani F, Buettner S, Margonis GA, et al. Sarcopenia predicts costs among patients undergoing major abdominal operations. *Surgery*. 2016;160(5):1162–1171. doi: 10.1016/j.surg.2016.05.002
 19. Bruyère O, Beaudart C, Ethgen O, et al. The health economics burden of sarcopenia: a systematic review. *Maturitas*. 2019;119:61–69. doi: 10.1016/j.maturitas.2018.11.003
 20. Peterson MD, Rhea MR, Sen A, Gordon PM. Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2010;9(3):226–237. doi: 10.1016/j.arr.2010.03.004
 21. McKendry J, Currier BS, Lim C, et al. Nutritional supplements to support resistance exercise in countering the sarcopenia of aging. *Nutrients*. 2020;12(7):2057. doi: 10.3390/nu12072057
 22. Robinson SM, Reginster JY, Rizzoli R, et al. Does nutrition play a role in the prevention and management of sarcopenia? *Clin Nutr*. 2018;37(4):1121–1132. doi: 10.1016/j.clnu.2017.08.016
 23. Lozano-Montoya I, Correa-Pérez A, Abraha I, et al. Nonpharmacological interventions to treat physical frailty and sarcopenia in older patients: a systematic overview — the SENATOR Project ONTOP Series. *Clin Interv Aging*. 2017;12:721–740. doi:10.2147/CIA.S132496
 24. Lappe JM, Binkley N. Vitamin D and sarcopenia/falls. *J Clin Densitom*. 2015;18(4):478–482. doi: 10.1016/j.jocd.2015.04.015
 25. Rooks D, Roubenoff R. Development of pharmacotherapies for the treatment of sarcopenia. *J Frailty Aging*. 2019;8(3):120–130. doi: 10.14283/jfa.2019.11
 26. Morley JE, Abbatecola AM, Argiles JM, et al. Sarcopenia with limited mobility: an international consensus. *J Am Med Dir Assoc*. 2011;12(6):403–409. doi: 10.1016/j.jamda.2011.04.014
 27. Malmstrom TK, Miller DK, Simonsick EM, et al. SARC-F: a symptom score to predict persons with sarcopenia at risk for poor functional outcomes. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2016;7(1):28–36. doi: 10.1002/jcsm.12048
 28. Bahat G, Yilmaz O, Kiliç C, et al. Performance of SARC-F in regard to sarcopenia definitions, muscle mass and functional measures. *J Nutr Health Aging*. 2018;22(8):898–903. doi: 10.1007/s12603-018-1067-8
 29. Porto JM, Nakaishi AP, Cangussu-Oliveira LM, et al. Relationship between grip strength and global muscle strength in community-dwelling older people. *Arch Gerontol Geriatr*. 2019;82:273–278. doi: 10.1016/j.archger.2019.03.005
 30. Maggio M, Ceda GP, Ticinesi A, et al. Instrumental and non-instrumental evaluation of 4-meter walking speed in older individuals. *PLoS One*. 2016;11(4):e0153583. doi: 10.1371/journal.pone.0153583
 31. Podsiadlo D, Richardson S. The timed “Up & go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991;39(2):142–148. doi: 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x
 32. Beaudart C, McCloskey E, Bruyère O, et al. Sarcopenia in daily practice: assessment and management. *BMC Geriatr*. 2016;16(1):170. doi: 10.1186/s12877-016-0349-4
 33. Stringer HJ, Wilson D. The role of ultrasound as a diagnostic tool for sarcopenia. *J Frailty Aging*. 2018;7(4):258–261. doi: 10.14283/jfa.2018.24
 34. Petraikin AV, Smoliarchuk MY, Petryaykin FA, et al. Assessment the accuracy of densitometry measurements using DMA PP2 Phantom. *Traumatol Orthopedics Russ*. 2019;25(3):124–134. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-124-134
 35. Shen W, Punyanitya M, Wang Z, et al. Total body skeletal muscle and adipose tissue volumes: estimation from a single abdominal

- cross-sectional image. *J Appl Physiol* (1985). 2004;97(6):2333–2338. doi: 10.1152/japplphysiol.00744.2004
36. Mourtzakis M, Prado CM, Lieffers JR, et al. A practical and precise approach to quantification of body composition in cancer patients using computed tomography images acquired during routine care. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008;33(5):997–1006. doi: 10.1139/H08-075
37. Kim EY, Kim YS, Park I, et al. Prognostic significance of CT-determined sarcopenia in patients with small-cell lung cancer. *J Thorac Oncol*. 2015;10(12):1795–1799. doi: 10.1097/JTO.0000000000000690
38. Baracos V, Kazemi-Bajestani SM. Clinical outcomes related to muscle mass in humans with cancer and catabolic illnesses. *Int J Biochem Cell Biol*. 2013;45(10):2302–2308. doi: 10.1016/j.biocel.2013.06.016
39. Franceschi C, Garagnani P, Morsiani C, et al. The continuum of aging and age-related diseases: common mechanisms but different rates. *Front Med (Lausanne)*. 2018;5:61. doi: 10.3389/fmed.2018.00061
40. Ferrucci L, Fabbri E. Inflammageing: chronic inflammation in ageing, cardiovascular disease, and frailty. *Nat Rev Cardiol*. 2018;15(9):505–522. doi: 10.1038/s41569-018-0064-2
41. Zamboni M, Rubele S, Rossi AP. Sarcopenia and obesity. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2019;22(1):13–19. doi: 10.1097/MCO.0000000000000519
42. Batsis JA, Villareal DT. Sarcopenic obesity in older adults: etiology, epidemiology and treatment strategies. *Nat Rev Endocrinol*. 2018;14(9):513–537. doi: 10.1038/s41574-018-0062-9
43. Tomlinson DJ, Erskine RM, Winwood K, et al. Obesity decreases both whole muscle and fascicle strength in young females but only exacerbates the aging-related whole muscle level asthenia *Physiol Rep*. 2014;2(6):e12030. doi: 10.14814/phy2.12030
44. Kim KM, Jang HC, Lim S. Differences among skeletal muscle mass indices derived from height-, weight-, and body mass index-adjusted models in assessing sarcopenia. *Korean J Intern Med*. 2016;31(4):643–650. doi: 10.3904/kjim.2016.015
45. Newman AB, Kupelian V, Visser M, et al. Sarcopenia: alternative definitions and associations with lower extremity function. *J Am Geriatr Soc*. 2003;51(11):1602–1609. doi: 10.1046/j.1532-5415.2003.51534.x
46. Ha J, Park T, Kim HK, et al. Development of a fully automatic deep learning system for L3 selection and body composition assessment on computed tomography. *Sci Rep*. 2021;11(1):21656. doi: 10.1038/s41598-021-00161-5
47. Prado CM, Lieffers JR, McCargar LJ, et al. Prevalence and clinical implications of sarcopenic obesity in patients with solid tumours of the respiratory and gastrointestinal tracts: a population-based study. *Lancet Oncol*. 2008;9(7):629–635. doi: 10.1016/S1470-2045(08)70153-0
48. Martin L, Birdsall L, Macdonald N, et al. Cancer cachexia in the age of obesity: skeletal muscle depletion is a powerful prognostic factor, independent of body mass index. *J Clin Oncol*. 2013;31(12):1539–1547. doi: 10.1200/JCO.2012.45.2722
49. Popuri K, Cobzas D, Esfandiari N, et al. Body composition assessment in axial ct images using fem-based automatic segmentation of skeletal muscle. *IEEE Trans Med Imaging*. 2016;35(2):512–520. doi: 10.1109/TMI.2015.2479252
50. Park J, Gil JR, Shin Y, et al. Reliable and robust method for abdominal muscle mass quantification using CT/MRI: an explorative study in healthy subjects. *PLoS One*. 2019;14(9):e0222042. doi: 10.1371/journal.pone.0222042
51. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network. *Magn Reson Imaging*. 2012;30(9):1323–1341. doi: 10.1016/j.mri.2012.05.001
52. Burns JE, Yao J, Chalhoub D, et al. A machine learning algorithm to estimate sarcopenia on abdominal CT. *Acad Radiol*. 2020;27(3):311–320. doi: 10.1016/j.acra.2019.03.011
53. Blanc-Durand P, Schiratti JB, Schutte K, et al. Abdominal musculature segmentation and surface prediction from CT using deep learning for sarcopenia assessment. *Diagn Interv Imaging*. 2020;101(12):789–794. doi: 10.1016/j.diii.2020.04.011
54. Graffy PM, Liu J, Pickhardt PJ, et al. Deep learning-based muscle segmentation and quantification at abdominal CT: application to a longitudinal adult screening cohort for sarcopenia assessment. *Br J Radiol*. 2019;92(1100):20190327. doi: 10.1259/bjr.20190327
55. Ackermans LL, Volmer L, Wee L, et al. Deep learning automated segmentation for muscle and adipose tissue from abdominal computed tomography in polytrauma patients. *Sensors (Basel)*. 2021;21(6):2083. doi: 10.3390/s21062083
56. Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation. *Lecture Notes Computer Sci*. 2015:234–241. doi: 10.1007/978-3-319-24574-4_28
57. Shelhamer E, Long J, Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 2017;39(4):640–651. doi: 10.1109/tpami.2016.2572683
58. Kanavati F, Islam S, Arain Z, et al. Fully-automated deep learning slice-based muscle estimation from CT images for sarcopenia assessment. *Clin Radiol*. 2022;77(5):e363–e371. doi: 10.1016/j.crad.2022.01.036
59. Kim DW, Kim KW, Ko Y, et al. Assessment of myosteatoses on computed tomography by automatic generation of a muscle quality map using a web-based toolkit: feasibility study. *JMIR Med Inform*. 2020;8(10):e23049. doi: 10.2196/23049
60. Dong X, Dan X, Yawen A, et al. Identifying sarcopenia in advanced non-small cell lung cancer patients using skeletal muscle CT radiomics and machine learning. *Thorac Cancer*. 2020;11(9):2650–2659. doi: 10.1111/1759-7714.13598
61. Graffy PM, Liu J, Pickhardt PJ, et al. Deep learning-based muscle segmentation and quantification at abdominal CT: Application to a longitudinal adult screening cohort for sarcopenia assessment. *Br J Radiol*. 2019;92(1100):20190327. doi: 10.1259/bjr.20190327
62. Petraikin AV, Artyukova ZR, Nizovtsova LA, et al. Analysis of the effectiveness of implementing screening of osteoporosis. *Health Care Manager*. 2021;(2):31–39. (In Russ). doi: 10.21045/1811-0185-2021-2-31-39
63. Morozov SP, Vladzimirsky AV, Ledikhova NV, et al. Moscow experiment on Computer Vision in radiology: Involvement and participation of Radiologists. *Doctor Inform Tech*. 2020;(4):14–23. (In Russ). doi: 10.37690/1811-0193-2020-4-14-23
64. Senyukova OV, Pyatkovskiy SA, Petraikin AV, et al. Automatic segmentation of muscle and adipose tissue on CT images for assessing human body composition and diagnosing sarcopenia. In: Conference “Information Technologies for personalized medicine” with a block of the summer school for young scientists, November 4, 2021: collection of abstracts. Moscow; 2021. P. 41. (In Russ). doi: 10.14341/cbaipm-2021-41

AUTHORS' INFO

*** Anastasia K. Smorchkova, MD;**

address: 24/1 Petrovka st., Moscow, 127051, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9766-3390>;

eLibrary SPIN: 4345-8568; e-mail: a.smorchkova@npcmr.ru

Alexey V. Petraikin, MD, Dr. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>;

eLibrary SPIN: 6193-1656; e-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Dmitry S. Semenov, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;

eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: d.semenov@npcmr.ru

Daria E. Sharova, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>;

eLibrary SPIN: 1811-7595; e-mail: d.sharova@npcmr.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Сморчкова Анастасия Кирилловна;**

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9766-3390>;

eLibrary SPIN: 4345-8568; e-mail: a.smorchkova@npcmr.ru

Петрайкин Алексей Владимирович, д.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>;

eLibrary SPIN: 6193-1656; e-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Семёнов Дмитрий Сергеевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;

eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: d.semenov@npcmr.ru

Шарова Дарья Евгеньевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>;

eLibrary SPIN: 1811-7595; e-mail: d.sharova@npcmr.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

Возможности программного обеспечения для мониторинга дозовой нагрузки пациентов в лучевой диагностике

М.П. Шатёнок¹, С.А. Рыжов^{1, 2}, З.А. Лантух¹, Ю.В. Дружинина^{1, 3}, К.В. Толкачев¹¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация² Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Москва, Российская Федерация³ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Увеличение количества диагностических процедур с использованием ионизирующего излучения (компьютерная томография, интервенционные процедуры, применение ядерной медицины) приводит к увеличению лучевой нагрузки и, как следствие, росту коллективных и индивидуальных доз облучения пациентов.

Вопросам менеджмента и оптимизации дозы от диагностических исследований уделяется много внимания в международном профессиональном сообществе. Общемировая практика решает данную проблему при помощи программного обеспечения для мониторинга доз пациентов с целью автоматизированного сбора, анализа и учёта доз пациента при проведении диагностических исследований различных видов. Программное обеспечение позволяет получить данные о дозах пациентов от рентгенорадиологических процедур и детальную информацию об исследованиях, отследить суммарную накопленную дозу пациента, вести статистику по аппарату, рентгенолаборанту, медицинской организации, а также анализировать собранные дозиметрические данные, выводить причинно-следственную связь показаний дозы и условий проведения исследований, обеспечивать мониторинг эффективности работы оборудования.

В ходе данной работы выполнено исследование основных возможностей доступного на мировом рынке программного обеспечения для мониторинга доз пациентов. Определены ключевые технические требования к функционалу программного обеспечения, необходимого для практической работы.

Современное программное обеспечение для мониторинга доз обладает широким спектром возможностей для автоматизированного сбора, хранения и контроля данных по дозовым нагрузкам пациентов в отделениях лучевой диагностики. Программное обеспечение для мониторинга доз пациентов позволяет повысить качество оказываемых медицинских услуг, обеспечить безопасность пациента и оптимизировать работу медицинской организации.

Ключевые слова: мониторинг дозовой нагрузки; лучевая диагностика; программное обеспечение.

Как цитировать

Шатёнок М.П., Рыжов С.А., Лантух З.А., Дружинина Ю.В., Толкачев К.В. Возможности программного обеспечения для мониторинга дозовой нагрузки пациентов в лучевой диагностике // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 3. С. 212–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

Patient dose monitoring software in radiology

Maria P. Shatenok¹, Sergey A. Ryzhov^{1, 2}, Zoya A. Lantukh¹, Yuliya V. Druzhinina^{1, 3}, Kirill V. Tolkachev¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

² Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russian Federation

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

ABSTRACT

An increase in the number of diagnostic procedures using ionizing radiation (computed tomography, interventional procedures, and the use of nuclear medicine) results in an increase in radiation exposure and, consequently, an increase in collective and individual doses of radiation to patients.

Diagnostic studies from the international professional community are extensively focusing on issues such as management and dose optimization. Worldwide practice can resolve these issues using software for monitoring patient doses to automatically collect, analyze, and account for patient doses in various types of diagnostic studies. The software allows to obtain data on the doses of patients from X-ray procedures and detailed information about studies, track the total accumulated dose of the patient, and maintain statistics on the device, X-ray laboratory, and the medical organization. It also helps analyze the collected dosimetric data, deduce the causal relationship between dose indications and diagnostic procedure conditions, and monitor the effectiveness of the equipment.

The basic capabilities of patient dose monitoring software (DMS) available on the global market were investigated. The major technical requirements for the software functional needed in practical work were defined.

Modern DMS have a wide range of possibilities for automated collection, storage, and management of patient radiation exposure data in radiology departments. DMS increase the quality of healthcare services, provide patient safety, and optimize the workflow of medical organizations.

Keywords: dose monitoring; radiology; software.

To cite this article

Shatenok MP, Ryzhov SA, Lantukh ZA, Druzhinina YuV, Tolkachev KV. Patient dose monitoring software in radiology. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):212–230.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

Received: 12.04.2022

Accepted: 25.07.2022

Published: 24.08.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

在放射诊断中监测患者剂量负荷的软件的功能

Maria P. Shatenok¹, Sergey A. Ryzhov^{1,2}, Zoya A. Lantukh¹, Yuliya V. Druzhinina^{1,3}, Kirill V. Tolkachev¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

² Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russian Federation

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

简评

使用电离辐射的诊断程序（计算机断层扫描、介入程序、核医学的应用等）数量的增加导致辐射负载的增加，从而导致患者集体和个人辐射剂量的增加。

诊断测试的管理和剂量优化问题在国际专业界受到了广泛关注。全球实践借助用于监测患者剂量的软件解决了这一问题，以便在进行各种类型的诊断研究时自动收集、分析和计算患者剂量。该软件允许从X射线放射程序获取患者剂量数据和有关研究的详细信息，跟踪患者的总累积剂量，进行设备、放射技师、医疗机构的统计数据，并分析收集的剂量数据，得出剂量读数和检查条件的因果关系，确保设备的效率得到监测。

本文调查了全球可用的患者剂量监测软件的基本能力。确定了实际工作所需软件功能的关键技术要求。

现代剂量监测软件具有广泛的功能，可自动收集、存储和控制放射科患者剂量负荷数据。患者剂量监测软件有助于提高所提供的医疗服务质量，确保患者安全，并优化医疗机构的工作。

关键词： 剂量负担监测； 放射诊断； 软件。

To cite this article

Shatenok MP, Ryzhov SA, Lantukh ZA, Druzhinina YuV, Tolkachev KV. 在放射诊断中监测患者剂量负荷的软件的功能. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):212–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

收到: 12.04.2022

接受: 25.07.2022

发布日期: 24.08.2022

缩写词清单

CT——计算机断层摄影	DAP (Dose Area Product)——按面积计算的剂量乘积
MD 软件——患者剂量监测软件	DLP (Dose Length Product)——剂量和长度的乘积；所有 CT 检查的吸收剂量，考虑到扫描区域的长度
RDU——参考诊断水平	SSDE (Size-Specific Dose Estimate)——患者的剂量负荷，考虑到其几何尺寸
AGD (Average Glandular Dose)——乳腺的平均剂量	
CTDIvol (Volume CT Dose Index)——CT 检查期间体模中吸收的辐射剂量	

绪论

在过去的几十年里，世界上使用电离辐射的诊断程序数量有所增加，这主要与高剂量研究数量的增加有关，例如计算机断层扫描（CT）、介入程序和使用核医学[1]。这导致这些方法在辐射负荷结构中所占比例增加，从而导致患者的集体和个人剂量增加。

应当指出，俄罗斯联邦的趋势大体上与世界一致。莫斯科，根据表格第3-DOZ表¹，2017年集体剂量增加到10,946人-西弗，2020年增加到16,662人-西弗。这与CT检查份额的增长直接相关——从2017年5.5%到2020年的13.1%。根据第3-DOZ表报告表，2020年CT研究对集体剂量的具体贡献达到75.9%[2, 3]。这种趋势很可能在未来几年继续下去。

科学界特别关注的是对同一患者进行不合理的多次研究，以及剂量超过100毫希的一次性研究[4]。一些研究人员认为，只做两三次CT手术，尤其是在儿童身上，可能会显著增加患恶性肿瘤的风险[5]。

这种背景下，根据W. Bogdanich在The New York Times上发表的一系列文章²，美国脑灌注CT错误导致可见皮肤损伤的案例应受到密切关注，其调查和原因确定应在专业界得到最广泛的宣传。西方国家，此类案例有力地推动了辐射安全领域提出新要求，特别是强制使用特殊软件来计算患者辐射剂量。不幸的是，在俄罗斯确定性效应的发生并没有广泛的共鸣，科学俄语来源对它们的描述通常与患者手术治疗的特殊性有关[6-8]。这方面，辐射安全监管文件的要求目前并不反映在放射诊断科的工作流程中使用软

件记录患者剂量的必要性，而是利用软件产品的功能仅用于统计收集不同医疗机构的信息³。

同时，在俄罗斯人工收集信息以报告患者的辐射负荷和使用纸质放射诊断室日志使适当监测辐射安全变得困难。缺乏自动化会增加过程的劳动强度，并导致人为错误。

诊断测试的管理和剂量优化问题在国际专业界受到了广泛关注。根据欧洲指令2013/59/EURATOM[9]，建议对诊断程序中患者的剂量负荷进行“比以前精确得多”的监测和控制。并遵循现代辐射防护ALARA (As Low As Reasonably Achievable——尽可能低，合理实现)的基本原则，以证明和优化诊断剂量。

解决此问题的全球实践是使用患者剂量监测软件（MD软件），以便在各种类型的诊断研究期间自动收集、分析和计算患者剂量：CT、射线照相/荧光透视、乳房X线照相术、血管造影术等。

MD软件允许您从X射线放射程序中获取患者剂量数据和有关研究的详细信息，跟踪患者的总累积剂量，保持设备、放射科医生、医疗机构的统计数据，以及分析收集的剂量数据，得出剂量读数

和条件研究之间的因果关系，以监测设备的效率。R. W. Loose等人[10]确定了医疗组织中的以下辐射安全任务，使用MD软件有助于解决这些任务：

- 收集剂量学数据以确定当地和国家诊断参考水平（RDL）或典型剂量值；
- 验证来自自己建立RDL的研究的平均剂量的合规性；
- 意外接触的预防、检测和报告；
- 优化患者的辐射暴露，特别是在CT和介入手术领域；
- 患者暴露文件、报告和跟踪的结构化整合；
- 生成有关超出既定地方或国家级别的通知；

¹ 医学放射检查期间对患者的辐射剂量信息（第3-DOZ表）。存取方式：http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52009/c262c55885294afd998489c7f7ef8fe17e14da38/。访问日期：2022年3月15日

² The New York Times. Bogdanich W. Radiation overdoses point up dangers of CT scans [Internet], 2009 (<https://www.nytimes.com/2009/10/16/us/16radiation.html>); After stroke scans, patients face serious health risks [Internet], 2010 (<https://www.nytimes.com/2010/08/01/health/01radiation.html>); West Virginia hospital overradiated brain scan patients, records show [Internet], 2011 (<https://www.nytimes.com/2011/03/06/health/06radiation.html>).

³ 医学放射检查期间对患者的辐射剂量信息（第3-DOZ表）。存取方式：http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52009/c262c55885294afd998489c7f7ef8fe17e14da38/。访问日期：2022年3月15日

- 地方、区域或国家基准（英文：Benchmarking——对比分析）不同模式和程序的患者辐射负荷。

该清单还可以包括评估器官剂量和终身属性风险的必要性。

需要补充的是，使用MD软件需要医学物理学家、X射线学家、放射科医生和参与诊断过程的全科医生等专家的团队合作。然而，据推测，使用MD软件的主要责任将由合格的医学物理学家承担，他将监督系统的初始安装和调整，检查数据传输的正确性，并计算主要剂量参数。

使用软件的阶段

这项工作的目的是研究世界市场上可用的MD软件的主要功能，并确定软件功能的关键技术要求。在研究的第一阶段，在PubMed、GoogleScholar和英语和俄语的电子图书馆数据库中对所提出主题的文献进行了回顾。对于搜索，使用了以下查询：“dose monitoring system”、“patient dose in radiology”、“dose tracking software”、“放射诊断期间的患者剂量负荷”、“患者剂量监测”。

根据国内外文献资料的分析结果，编制了患者的MD软件列表，用于研究和测试主要功能：

- 1) DoseWatch (GE);
- 2) TQM-Dose (Qaelum);
- 3) Radimetrics (Bayer)⁴;
- 4) DoseWise Portal v3.0 (Philips);
- 5) Teamplay (Siemens Healthineers);
- 6) DoseTrack (Sectra).

用MD软件的工作基于以下方案：

1. 认识并与MD软件的制造商建立联系。
2. 制造商对产品的介绍。
3. 访问MD软件的演示版。
4. 将测试数据集加载到MD软件中。该数据集包含有关从15次X射线CT扫描中执行的X射线

检查的信息。为了形成一个数据集，选择了用于检查CT患者的最常见类型的程序。对统一放射信息服务（ERIS）⁵中的研究进行了完整且不可恢复的匿名化。该数据集总共包括20种程序的3102项研究。

5. MD软件在闭环中的认可和测试。测试期至少为1个月，以便对软件的所有技术参数进行全面评估。

由于制造商提供的MD软件的访问级别不同，每个系统的检查程序都有其自身的特点。对于一些MD软件，由于技术原因，使用厂商的测试数据集进行测试。

从2019年6月开始这些工作是在年内进行的。

连接剂量监测软件

MD软件具患者的有多模式结构，能够连接来自不同制造商的设备。除了这些系统之外，还可以连接非电离设备，以控制人员工作的效率并做出管理决策。

由于DICOM协议（CTDIvol、DLP、DAP、AGD、SSDE等）中剂量指标数据的可用性，通过数字X射线诊断（X射线诊断、乳房X线摄影、血管造影、CT等）进行的研究，系统化程度高，可用于控制患者的剂量负荷。可以通过三种方式从DICOM检索剂量信息：

- 1) 将剂量信息固定在各个制造商提供的专用标签中；
- 2) 使用光学字符识别（OCR）读取研究的剂量报告（Dose report）中存储的信息；
- 3) 使用DICOM文件，包含有关患者计算辐射剂量登记信息的结构化报告（radiation dose structure report, RDSR）。

RDSR是一个分层结构的文件，其中包含有关所进行研究的信息：有关研究的一般信息、有关每个系列辐照和剂量指标的信息（图1）。这种格式允许您获得有关研究和患者的最完整信息：例

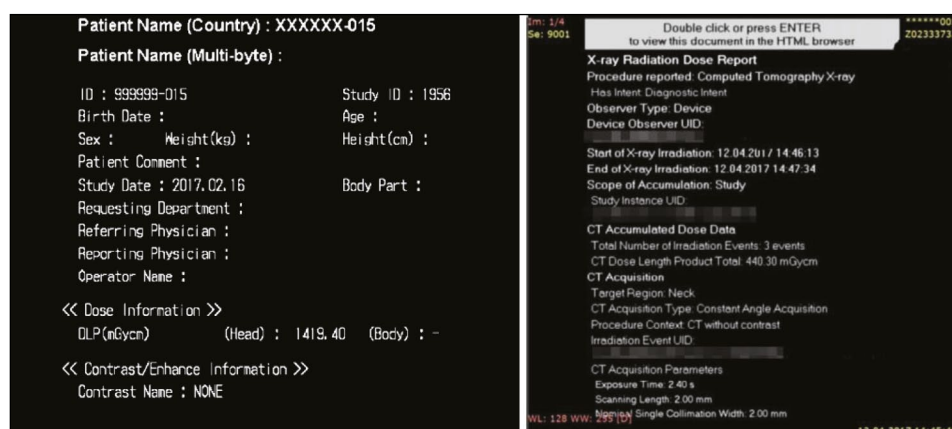


图1。Dose Report和RDSR示例。

⁴ Radimetrics (Bayer) 患者剂量监测软件未在俄罗斯联邦注册。

⁵ 国家远程医疗中心诊断和技术官方网站。统一放射信息服务。存取方式: https://tele-med.ai/proekty/edinyj-radiologicheskij-informacionnyj-servis_2020。访问日期：2022年3月15日

如，计算器官剂量和其他个性化剂量指标所需的人体测量和人口统计数据。如果没有以RDSR格式传输的研究的确切参数，则无法计算对皮肤的峰值剂量。不幸的是，2013年之后生产的设备支持这种格式，在研究中，此类设备具有RDSR的比例为7%。

大多数MD软件安装在服务器上，用于记录、显示、分析数据并将数据传输到其他相关系统。服务器可以是物理的、虚拟的，也可以是云解决方案。

MD软件可以直接连接到CT工作站，但最常见的连接架构是PACS-MD。典型的连接以及负责专家的角色所示图2。

将MD软件连接到MO/MO组的信息网络后，需要配置来自诊断设备的数据传输。DICOM格式的研究信息必须记录在MD软件的正确字段中。每个MD软件都有数据导出设置的特殊性。通过调整，验证了量维数显示的正确性、计算算法和剂量指标的确定精度。将研究协议的名称标准化和将研究分组以安装RDU并进一步与国家与国际数据进行比较是一项特别费力的任务。

患者剂量监测软件的主要功能

作为所开展工作的结果，MD软件的关键特性得到了识别和描述，同时考虑了执行X射线诊断程序的实际好处。

根据制造商和配置的不同，MD软件支持各种模式：CT、介入放射学、射线照相和透视、乳房X线照相术、正电子发射断层扫描（PET）、PET/CT、单光子发射计算机断层扫描（SPECT）、SPECT/CT。

统计

MD软件是一个诊断研究参数数据库，带有用于分析和统计处理的各种工具。各种MD软件中，这些功能都具有特殊性，但可以区分主要功能：

- 按日期、研究类型、模式、设备、方案、剂量负荷、扫描区域、医疗机构、患者的人口统计和人体测量数据、放射科医生的姓名（姓氏、名字、父名）等过滤器的存在；
- 能够以表格形式查看研究列表（图3）。对于每项研究，都会显示关键参数列表：研究和协议代码、剂量值（CTDIvol、DLP、SSDE、DAP 等）、透视时间、患者的人口统计和人体测量数据、医疗机构名称、设备型号、医生和操作者的姓名等；
- 根据其状态，生成警告警报的研究有颜色指示；
- 可以自定义仪表板（Dashboard）并应用不同类型的图形和图表来可视化过滤后的数据。通常，MD软件建议使用标准图表或根据需要创建新图表。

统计处理工具的存在允许您计算最大值、最小值、平均值和中值，以及确定分位数、标准偏差和构建趋势。例如，可以根据选定方案的有效剂量绘制研究分布图，并将特定研究的剂量与同一方案中其他研究的剂量进行比较。该图显示了所考虑的CT协议的已建立RDU级别（图4）。实时监控仪表板可让您识别设备和人员操作中可能出现的偏差。还可以对特定类型的研究的剂量分布进行统计分析，例如，通过DLP参数（图5）。一些MD软件具有用于监控研究时间的模块，包括准备阶段、研究本身以及研究之间的等待期（图6）。该工具既可用于

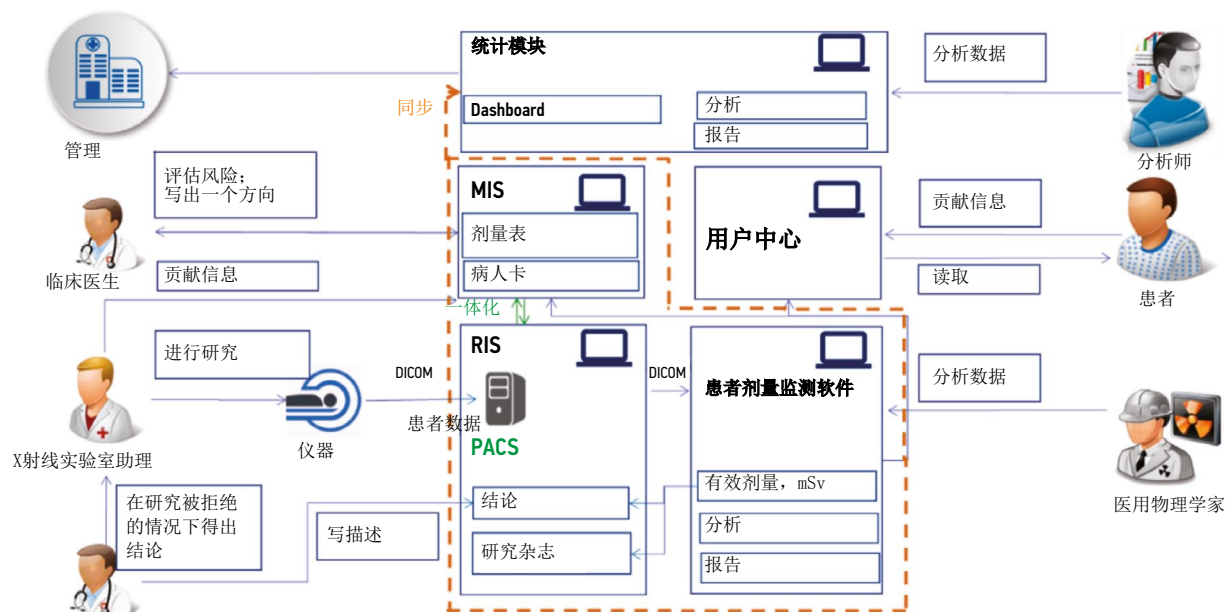


图2。患者剂量监测软件的典型连接示例。

注：MIS——医疗信息系统；RIS——代表放射信息系统。

SECTRA

Search by Accession Number or Identifier

Analytics

Customer: Texas Customer

Filters 28 / 4183302

Date

01 Apr 2010 - 09 Apr 2020

Modality

CT

Alert

SENT

Date

01-apr-2010

09-apr-2020

Auto Range

Months

Yrs

Study

Modality

Exam

Protocol

Acquisition Type

Alert

Score Card

Graphs

Study List

Exposure List

Analytics Export

Date+Time	Location	Accession No.	Exam Code	Protocol Code	DLP total (mGy*cm)	DLP Max (mGy*cm)	DLP Max Spiral (mGy*cm)	CTDIvol max (mGy)	CT
17-Aug-2015 20:55	WAC-CT-CT12		CSKNE	=Vascular*07_Hjarmans_o_halsens_artarer_C (Adult)	2732.09	-	1559.66	71.15	71.
15-Jul-2015 11:40	ARL-CT-CT2		CAAAG	-	2736.9	-	686.2	82.5	13.
09-Jul-2015 08:02	ARL-NEURO-N1		CACDB	-	2733.2	-	913.3	144.2	12.
24-May-2015 00:14	WAC-CT-CT12		CSKNE	=Vascular*07_Hjarmans_o_halsens_artarer_C (Adult)	2746.97	-	1665.54	66.13	66.
22-May-2015 16:31	WAC-CT-CT12		CSKNE	=Vascular*07_Hjarmans_o_halsens_artarer_C (Adult)	2745.7	-	1519.99	71.65	71.
13-May-2015 20:19	WAC-CT-CT12		CSKNE	=CT HALS HJARNA	2740.23	-	1533.06	77.68	77.
04-May-2015 11:53	ARL-ER-ER1		CACDB	216	2740.7	-	1794.3	203.9	23.
15-Apr-2015 13:27	HOU-XR1-R1		CURITC	=Abdomen*CT_URINVAGAR_XL (Adult)	2731.49	-	955.23	21.39	21.
13-Mar-2015 01:14	WAC-CT-CT12		CCABDC	=Specials*02_Multitrauma_Thorax_och_Buk (Adult)	2735.91	-	2686.63	36.89	36.
28-Feb-2015 04:17	WAC-CT-CT12		CSKUJH	=Vascular*07_Hjarmans_o_halsens_artarer_C (Adult)	2746.4	-	1325.01	75.34	75.
01-Feb-2015 18:58	WAC-CT-CT12		CSKNE	=Vascular*07_Hjarmans_o_halsens_artarer_C (Adult)	2733.17	-	1603.75	66.8	66.
21-Jan-2015 18:53	WAC-CT-CT12		CSKNE	=Vascular*07_Hjarmans_o_halsens_artarer_C (Adult)	2730.04	-	1521.76	72.83	72.
15-Jan-2015 16:46	WAC-CT-CT12		CSKUJH	=Vascular*07_Hjarmans_o_halsens_artarer_C (Adult)	2738.24	-	1484.94	70.32	70.
09-Oct-2014 14:06	HOU-ONG-CT2		CCHES	=Neck*HALS_THORAX_BUK_K_EXTRA (Adult)	2731.89	-	996.17	23.24	23.
30-Sep-2014 15:16	HOU-CLINPH-CP4		CCHES	216	2745.48	-	1635.32	16.69	16.
01-Aug-2014 13:36	HOU-XR1-R1		CABDOD	=Abdomen*GENOMLYSNING_BUK (Adult)	2747.87	-	949.6	56.66	24.
28-Jul-2014 11:10	HOU-CLINPH-CP4		CCHES	216	2732.86	-	1936.66	32.83	18.
14-Jul-2014 07:40	HOU-XR1-R1		CURITC	=Abdomen*UROGRAFI_XL (Adult)	2731.61	-	1367.7	26.75	26.
28-Jun-2014 19:51	WAC-CT-CT12		CSKUJH	=Vascular*08_Hjarmans_och_halsens_artarer_C (Adult)	2742.6	-	1507.83	68.31	68.
26-Jun-2014 21:28	WAC-CT-CT12		CCABDC	=Specials*02_Multitrauma_Thorax_och_Buk (Adult)	2730.16	-	2686.71	35.6	35.
11-May-2014 16:48	ARL-CT-CT2		CSKUJH	-	2741.4	-	1385.4	73.5	73.

Активация Windows [1-21/28]

图3。数据表示、DoseTrack、Sectra的表格视图。

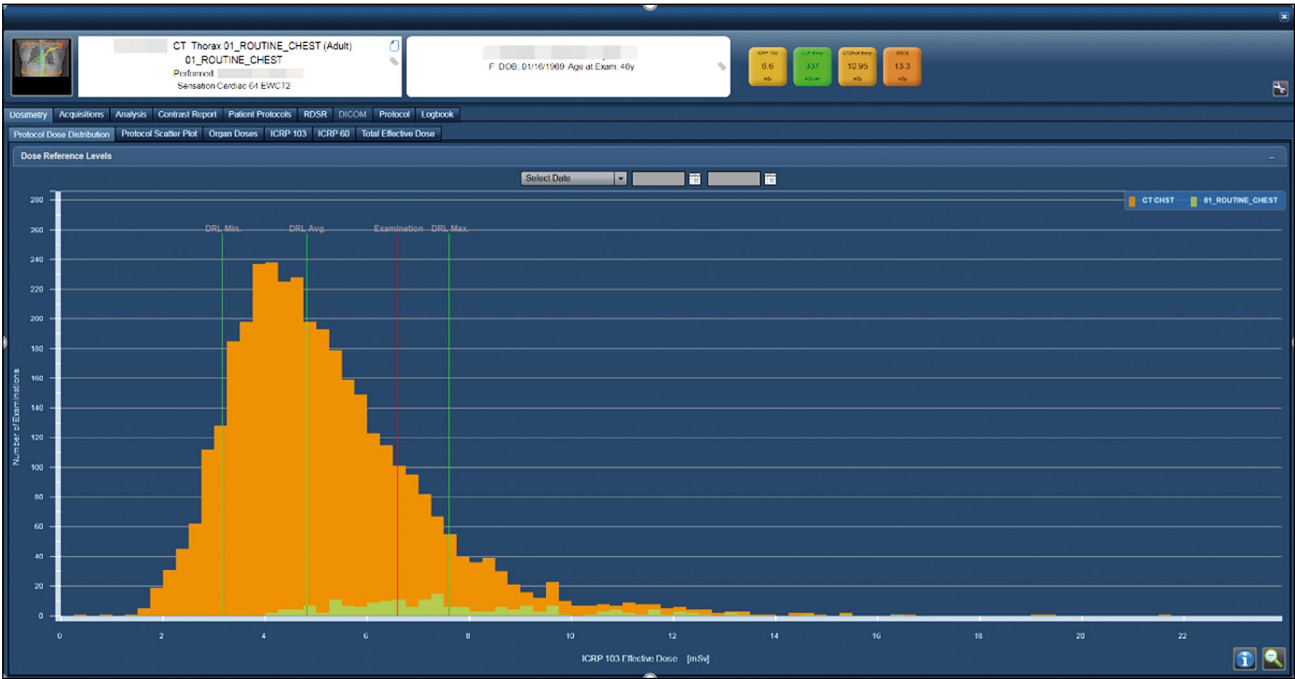


图4。患者剂量监测软件的参考诊断水平图，Radimetrics, Bayer。

控制研究的持续时间，也可用于遵循有关设备使用的建议。

病人卡

患者卡包含有关患者的信息，包括ID（唯一一个人编号）、全名、性别、年龄、体重、身高、体重指数（BMI）。本节还提供了有关患者进行并上传到系统中的研究的信息。从X光检查中获得的患者剂量信息通常以图表和表格形式提供。显示所有研究中患者累积的总剂量。通常有一个颜色指示灯，指示超过规定的剂量水平，无论是单独研究还是累积总剂量。

信号警报

MD软件中自动警报通知的存在使您可以快速识别超出既定剂量负荷允许水平的情况。在大多数系统中，实施了特殊“触发器”的设置，据此自动生成警报并通过电子邮件发送给负责的医学物理师或系统的其他用户（图7）。例如，可以引用以下充当“触发器”的研究参数：CTDIvol、DLP、DAP、ESD、SSDE、AGD、乳房压缩厚度、mAs。对于这些参数中的每一个，都设置了相应的允许水平。

通常根据“红绿灯”类型对研究本身及其剂量参数进行颜色指示，具体取决于已建立的允

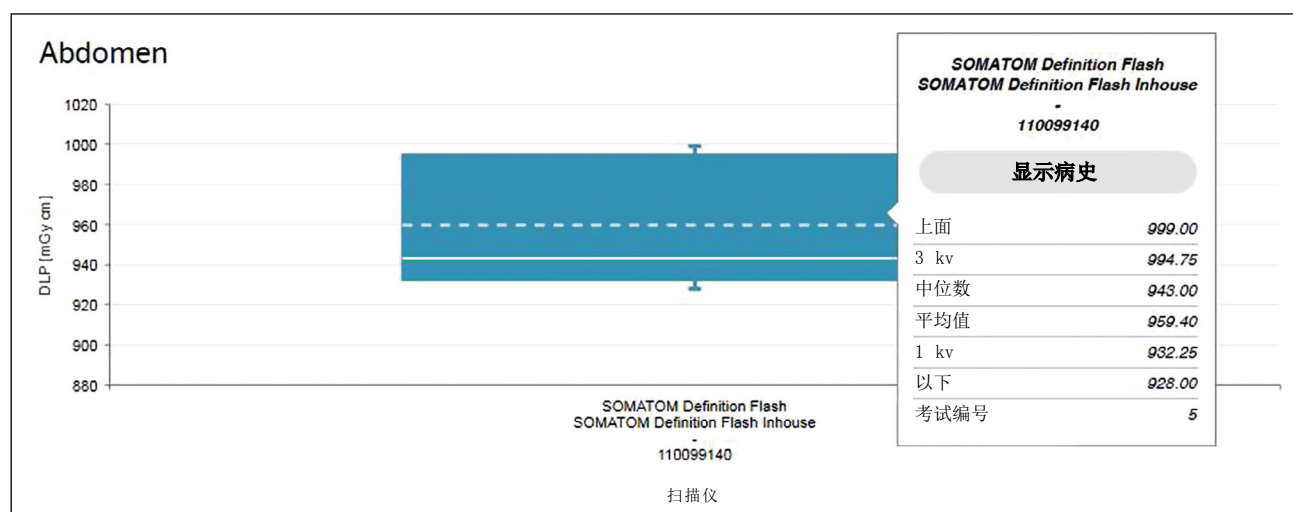


图5。通过参数DLP、Teampay、Siemens Healthineers对剂量分布进行统计分析。



图6。以分钟为单位的患者间隔直方图，Teampay，Siemens Healthineers。

许水平：超过剂量水平在图8中标记为红色。有的MD软件能够为已对患者执行并加载到系统中的所有研究的总累积剂量设置允许水平。通过MD软件中的数据功能，可以在研究和患者层面快速跟踪剂量信息（图9）。

有效剂量计算

为了计算软件中的有MD软件效剂量，使用了

取决于从DICOM获得的模态（DLP、DAP、MGD、活动等）的研究剂量参数。大多数软件使用国际辐射防护委员会（The International Commission on Radiological Protection, ICRP）建议60⁶和103⁷中发布的标准转换因子。MD软件的一大优点是能够编辑剂量系数并输入您自己的值，因为例如在俄罗斯联邦，MU 2.6.1.3584-19⁸中批准的系数值与国际不同那些。

⁶ ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3). 存取方式: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060>. 访问日期: 2022年3月15日

⁷ ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). 存取方式: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. 访问日期: 2022年3月15日

⁸ 指南 MU 2.6.1.3584-19 《对 MU 2.6.1.2944-19 “在医学X射线研究期间控制患者的有效照射剂量” 的更改》。存取方式: <https://base.garant.ru/73515396/>. 访问日期: 2022年3月15日

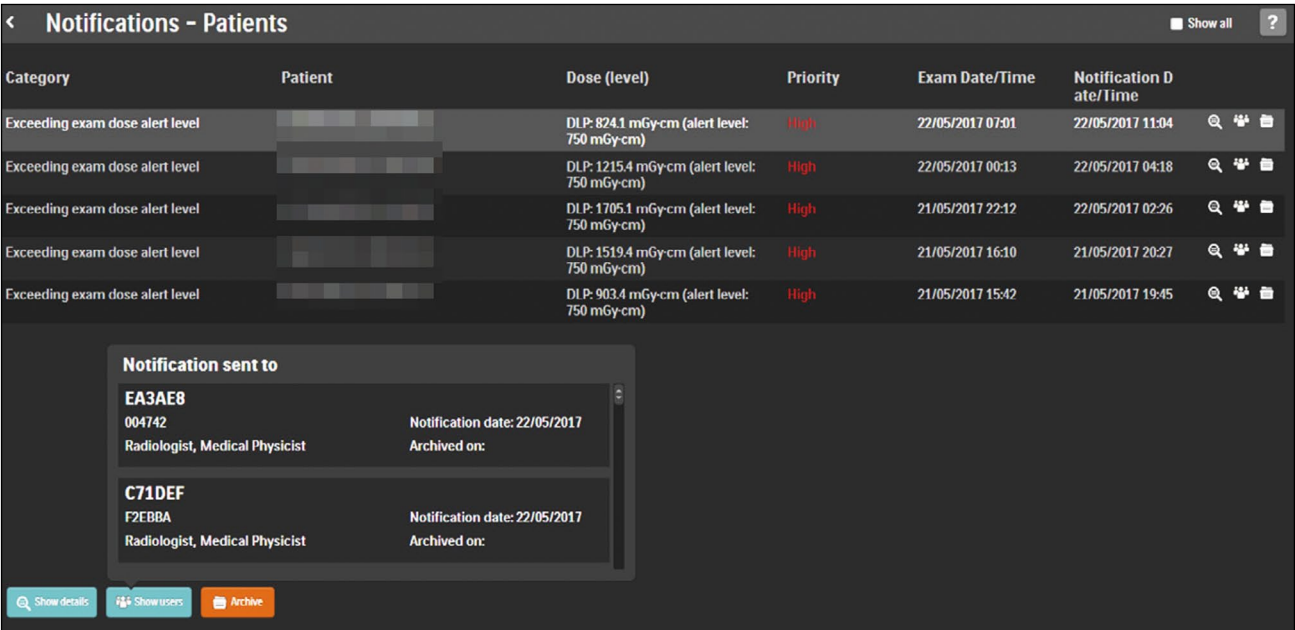


图7。通过DLP值级别形成信号警报，DoseWise Portal，Philips。

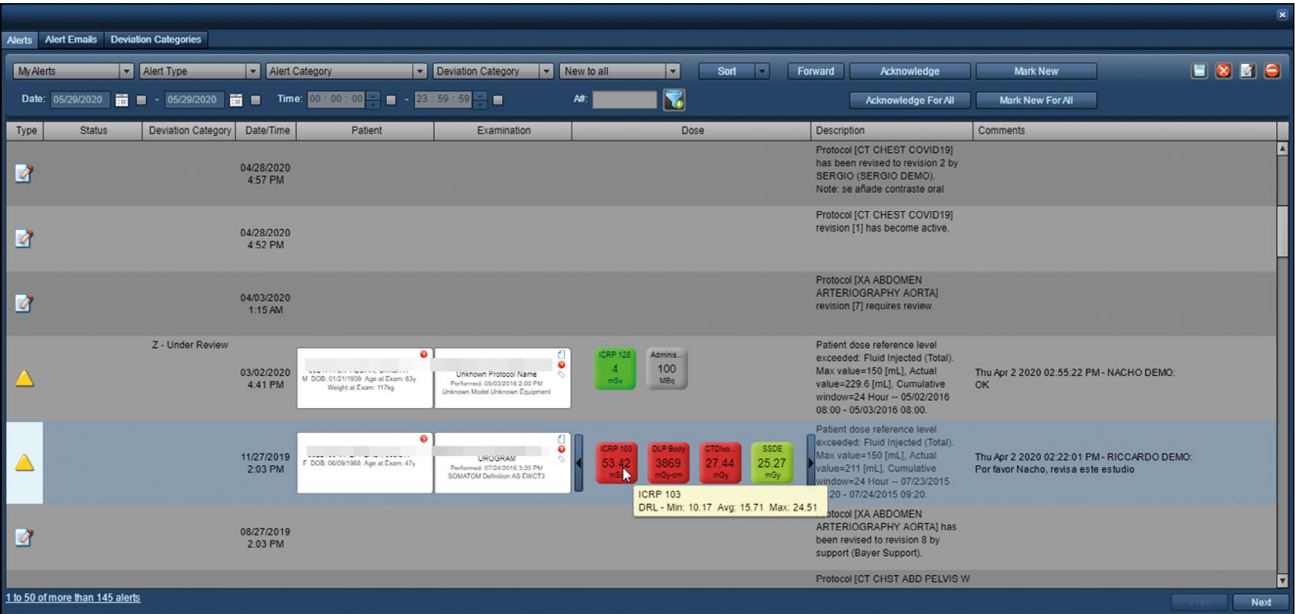


图8。CT参数、Radimetrics、Bayer的颜色指示。

参考诊断水平

对于RDU的研究，MD软件有不同的功能，可以安装外部RDU，也可以根据输入的数据计算RDU。可以进一步将组织的局部剂量水平与国家或国际RDU进行比较。

大多数MD软件允许RDU用于各种模式和程序类型，包括介入诊断和荧光检查。RDU在MD软件中根据模式以推荐剂量单位计算[11, 12]。一些系统的优点包括能够根据人口统计和人体测量数据计算特定患者群体的RDU，例如儿科RDU和肥胖患者的RDU（图10）。

与手动操作相比，使用自动化的MD软件大大简化和加速了RDU安装过程，提高了结果的

准确性和可靠性。这使得这个过程可以定期进行。

MD软件的引入允许RDU作为优化患者在医疗组织日常工作中的剂量负荷的工具。

报告

生成加载数据的报告是MD软件的主要功能之一。通常，报告包括在一定时期内进行的研究的剂量暴露数据、诊断设备负载数据、研究类型的统计数据、使用的协议、扫描区域等。这些报告包括有关高剂量研究的信息，以及超出既定RDU并生成警告警报的研究。使用此信息，可以对已执行的研究进行点分析，找出可能过度的原因。

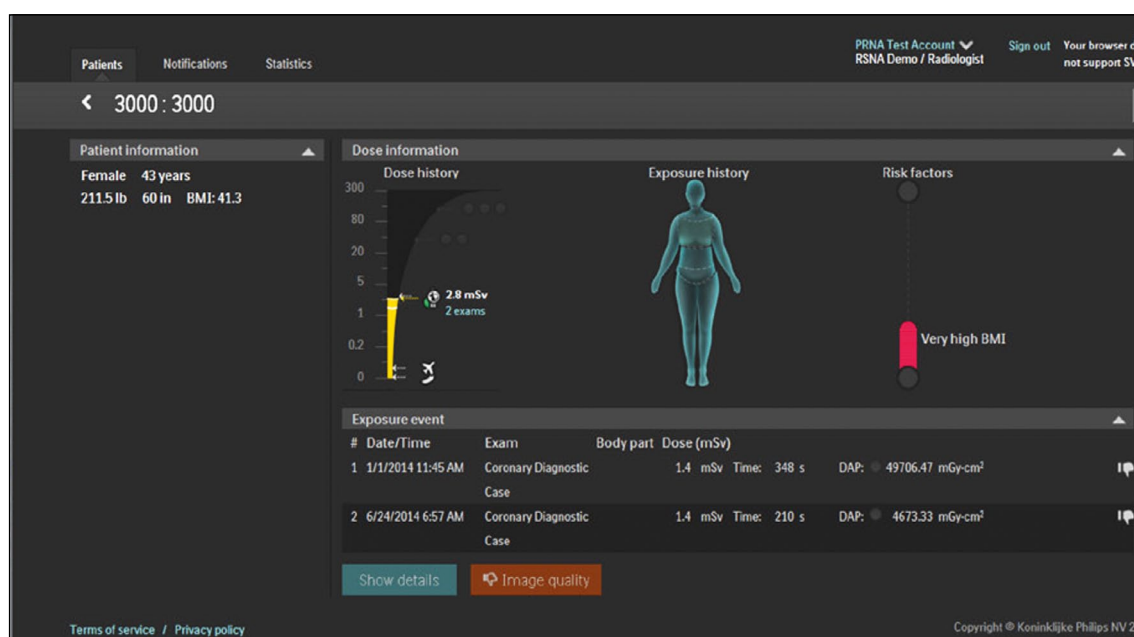


图9。患者剂量历史，DoseWise Portal，飞利浦。

MD软件既可以使用现有的标准报告模板，例如DoseWatch软件，也可以根据研究区域/研究方案提供关于剂量负荷的月度报告，或者使用必要的参数设置您自己的报告。通常情况下，您可以根据可用的信息面板自动生成报告，并根据既定的时间表为专家设置电子邮件通讯。可以按模式、时间间隔、机构、研究方案、患者年龄、CTDI和DLP值等使用排序和过滤器（图11）。例如，DoseWatch软件报告提供了该期间10项最高剂量研究的可视化，以及DLP中指示的具有高累积剂量值的前10名患者（图12）。设备负载：CT扫描仪负载分布、CT扫描仪的研究数量、降低剂量技术的使用情况、根据X射线学家和放射科医生进行的研究数量。

Local Dose Reference Levels	
Minimum Studies:	200
Maximum Study age (days):	30
Dose Type	
CONVENTIONAL	☐
MAMMOGRAPHY	☐
CT	☒
FLUOROSCOPY	☒
DRL Percentile:	75
Habitus:	A,B,C
Calculate DRLs Email Active DRLs	

图10。设置本地参考诊断水平、DoseTrack、Sectra。

MD软件中自动报告的存在使您可以减少准备医疗机构定期剂量报告的时间和人力成本，放弃纸质表格并提高报告数据的准确性和质量。可以比较诊断设备、医疗机构和人员的参数。

SSDE

许多MD软件商业实现了计算CT的SSDE（Size Specific Dose Estimate——尺寸特定剂量估计）等参数的能力。此参数允许您根据患者的几何尺寸评估患者的剂量负荷，而不是CTDIvol参数，这是为标准患者定义的直径为32厘米（身体）或16厘米（头部）的模型。根据美国医学物理学家协会（The American Association of Physicists in Medicine, AAPM）[13]的出版物，SSDE是根据患者的有效直径或水当量直径计算得出的。计算所需的信息通常来自标记地形图或一组轴向图像。

以病人为中心

应该注意的是在放射暴露方面，在诊断过程中将患者正确居中的重要性。根据一些研究，不正确的居中可导致诊断剂量增加高达20%[14, 15]。在CT检查和介入放射学中，最常对MD软件中的对中依从性进行类似的分析。

MD软件允许您计算患者相对于零位的位移并评估对中的质量。在正交图像上沿两个轴（X和Y）记录偏差（图13）。正确对中对是评估放射科医师工作质量的标准之一。

皮肤的峰值剂量

如果您选择介入程序（透视或血管造影），主要的剂量学参数会记录在MD软件中：DAP、透视时间、参考点的剂量。

Device	DLP Range (mGy.cm)	0 - 1000	1000 - 2000	2000 - 3000	3000 - 4000	4000 - 5000	5000 - 6000	6000 - 7000	> 7000	Total
Aquilion (Aquilion 64 (		106	84	16	12	1	1	-	-	220
Aquilion (Aquilion 64 GP		103	95	28	12	3	8	4	6	259
Aquilion (DKC		93	40	14	2	8	1	1	-	159
Aquilion (GP		84	42	2	4	7	3	2	1	145
Aquilion (GP		192	140	22	13	20	10	5	8	410
Aquilion (GP		46	61	24	11	13	3	2	1	161
Aquilion (GP		70	37	17	10	6	2	1	3	146
Aquilion (GP		83	63	13	12	4	5	-	-	180
Aquilion (GP		33	33	7	-	-	-	-	-	73
Aquilion (GP		227	55	13	7	8	2	1	1	314
Aquilion (GP		91	46	14	11	6	-	-	-	168
Aquilion (GP		42	49	7	3	1	3	1	3	109
Aquilion (GP		53	61	11	8	10	2	4	3	152
LightSpeed VCT (GB		228	75	29	6	-	1	-	-	339
SOMATOM Sensation 40 (KDC		665	54	-	-	-	-	-	-	719
Total		2116 (59.54 %)	935 (26.31 %)	217 (6.11 %)	111 (3.12 %)	87 (2.45 %)	41 (1.15 %)	21 (0.59 %)	26 (0.73 %)	3554 (100.00 %)

图11。按DLP范围和CT扫描仪型号分布的检查数量，每台扫描仪的检查总数，DoseWatch，GE。

Patient ID	Accession Number	Patient's Age	Study Date	Study Description	Total Study DLP (mGy.cm)
RLPD41B00	RLADD01	41	2019-07-11	Компьютерная томография грудной полости и	10494.10
	AGFA0	77	2019-07-16	Компьютерная томография грудной полости и	9772.40
RLPD41B0	RLADD01	50	2019-07-11	Компьютерная томография органов брюшной	9680.00
RLPD41B0	RLADD01	78	2019-07-10	Компьютерная томография органов брюшной	9171.80
RLPD41B0	RLADD01	60	2019-07-02	Компьютерная томография органов брюшной	8816.70
RLP0F430	RLADD01	51	2019-07-11	Компьютерная томография органов брюшной	8622.10
RLP0F430	RLADD01	57	2019-07-18	Компьютерная томография органов брюшной	8440.10
RLP0F430	RLADD01	83	2019-07-03	Компьютерная томография органов брюшной	8411.40
RLP0F430	RLADD01	61	2019-07-25	Компьютерная томография органов брюшной	8293.60
RLP0F430	RLADD01	73	2019-07-25	Компьютерная томография органов брюшной	7907.50

图12。包含十个最大剂量研究的示例表，DoseWatch，GE。

在大多数系统中可以使用以下方法估计患者的剂量负荷：

- 对患者身体表面皮肤的峰值剂量的空间表示（图14）；
- “时间线”描述整个过程中每个时刻的辐照特性（辐照方向；峰值电压，kVp；每秒帧数，剂量特性）；
- 剂量图的角度扫描。

使用上述功能进行剂量监测可以检测可视化技术中的错误，并在某些情况下优化过程（改变照射方向、每秒帧数、应用“电影”和“冻结”的图片模式）。MD软件还可以识别需要监测与高皮肤剂量相关的确定性效应发展的患者。

器官剂量

鉴于CT的剂量值与其他放射诊断方法比较高，因此大多数MD软件中的器官剂量计算都是针对这种模式实现的。

使用蒙特卡罗法模拟计算患者器官剂量，同时模拟CT扫描仪的参数（能谱、准直、过滤、管电流）。考虑到扫描协议的参数，例如管上的间距、电流和电压、准直等，确定患者的剂量负荷。通过从体模库中选择合适的患者体模来评估器官剂量[16]。考虑到患者的数据、患者的性别和年龄、可能的怀孕及其持续时间，会自动提出体模（图15）。作为确定器官剂量模块的一部分，MD软件的制造商越来越多地提供计算胎儿剂

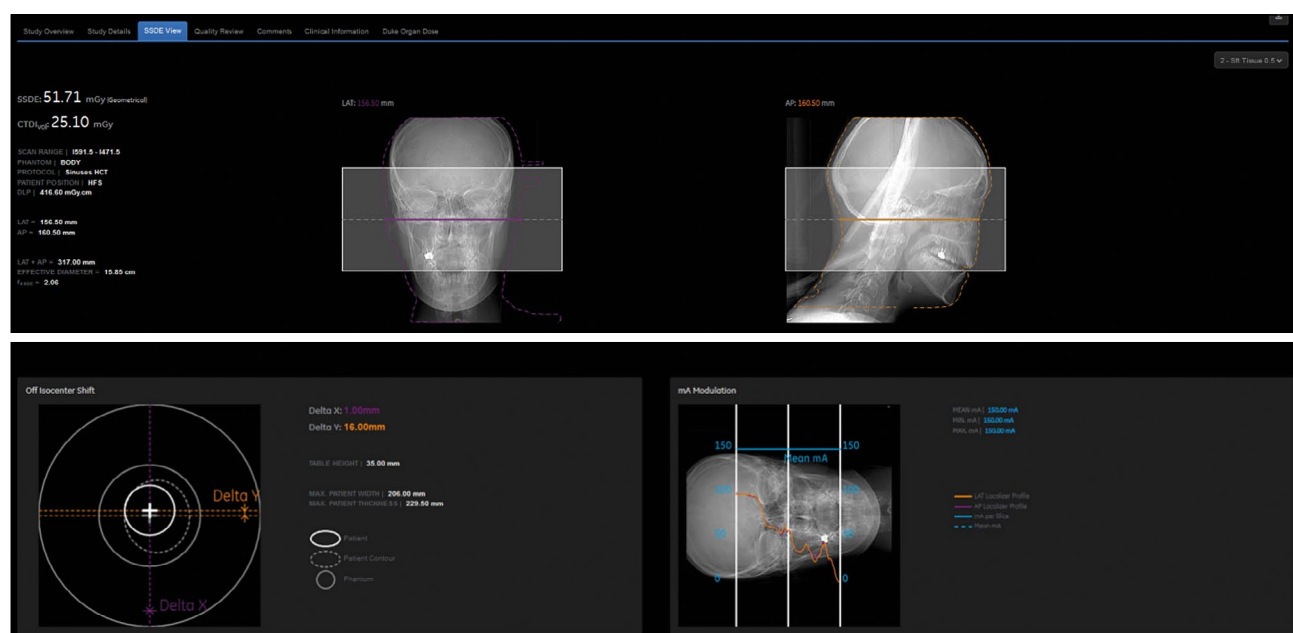


图13. 计算机断层扫描患者中心评估, DoseWatch, GE。

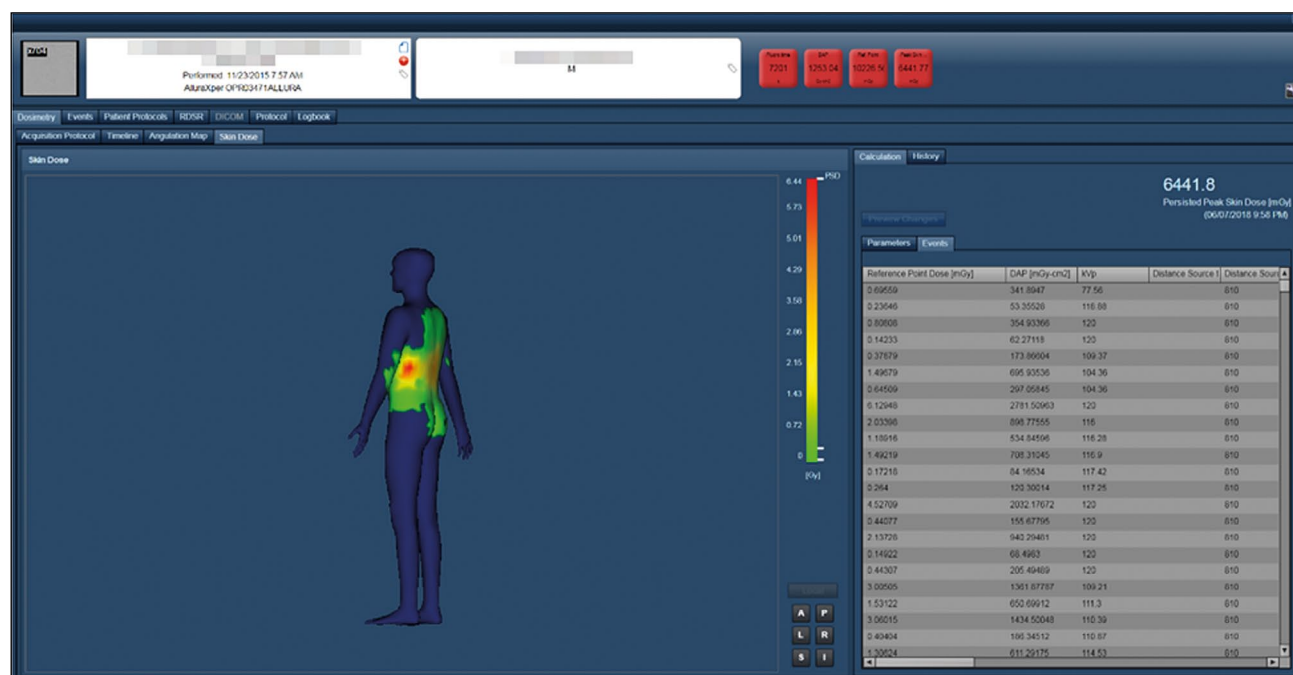


图14. 介入手术中皮肤峰值剂量的监测和优化, Radimetrics, Bayer。

量的功能。计算器官剂量的算法使用ICRP 103⁹中给出的系数。

一些MD软件实现了一个交互式剂量测定模块, 允许您通过手动更改扫描协议的参数来模拟剂量场景。可以比较不同年龄、体重和性别的患者的剂量, 但这种方法的准确性仍然存在疑问。例如, A. Iriuchijima等人[17]比较了CT中的器官剂量, 由MD软件中的蒙特卡罗法确

定, 并使用放射光致发光剂量计在拟人模型中测量。偏差为13%, MD软件中的剂量值较低。因此, 应使用此评估工具, 同时考虑到现有的限制。

目前, 这些方法正在积极改进, 包括从图像中勾勒器官轮廓和计算器官剂量。器官剂量分析对于正确评估可归因的辐射风险是必要的。

⁹ ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). 存取方式: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. 访问日期: 2022年3月15日

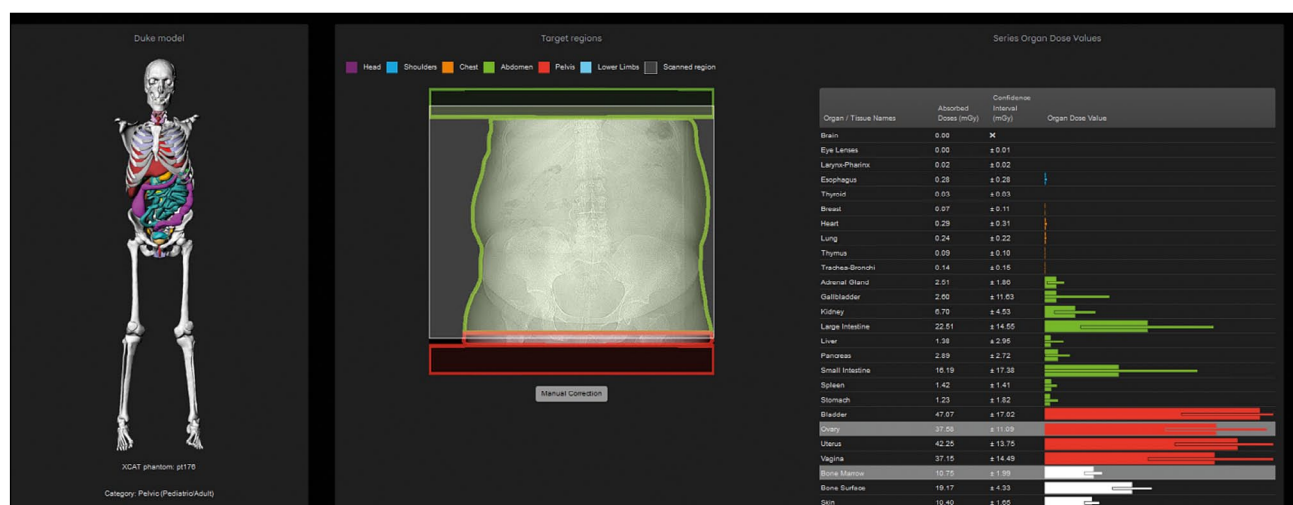


图15. 患者有效器官剂量分析, DoseWatch, GE。

实施患者剂量监测软件的国际经验

目前MD软件在不同国家得到积极使用和实施。许多出版物[10, 18, 19]证实了实施此类软件的必要性, 提供了MD软件的主要技术要求, 以及实施和使用的建议。使用MD软件的经验尤其在NICE网站上(简要介绍了医疗技术领域的创新)¹⁰, 该网站分析了在不同国家进行的10项不同研究。已经对各种方式进行了研究, 包括CT、透视程序、X射线、PET和PET/CT。主要结果包括:

- 研究不正确的主要原因是患者的高身高体重指数和铺设期间(CT)期间的不正确对齐;
- 引入MD件后, 数字X射线检查的患者剂量水平显著降低, CT的剂量减少也已实现;
- 同一医疗设施中, 不同仪器的剂量水平存在很大差异; 医疗机构之间也存在差异。经过调查, 发现协议选择不当。

C. Heilmaier等人[20]描述了软件实现的第一个结果。给出了显示超出既定剂量水平的主要原因: 高身高体重指数(52%)、不正确的居中(24%)、重复扫描(11%)等。从患者辐射安全的角度来看, 使用MD软件获得的数据的价值得到了强调。英国的一项研究[21]评估了使用MD软件的第一次体验: 它报告了处理大量数据的便利性和高速性, 以及为数据过滤选择的剂量标识符对结果质量的影响。

美国放射学会(American College of Radiology, ACR)对这一主题进行了大量工作, 其中包括为诊断程序组织剂量指数登记(Dose Index Registry, DIR)。2011年注册成立, 旨在收集和存储研究中的剂量信息。有关研究的信息, 包括DLP、CTDIvol等剂量参数, 在去个人化后, 会通过PACS或诊断设备的MD软件自动发送到寄存器。超过2000家机构与登记册相关联, 收集了超过5000万项

研究的信息。为了能够正确比较数据, 研究的名称先前已根据RadLex词典进行了标准化。每个连接到DIR的MD都会定期收到来自所有医疗机构的剂量分布表形式的报告。这种剂量登记册的存在可以有效地优化X光诊断研究患者的剂量, 识别剂量过量和方案参数选择不当的情况, 并提高放射科医生对剂量负荷问题的认识。这就是为什么实施基于PACS的MD软件的建议看起来特别有趣, 该软件在一个放射诊断服务的框架内结合了来自多个医疗组织的数据, 例如莫斯科卫生部。

结论

现代MD软件具有广泛的自动收集、存储和控制放射科患者剂量暴露数据的功能。

使用MD软件监测患者的剂量, 可以在患者病历中记录研究期间接受的有效剂量以及累积的有效剂量和剂量指标; 监测过量剂量指标和患者的有效剂量; 计划新的研究, 考虑到患者的辐射暴露; 建立和应用RDU以优化患者的剂量负荷; 与RDU比较并发出多余信号; 起草放射诊断部门关于患者剂量负荷的报告, 以提交给监管机构。

说到需要引入MD软件, 值得参考国外同行的经验和使用本文介绍的软件的积极效果。使用MD软件可以识别和消除在诊断过程中超出剂量水平的主要原因, 降低各种模式的患者剂量水平, 并优化人员的工作。

需要注意的是, MD软件的实施存在一定的限制和困难。不幸的是, 过时的诊断设备无法传输有关患者和研究参数的所有必要信息, 这限制了MD软件的使用。因此, 例如, CT上没有RDSR格式, DICOM的X射线机中缺乏有关剂量的信息, 这使得它难以工作。这就是为什么实施的MD软件应

¹⁰ NICE. Radiation dose monitoring software for medical imaging with ionising radiation. Medtech innovation briefing [published: 31 October 2017]. 接入方式: www.nice.org.uk/guidance/mib127. 访问日期: 2022年3月15日

表格患者剂量监测软件的主要功能

位号	参数	有
1	可用模式	强制接种疫苗
	计算机断层扫描(CT)、正电子发射断层扫描(PET)、PET/CT、单光子发射计算机断层扫描(SPECT)、SPECT/CT、乳房X线摄影、射线照相/透视、血管造影	
	超声、磁共振成像、光密度测定、对比度	可选的
2	供应商中立兼容性	强制接种疫苗
3	自动患者剂量跟踪	强制接种疫苗
4	读取剂量信息。可用格式	强制接种疫苗
	RDSR, OCR	
	MPPS、DICOM接头	可选的
5	病人卡	强制接种疫苗
6	内置匿名器	可选的
7	研究注册表中地形图的可用性	强制接种疫苗
8	根据剂量合理性分析地形图的可用性	强制接种疫苗
9	研究有效剂量计算	强制接种疫苗
10	患者总有效剂量计算	强制接种疫苗
11	有效剂量统计模块的可用性	可选的
12	可以调整系数以计算有效剂量	强制接种疫苗
13	CT程序的SSDE计算(AAPM TG 204)	强制接种疫苗
14	器官剂量	强制接种疫苗
15	计算对皮肤的剂量(peak skin dose)	强制接种疫苗
16	血管造影中剂量数据的时间线表示	可选的
17	交互式剂量模拟模块	可选的
18	用于本地参考水平和状态参考水平的完全可定制模块	强制接种疫苗
19	定制的可能性Dashboard	可选的
20	配置自动电子邮件通知	可选的
	按设备	强制接种疫苗
	用于医疗机构	强制接种疫苗
	按设备组	可选的
21	用于比较研究和患者剂量的工具	强制接种疫苗
	由医疗组织团体	
	通过本地化	可选的
	按研究领域	强制接种疫苗
	根据研究方案	强制接种疫苗
	按学习的数量和持续时间	强制接种疫苗
22	审核放射科医生工作的工具	强制接种疫苗
	关于研究质量	
	根据患者的剂量负荷	强制接种疫苗
23	有关已完成研究的信息,能够按方式、位置、设备进行过滤	强制接种疫苗
24	具有所需频率的可定制自动报告	强制接种疫苗
25	将数据库导出到Microsoft Excel(csv格式)	强制接种疫苗
26	患者接触报告	强制接种疫苗
27	PACS自动获取研究	强制接种疫苗
28	管理用户功能和数据访问权限	强制接种疫苗
29	LDAP集成到企业用户目录中以进行用户身份验证	可选的
30	基于图像标题分析(OCR)生成Dose SR	强制接种疫苗
31	用于与其他信息系统交换剂量信息的传出HL7接口	强制接种疫苗

该具有允许您分析当前诊断设备组参数的功能，同时考虑到扩展它的可能性。和更新作为医疗组织放射科发展的一部分。此外，MD软件的完整运行，还需要规范研究方案的名称和艰苦的“端口映射”程序（英语：data mapping——确定一个对象或不同对象的潜在不同语义之间的数据对应关系）研究。初始阶段，还应考虑系统安装和维护的预期时间和人力成本。

这项工作的框架内，研究了各种MD软件的主要功能，评估了实际工作对功能的需求。完整的MD软件参数集显示在表中，就标记了作者认为的强制性参数和可选参数。

因此，已经形成了MD软件功能的一组关键要求：

- 能够加载以下模式的研究：CT、介入放射学、放射照相和透视、乳房X线照相术、PET、PET/CT、SPECT、SPECT/CT；
- 保存病历；
- 自动计算有效剂量；
- 通过CT程序评估器官剂量；
- 计算CT的SSDE参数；
- RDU的安装和配置；
- 计算血管造影期间皮肤的剂量；
- 可用性和配置有关超过既定允许剂量水平和其他参数的自动警报通知的能力；
- 审核放射科医师的工作；
- 具有高级过滤器的分析工具；
- 自动预定报告；
- 数据库导出格式为.csv或.xlsx、.xls或.pdf。

MD软件有助于提高所提供的医疗服务质量，确保患者安全，并优化医疗机构的工作。根据特定医疗机构、医学物理学家、放射科医师、放射科医师的需求配置MD软件的能力是解决放射学和辐射安全领域所面临问题的关键。

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. M.P. Shatenok — search for relevant publications, literature analysis, research design development, data processing, writing; S.A. Ryzhov — determination of the main focus of the review, expert evaluation of literature review, research design development; K.V. Tolkachev — expert evaluation of literature review, research design development; Yu.V. Druzhinina, Z.A. Lantukh — systematization and final editing of the review.

Acknowledgments. We express our gratitude for the help in preparing the article for publication to the data researcher of the department for the coordination of scientific research, Irina A. Vinogradova, and to the translator of the scientific research work group, Andrey A. Romanov.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Parakh A., Kortensniemi M., Schindera S.T. CT radiation dose management: a comprehensive optimization process for improving patient safety // *Radiology*. 2016. Vol. 280, N 3. P. 663–673. doi: 10.1148/radiol.2016151173
2. Дружинина Ю.В., Рыжов С.А., Водоватов А.В., и др. Влияние COVID-19 на динамику изменений дозовой нагрузки на пациентов при проведении компьютерной томографии в медицинских организациях Москвы // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 1. С. 5–15. doi: 10.17816/DD87628
3. Морозов С.П., Солдатов И.В., Лантукх З.А., и др. Характеристика дозовой нагрузки на пациентов в медицинских организациях Москвы [Интернет]. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42395967>. Дата обращения: 15.03.2022.
4. Rehani M.M., Yang K., Melick E.R., et al. Patients undergoing recurrent CT scans: assessing the magnitude // *Eur Radiol*. 2020. Vol. 30, N 4. P. 1828–1836. doi: 10.1007/s00330-019-06523-y
5. Brenner D.J., Hall E.J. Computed tomography an increasing source of radiation exposure // *N Engl J Med*. 2007. Vol. 357, N 22. P. 2277–2284. doi: 10.1056/NEJMr072149
6. Пасов В.В., Коротков В.А. Хирургическое лечение ранней лучевой язвы, сформировавшейся после эндоваскулярного вмешательства // *Радиация и риск*. 2020. Т. 29, № 4. С. 158–163. doi: 10.21870/0131-3878-2020-29-4-158-163
7. Иванов В.А., Белякин С.А., Пермяков С.В., и др. Местное лучевое поражение кожи и грудных позвонков после эндоваскулярной ангиопластики коронарных артерий // *Диагностическая и интервенционная радиология*. 2010. Т. 4, № 3. С. 73–76.
8. Рыжов С.А. Радиационные аварии и ошибки в медицине. Термины и определения // *Медицинская физика*. 2019. Т. 81, № 1. С. 73–90.
9. European Commission. Council Directive 2013/59/EURATOM of December 5, 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom // *OJ of the EU*. 2014. L13, N 57. P. 1–80. Режим доступа: <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>. Дата обращения: 15.03.2022.
10. Loose R.W., Vano E., Mildnerberger P., et al. Radiation dose management systems —requirements and recommendations for users from the ESR EuroSafe Imaging initiative // *Eur Radiol*. 2021. Vol. 31. P. 2106–2114. doi: 10.1007/s00330-020-07290-x
11. Лантукх З.А., Дружинина Ю.В., Водоватов А.В., и др. Применение референтных диагностических уровней для взрослых пациентов в лучевой диагностике / под ред. С.П. Морозова. Вып. 86. Москва: НПКЦ ДиТ ДЗМ, 2020. 36 с. (Серия: Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики).
12. Vañó E., Miller D.L., Martin C.J., et al. ICRP Publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging // *Ann ICRP*. 2017. Vol. 46, N 1. P. 1–144. doi: 10.1177/0146645317717209

13. Anonymous, Size-specific Dose Estimates (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT examinations // American Association of Physicists in Medicine, TG-204. MD: AAPM, 2011.
14. Habibzadeh M.A., Ay M.R., Asl A.R., et al. Impact of miscentering on patient dose and image noise in x-ray CT imaging: phantom and clinical studies // *Phys Med*. 2012. Vol. 28, N 3. P. 191–199. doi: 10.1016/j.ejmp.2011.06.002
15. Barreto I., Lamoureux R., Olguin C., et al. Impact of patient centering in CT on organ dose and the effect of using a positioning compensation system: Evidence from OSLD measurements in postmortem subjects // *J Appl Clin Med Phys*. 2019. Vol. 20, N 6. P. 141–151. doi: 10.1002/acm2.12594
16. Xu X.G. An exponential growth of computational phantom research in radiation protection, imaging, and radiotherapy: a review of the fifty-year history // *Phys Med Biol*. 2014. Vol. 59, N 18. P. R233–R302. doi: 10.1088/0031-9155/59/18/R233
17. Iriuchijima A., Fukushima Y., Ogura A. Comparison of organ dose calculation using monte carlo simulation and in-

- phantom dosimetry in CT examination // *Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi*. 2018. Vol. 74, N 2. P. 166–171. doi: 10.6009/jjrt.2018_JSRT_74.2.166
18. Fitousi N. Patient dose monitoring systems: a new way of managing patient dose and quality in the radiology department // *Phys Med*. 2017. Vol. 44. P. 212–221. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.06.013
19. Tsalafoutas I.A., Hassan Kharita M., Al-Naemi H., Kalra M.K. Radiation dose monitoring in computed tomography: status, options and limitations // *Phys Med*. 2020. Vol. 79. P. 1–15. doi: 10.1016/j.ejmp.2020.08.020
20. Heilmaier C., Zuber N., Bruijns B., et al. Implementation of dose monitoring software in the clinical routine: first experiences // *Rofo*. 2016. Vol. 188, N 1. P. 82–88. doi: 10.1055/s-0041-106071
21. Nicol R.M., Wayte S.C., Bridges A.J., Koller C.J. Experiences of using a commercial dose management system (GE DoseWatch) for CT examinations // *Br J Radiol*. 2016. Vol. 89, N 1057. P. 20150617. doi: 10.1259/bjr.20150617

REFERENCES

1. Parakh A, Kortseniemi M, Schindera ST. CT radiation dose management: a comprehensive optimization process for improving patient safety. *Radiology*. 2016;280(3):663–673. doi: 10.1148/radiol.2016151173
2. Druzhinina YV, Ryzhov SA, Vodovatov AV, et al. COVID-19: changes in CT radiation burden across Moscow medical facilities. *Digital Diagnostics*. 2022;3(1):5–15. (In Russ). doi: 10.17816/DD87628
3. Morozov SP, Soldatov IV, Lantukh ZA, et al. Characteristics of the dose load on patients in medical organizations in Moscow [Internet]. (In Russ). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42395967>. Accessed: 15.03.2022.
4. Rehani MM, Yang K, Melick ER, et al. Patients undergoing recurrent CT scans: assessing the magnitude. *Eur Radiol*. 2020;30(4):1828–1836. doi: 10.1007/s00330-019-06523-y
5. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*. 2007;357(22):2277–2284. doi: 10.1056/NEJMr072149
6. Pasov VV, Korotkov VA. Surgical treatment of early radiation ulcer formed after endovascular intervention. *Radiation Risk*. 2020;29(4):158–163. (In Russ). doi: 10.21870/0131-3878-2020-29-4-158-163
7. Ivanov VA, Belyakin SA, Permyakov SV, et al. Local radiation damage to the skin and thoracic vertebrae after endovascular angioplasty of the coronary arteries. *Diagnostic Int Radiol*. 2010;29(4):73–76. (In Russ).
8. Ryzhov SA. Radiation accidents and errors in medicine. Terms and definitions. *Med Physics*. 2019;81(1):73–90. (In Russ).
9. European Commission. Council Directive 2013/59/EURATOM of December 5, 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. *OJ of the EU*. 2014;13(57):1–80. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>. Accessed: 15.03.2022.
10. Loose RW, Vano E, Mildenberger P, et al. Radiation dose management systems-requirements and recommendations for users from the ESR EuroSafe Imaging initiative. *Eur Radiol*. 2021;31(4):2106–2114. doi: 10.1007/s00330-020-07290-x
11. Lantukh ZA, Druzhinina YuV, Vodovatov AV, et al. The use of reference diagnostic levels for adult patients in radiation diagnostics. Ed. by S.P. Morozov. Vol. 86. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; 2020. 36 p. (Series: Best practices of radiation and Instrumental diagnostics) (In Russ).
12. Vaňó E, Miller DL, Martin CJ, et al. ICRP Publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging. *Ann ICRP*. 2017;46(1):1–144. doi: 10.1177/0146645317717209
13. Anonymous, Size-specific Dose Estimates (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT examinations. In: American Association of Physicists in Medicine, TG-204. MD: AAPM; 2011.
14. Habibzadeh MA, Ay MR, Asl AR, et al. Impact of miscentering on patient dose and image noise in x-ray CT imaging: phantom and clinical studies. *Phys Med*. 2012;28(3):191–199. doi: 10.1016/j.ejmp.2011.06.002
15. Barreto I, Lamoureux R, Olguin C, et al. Impact of patient centering in CT on organ dose and the effect of using a positioning compensation system: Evidence from OSLD measurements in postmortem subjects. *J Appl Clin Med Phys*. 2019;20(6):141–151. doi: 10.1002/acm2.12594
16. Xu XG. An exponential growth of computational phantom research in radiation protection, imaging, and radiotherapy: a review of the fifty-year history. *Phys Med Biol*. 2014;59(18):R233–R302. doi: 10.1088/0031-9155/59/18/R233
17. Iriuchijima A, Fukushima Y, Ogura A. Comparison of organ dose calculation using monte carlo simulation and in-phantom dosimetry in CT examination. *Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi*. 2018;74(2):166–171. doi: 10.6009/jjrt.2018_JSRT_74.2.166
18. Fitousi N. Patient dose monitoring systems: a new way of managing patient dose and quality in the radiology department. *Phys Med*. 2017;44:212–221. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.06.013
19. Tsalafoutas IA, Hassan Kharita M, Al-Naemi H, Kalra MK. Radiation dose monitoring in computed tomography: status, options and limitations. *Phys Med*. 2020;79:1–15. doi: 10.1016/j.ejmp.2020.08.020
20. Heilmaier C, Zuber N, Bruijns B, et al. Implementation of dose monitoring software in the clinical routine: first experiences. *Rofo*. 2016;188(1):82–88. doi: 10.1055/s-0041-106071
21. Nicol RM, Wayte SC, Bridges AJ, Koller CJ. Experiences of using a commercial dose management system (GE DoseWatch) for CT examinations. *Br J Radiol*. 2016;89(1057):20150617. doi: 10.1259/bjr.20150617

AUTHORS' INFO

*** Maria P. Shatenok;**

address: Petrovka st. 24/1, Moscow, 127051, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9217-7011>;
eLibrary SPIN: 5165-7113; e-mail: m.shatenok@npcmr.ru

Sergey A. Ryzhov;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0640-7368>;
eLibrary SPIN: 6595-4011; e-mail: s.ryzhov@npcmr.ru

Zoya A. Lantukh;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6623-9610>;
eLibrary SPIN: 5486-6496; e-mail: z.lantukh@npcmr.ru

Yuliya V. Druzhinina;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3230-3722>;
eLibrary SPIN: 1973-2848; e-mail: yu.druzhinina@npcmr.ru

Kirill V. Tolkachev;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-8700>;
eLibrary SPIN: 3196-7497; e-mail: k.tolkachev@npcmr.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Шатёнок Мария Петровна;**

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9217-7011>;
eLibrary SPIN: 5165-7113; e-mail: m.shatenok@npcmr.ru

Рыжов Сергей Анатольевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0640-7368>;
eLibrary SPIN: 6595-4011; e-mail: s.ryzhov@npcmr.ru

Лантух Зоя Александровна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6623-9610>;
eLibrary SPIN: 5486-6496; e-mail: z.lantukh@npcmr.ru

Дружинина Юлия Владимировна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3230-3722>;
eLibrary SPIN: 1973-2848; e-mail: yu.druzhinina@npcmr.ru

Толкачев Кирилл Владимирович;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-8700>;
eLibrary SPIN: 3196-7497; e-mail: k.tolkachev@npcmr.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110794>

Прозрачная отчётность о многофакторной предсказательной модели для индивидуального прогнозирования или диагностики (TRIPOD): разъяснения и уточнения

K.G.M. Moons¹, D.G. Altman², J.B. Reitsma¹, J.P.A. Ioannidis³, P. Macaskill⁴, E.W. Steyerberg⁵, A.J. Vickers⁶, D.F. Ransohoff⁷, G.S. Collins²

¹ Julius Center for Health Sciences and Primary Care, University Medical Center Utrecht, PO Box 85500, 3508 GA Utrecht, Нидерланды

² Centre for Statistics in Medicine, Nuffield Department of Orthopaedics, Rheumatology and Musculoskeletal Sciences, Botnar Research Centre, University of Oxford, Oxford OX3 7LD, Великобритания

³ Stanford Prevention Research Center, School of Medicine, Stanford University, 291 Campus Drive, Room LK3C02, Li Ka Shing Building, 3rd Floor, Stanford, CA 943055101, США

⁴ Screening & Test Evaluation Program (STEP), School of Public Health, Edward Ford Building (A27), Sydney Medical School, University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Австралия

⁵ Department of Public Health, Erasmus MC-University Medical Center Rotterdam, PO Box 2040, 3000 CA, Rotterdam, Нидерланды

⁶ Department of Epidemiology and Biostatistics, Memorial Sloan Kettering Cancer Center, 307 East 63rd Street, 2nd Floor, Box 44, New York, NY 10065, США

⁷ Departments of Medicine and Epidemiology, University of North Carolina at Chapel Hill, 4103 Bioinformatics, CB 7080, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, NC 27599-7080, США

АННОТАЦИЯ

Руководство TRIPOD (Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis) содержит контрольный перечень из 22 пунктов рекомендаций, предложенных для повышения качества отчётности по исследованиям, в которых разрабатывали, проверяли или обновляли предсказательные модели для диагностики или прогнозирования. Руководство TRIPOD направлено на повышение прозрачности отчёта об исследовании предсказательной модели, независимо от использованных методов. Этот документ с пояснениями и уточнениями включает обоснование, разъяснения значений каждого пункта рекомендаций, обсуждение важности прозрачной отчётности для оценки риска систематических ошибок и клинической полезности предсказательной модели. Каждая рекомендация руководства TRIPOD подробно объясняется, приводятся опубликованные примеры правильного представления результатов. Документ также содержит ценную справочную информацию, которую следует учитывать при разработке, проведении и анализе исследований предсказательных моделей. Рекомендуем авторам включать в свои работы все пункты контрольного перечня, что облегчит оценку исследования редакторами, рецензентами, читателями и исследователями, проводящими систематическое обобщение результатов таких исследований. Контрольный перечень TRIPOD также доступен по адресу: www.tripod-statement.org.

Информацию о членах инициативной группы TRIPOD см. в **Приложении**.

Данная статья является переводом на русский язык. Оригинальная статья опубликована в *Annals of Internal Medicine*. 2015;162(1):W1–W73. doi: 10.7326/M14-0698. Перевод и повторная публикация осуществлены с разрешения правообладателя. Перевод и научное редактирование выполнены д.м.н. Р.Т. Сайгитовым (ORCID: 0000-0002-8915-6153).

Как цитировать

Moons K.G.M., Altman D.G., Reitsma J.B., Ioannidis J.P.A., Macaskill P., Steyerberg E.W., Vickers A.J., Ransohoff D.F., Collins G.S. Прозрачная отчётность о многофакторной предсказательной модели для индивидуального прогнозирования или диагностики (TRIPOD): разъяснения и уточнения // *Digital Diagnostic*. 2022. Т. 3, №3. С. 232–322. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110794>

* полный текст доступен по QR-коду.



DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110794>

Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis (TRIPOD): Explanation and Elaboration. Translation in to Russian

Karel G.M. Moons¹, Douglas G. Altman², Johannes B. Reitsma¹, John P.A. Ioannidis³, Petra Macaskill⁴, Ewout W. Steyerberg⁵, Andrew J. Vickers⁶, David F. Ransohoff⁷, Gary S. Collins²

¹ Julius Center for Health Sciences and Primary Care, University Medical Center Utrecht, PO Box 85500, 3508 GA Utrecht, the Netherlands

² Centre for Statistics in Medicine, Nuffield Department of Orthopaedics, Rheumatology and Musculoskeletal Sciences, Botnar Research Centre, University of Oxford, Oxford OX3 7LD, United Kingdom

³ Stanford Prevention Research Center, School of Medicine, Stanford University, 291 Campus Drive, Room LK3C02, Li Ka Shing Building, 3rd Floor, Stanford, CA 943055101, USA

⁴ Screening & Test Evaluation Program (STEP), School of Public Health, Edward Ford Building (A27), Sydney Medical School, University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia

⁵ Department of Public Health, Erasmus MC-University Medical Center Rotterdam, PO Box 2040, 3000 CA, Rotterdam, the Netherlands

⁶ Department of Epidemiology and Biostatistics, Memorial Sloan Kettering Cancer Center, 307 East 63rd Street, 2nd Floor, Box 44, New York, NY 10065, USA

⁷ Departments of Medicine and Epidemiology, University of North Carolina at Chapel Hill, 4103 Bioinformatics, CB 7080, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, NC 27599-7080, USA

ABSTRACT

The TRIPOD (Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis) Statement includes a 22-item checklist, which aims to improve the reporting of studies developing, validating, or updating a prediction model, whether for diagnostic or prognostic purposes. The TRIPOD Statement aims to improve the transparency of the reporting of a prediction model study regardless of the study methods used. This explanation and elaboration document describes the rationale; clarifies the meaning of each item; and discusses why transparent reporting is important, with a view to assessing risk of bias and clinical usefulness of the prediction model. Each checklist item of the TRIPOD Statement is explained in detail and accompanied by published examples of good reporting. The document also provides a valuable reference of issues to consider when designing, conducting, and analyzing prediction model studies. To aid the editorial process and help peer reviewers and, ultimately, readers and systematic reviewers of prediction model studies, it is recommended that authors include a completed checklist in their submission. The TRIPOD checklist can also be downloaded from www.tripod-statement.org.

For members of the TRIPOD Group, see the Appendix.

This article is the translation in to Russian by Dr. Ruslan Saygitov (ORCID: 0000-0002-8915-6153) from the original published in [*Ann Intern Med.* 2015; 162:W1-W73. doi: 10.7326/M14-0698].

To cite this article

Moons KGM, Altman DG, Reitsma JB, Ioannidis JPA, Macaskill P, Steyerberg EW, Vickers AJ, Ransohoff DF, Collins GS. Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis (TRIPOD): Explanation and Elaboration. Translation in to Russian. *Digital Diagnostic.* 2022;3(3):232–322. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110794>

Received: 15.12.2021

Accepted: 10.08.2022

Published: 05.10.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110794>

个体预后或诊断的多变量预测模型透明报告(TRIPOD)：解释和说明

Karel G.M. Moons¹, Douglas G. Altman², Johannes B. Reitsma¹,
John P.A. Ioannidis³, Petra Macaskill⁴, Ewout W. Steyerberg⁵, Andrew J. Vickers⁶,
David F. Ransohoff⁷, Gary S. Collins²

¹ Julius Center for Health Sciences and Primary Care, University Medical Center Utrecht, PO Box 85500, 3508 GA Utrecht, the Netherlands

² Centre for Statistics in Medicine, Nuffield Department of Orthopaedics, Rheumatology and Musculoskeletal Sciences, Botnar Research Centre, University of Oxford, Oxford OX3 7LD, United Kingdom

³ Stanford Prevention Research Center, School of Medicine, Stanford University, 291 Campus Drive, Room LK3C02, Li Ka Shing Building, 3rd Floor, Stanford, CA 943055101, USA

⁴ Screening & Test Evaluation Program (STEP), School of Public Health, Edward Ford Building (A27), Sydney Medical School, University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia

⁵ Department of Public Health, Erasmus MC-University Medical Center Rotterdam, PO Box 2040, 3000 CA, Rotterdam, the Netherlands

⁶ Department of Epidemiology and Biostatistics, Memorial Sloan Kettering Cancer Center, 307 East 63rd Street, 2nd Floor, Box 44, New York, NY 10065, USA

⁷ Departments of Medicine and Epidemiology, University of North Carolina at Chapel Hill, 4103 Bioinformatics, CB 7080, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, NC 27599-7080, USA

简评

TRIPOD (Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis) 指南包含22项建议的清单，以提高诊断或预测模型已被开发、测试或更新的研究报告的质量。TRIPOD指南旨在提高预测模型研究报告的透明度，无论使用何种方法。该文件含有解释和说明，包括理由、对建议每一点含义的澄清、对透明报告对评估偏倚风险的重要性的讨论以及预测模型的临床有用性。TRIPOD指南中的每项建议都有详细的解释，并附有已发布的正确报告结果的示例。本文还提供了在设计、进行和分析预测模型研究时应考虑的有价值的参考信息。我们建议作者在他们的论文中包含所有清单项目，这将有助于编辑、审稿人、读者和对此类研究进行系统综合的研究人员对研究进行评估。TRIPOD清单也可在以下网站获得：www.tripod-statement.org。

关于倡议小组成员的信息可在**附录**中找到。

本文为俄文译本。原文发表在Annals of Internal Medicine. 2015;162(1):W1 - W73. doi: 10.7326/M14-0698。翻译和科学编辑是由R. T. Saygitov进行的。

To cite this article

Moons KGM, Altman DG, Reitsma JB, Ioannidis JPA, Macaskill P, Steyerberg EW, Vickers AJ, Ransohoff DF, Collins GS. 个体预后或诊断的多变量预测模型透明报告 (TRIPOD)：解释和说明。Translation in to Russian. *Digital Diagnostic*. 2022;3(3):232–322. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110794>

收到: 15.12.2021

接受: 10.08.2022

发布日期: 05.10.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108982>

Сосуществование машинного интеллекта, цифрового искусства и диагностики: возможно ли оно?

А.В. Власов^{1, 2}

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

² Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н. Ф. Измерова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Развитие машинного интеллекта и применение генеративных изображений, созданных с его помощью, является перспективным направлением коммуникационного дизайна и человеко-машинного взаимодействия. Письмо в редакцию представляет собой авторское видение применения генеративных изображений в области диагностики состояний человека.

Использование машинного интеллекта как интерактивного и интеллектуального инструмента диагностики позволит психологу и врачу эффективно дополнить терапевтические процессы контролируемого взаимодействия их участников.

Сейчас уже существуют библиотеки моделей и наборы приложений с text-to-image алгоритмами, которые могут быть задействованы инженерами и дизайнерами в процессе создания объектов современного цифрового искусства, и также могут быть использованы в исследованиях новых парадигм с помощью визуальных коммуникаций, их прикладного применения в экспериментальной диагностике.

Ключевые слова: генеративные изображения; text2image; визуальное восприятие; диагностика.

Как цитировать

Власов А.В. Сосуществование машинного интеллекта, цифрового искусства и диагностики: возможно ли оно? // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 3. С. 324–330. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108982>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108982>

Coexistence of machine intelligence, cyber art, and diagnostics: is it possible?

Andrey V. Vlasov^{1, 2}

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

² Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

The development of machine intelligence and the application of generative images created using it is a promising area of communication design and human-machine interaction. This letter to the editor represents the author's vision of the use of generative images for diagnosing human conditions.

The use of machine intelligence as an interactive and intelligent diagnostic tool will allow a psychologist and a physician to effectively complement the therapeutic processes of controlled interactions of their users.

Libraries of models and sets of applications with text-to-image algorithms are already available that can be used by engineers and designers in the process of creating objects of modern digital art. They can also be applied in the investigation of new paradigms using visual communications and their application in experimental diagnostics.

Keywords: generative images; text2image; visual perception; diagnostics.

To cite this article

Vlasov AV. Coexistence of machine intelligence, cyber art, and diagnostics: is it possible? *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):324–330.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108982>

Received: 28.06.2022

Accepted: 25.07.2022

Published: 22.08.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108982>

机器智能、数字艺术和诊断的共存：有可能吗？

Andrey V. Vlasov^{1, 2}

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

² Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation

简评

机器智能的发展和在其帮助下创建的生成图像的使用是通信设计和人机交互的一个有前途的方向。致编辑的信提出了作者对生成图像应用于人类状况诊断的设想。

使用机器智能作为交互式 and 智能诊断工具将允许心理学家和医生有效地补充其参与者受控交互的治疗过程。

现在已经有了带有文本生成图像 (text-to-image) 算法的模型库和应用程序集, 可供工程师和设计师在创建当代数字艺术对象的过程中使用, 也可以用于研究使用视觉的新范式通信, 其在实验诊断中的应用。

关键词: 生成图像; 文本生成图像 (text2image); 视觉感知; 诊断。

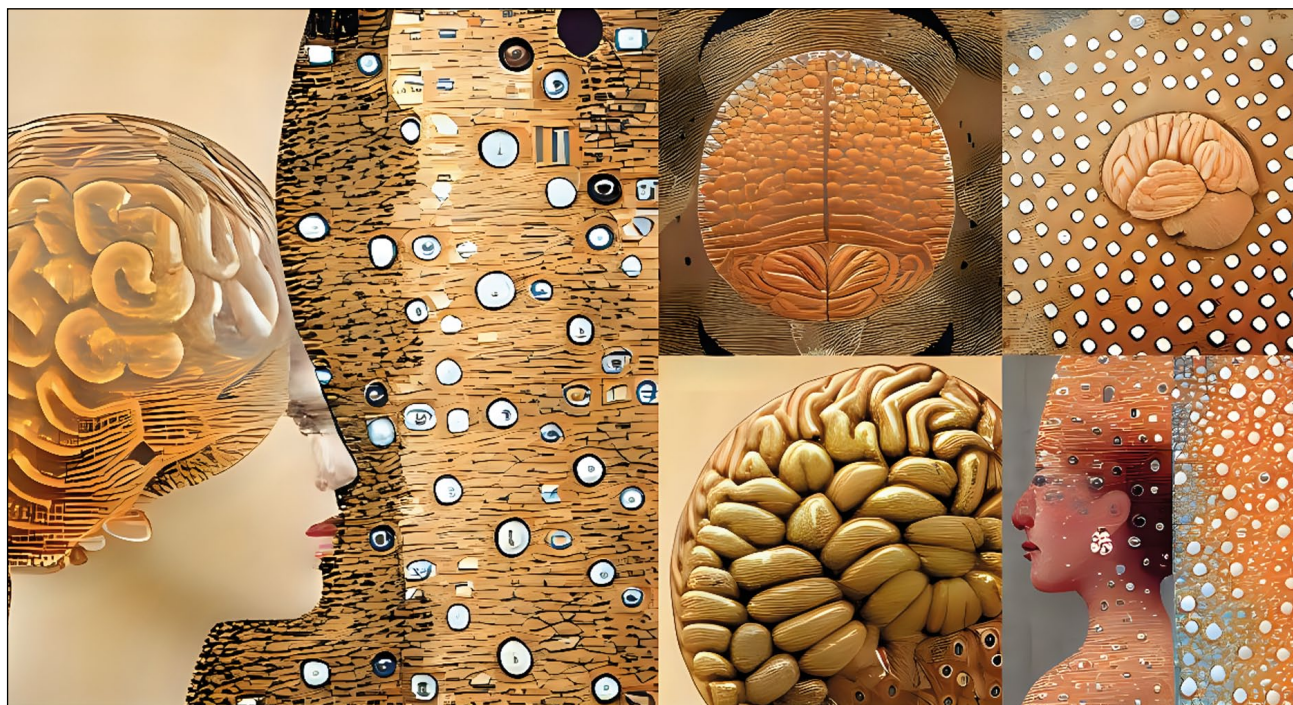
To cite this article

Vlasov AV. 机器智能、数字艺术和诊断的共存：有可能吗？ *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):324–330. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108982>

收到: 28.06.2022

接受: 25.07.2022

发布日期: 22.08.2022



形象的视觉感知

机器学习 (machine learning, ML) 广泛用于诊断目的, 解决病理分类、搜索和可视化问题, 其中包括从出版活动的角度来看研究最多的主题之一, 是阿尔茨海默病的诊断 [1, 2]。随着ML算法 (特别是支持向量机) 的应用和诊断工具的扩展, 用于创建视觉内容的人工神经网络和生成模型——text2image——正在积极开发。Text2image模型指的是一种允许根据文本查询生成图像的算法。

在当代文化中, 对视觉图像的感知, 如艺术图像, 与每个人对情感和认知过程, 其感知和解释的个人特征直接相关。事实上, 举例来说, 我们对一个抽象事物的感知方式 (图1) 可以告诉我们很多关于我们自己的信息。M. F. Koich和F. Pessotto在其研究[3]中表明, 图像情感感知的扭曲与个人性格特征有关。在作者的研究中, 呈现某些图像时的喜悦感与社交性相关, 而恐惧感与抵抗侵略和捍卫个人界限的能力相关。

广播艺术内容的一项有前途的技术是虚拟现实技术, 用户 (患者) 在其中创建自己的现实, 一个在内心世界和外部现实之间的“过渡”, 可以与心理学家或医生一起探索[4]。由于虚拟现实技术, 研究人员有了具有独特功能的新工具。例如, F. Paladines-Jaramillo等人[5]采用罗森茨威格测试来诊断挫败感, 为此, 将带有各种情况图片的刺激材料转移到虚拟环境中。

包括通用人工智能在内的技术将能够逐渐地成为治疗过程中的一个自然的组成部分, 将被整合。显然需要研究和开发专门的治疗应用和系统, 以适应和大规模实施。

机器智能

机器智能的能力正在迅速扩大, 与虚拟现实技术保持同步。在过去的一年中, 我们在使用生成式对抗网络 (generative adversarial network, GAN) 和扩散模型 (diffusion models, DM), 如 DALL-E-2、Imagen、ruDALL-E、VQGAN, Stable Diffusion, Latent Diffusion, Disco Diffusion 等, 创建生成数字艺术对象¹、设计对象、逼真绘画、彩色图像方面取得了惊人的成果, 其工作原理是将输入文本转换为图像。

开发算法和输入文本查询的人与GAN (或DM) 之间联合互动的后果已经是一种额外的创造性效果[6]。在这种情况下, text2image模型的计算结果是一个数字对象, 一个2D图像。

一个有趣的事实是, 类似GAN的模型用于分析神经影像数据 (计算机断层扫描或磁共振成像²) [7, 8]。

机器智能完全掌握文本: 在当前人工智能技术的发展水平上, 预测文本下一个元素的能力对于理解其含义和创造新的有意义的文本非常重要。可以指出, 创建视觉图像的算法也使用“下一个像素的预测”, 但与文本模型 (GTP-3等) 及其生

¹ 例如DALL-E 2 OpenAI (存取方式: <https://openai.com/dall-e-2>); ruDALL-E (Dally) Sber、SberDevices (存取方式: <https://rudalle.ru>)。

² 详细请见有关生成式对抗网络在医学图像分析中的作用的评论。

成的文本短语不同，在对话交互过程中，人与人之间的同步发生在神经和心理层面[9]，例如随着共享情感场的连接而增加[10]。这种神经同步的积极作用应用于通信实验[11, 12]。

视觉感知和情感

开发人员不断努力改进神经网络的功能和效率性（应用程序DALL-E 2、ruDALL-E、Stable Diffusion、Midjourney等），它们的出现激发了科学家们通过生成艺术³来探索嵌入艺术对象中的视觉感知的意义[36, 13]。这就提出了一个合乎逻辑的问题：对数字艺术对象的感知是否与观看者的个人特征有关。特别是，P.Achlioptas等人[14]对伴随着艺术作品的视觉感知的情感以及对自身情感的相关解释进行了研究。在这个实验中，视觉艺术作品被用作刺激材料，以唤起强烈的情绪反应。正如作者[14]所强调的，在人工智能系统的开发中，激情成分往往被低估。

让我们通过回答以下问题来进行一个小型实验：“你认为图2所示的两幅图像中哪一幅是由神经网络创造的？”

答案很简单。这两个图像（图2）是使用人工智能创建的[15]。

由于text2image生成模型的发展，使用神经网络快速创建一系列专题独特的数字图像似乎是可行的。目前，几乎所有的研究人员都可以使用这种工具，生成新的上下文图像，并计划自己的实验设计。

使用视觉艺术作为组织研究的刺激物在生态上是有效的。一个人在反应中会有许多体验，包括情绪

和自我反省。这种体验是高度个性化的，那些看着同一物体的人的反应有很大的不同。这些个体差异通过大脑不同子网络中的神经元活动模式得到证实[16]。

结论

在积极回答信中提出的问题（是否有可能将机器学习用于生成性图像和实验诊断中的应用）时，应该强调的是，在心理学和生成艺术的界面上的研究发展，即机器学习创造完全的艺术作品，促进了支持情感人机互动的智能系统的出现。反转来，这些系统将被内置到机器人中，作为社会伙伴，它们将帮助人类适应性地管理和调节自己的情绪，而作为医疗助手，它们将组织治疗活动。

这种方法不仅可以作为心理学家和医生办公桌上的互动和智能工具来实施，例如，用于对患者的情感过程进行实验诊断，而且可以作为一个更复杂的系统⁴，为实用医学目的提供可控的医生机器学习智能与患者的互动。

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. The author declare that he has no competing interests.

Author's contribution. The author 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.

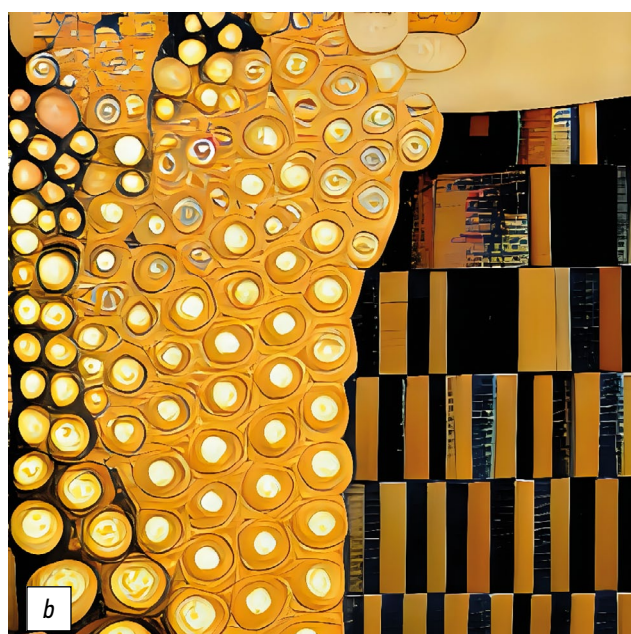


图2. 使用神经网络创建的图像（a，b）。

³ 生成艺术是指使用信息技术创作的艺术品，特别是GAN或DM[6, 13]。

⁴ 医疗器械。

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tanveer M., Richhariya B., Khan R.U., et al. Machine learning techniques for the diagnosis of alzheimer's disease: a review // *ACM Transactions Multimedia Computing Communications Applications*. 2020. Vol. 16, N 1. P. 35. doi: 10.1145/3344998
2. Sharma S., Mandal P.K. A comprehensive report on machine learning-based early detection of alzheimer's disease using multi-modal neuroimaging data // *ACM Computing Surveys*. 2023. Vol. 55, N 2. P. 1–44. doi: 10.1145/3492865
3. Koich M.F., Pessotto F. Projective aspects on cognitive performance: distortions in emotional perception correlate with personality // *Psicologia Reflexão Crítica*. 2016. Vol. 29, N 17. P. 1–8. doi: 10.1186/s41155-016-0036-6
4. Адаскина А.А. Терапевтические возможности цифрового художественного творчества // *Современная зарубежная психология*. 2021. Т. 10, № 4. С. 107–116. doi: 10.17759/jmfp.2021100410
5. Paladines-Jaramillo F., Egas-Reyes V., Ordonez-Camacho D., et al. Using virtual reality to detect, assess, and treat frustration. In: Morales R.G., Fonseca C., Salgado E.R., et al. (eds.) *Information and communication technologies. TICEC 2020*. Vol. 1307. Communications in Computer and Information Science. Springer, Cham, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-62833-8_28
6. Cetinic E., She J. Understanding and creating art with ai: review and outlook // *ACM Trans. Multimedia Comput Commun*. 2022. Vol. 18, N 2. P. 1–22. doi: 10.1145/3475799
7. AlAmir M., AlGhamdi M. The role of generative adversarial network in medical image analysis: an in-depth survey // *ACM Computing Surveys*. 2022. doi: 10.1145/3527849
8. Ali H., Biswas R., Ali F., et al. The role of generative adversarial networks in brain MRI: a scoping review // *Insights into Imaging*. 2022. Vol. 13, N 98. P. 1–15. doi: 10.1186/s13244-022-01237-0
9. Lankinen K., Saari J., Hari R., et al. Intersubject consistency of cortical MEG signals during movie viewing // *NeuroImage*. 2014. N 92. P. 217–224. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.02.004
10. Nummenmaa L., Glerean E., Viinikainen M., et al. Emotions promote social interaction by synchronizing brain activity across individuals // *Proceedings Nat Academy Sci*. 2012. Vol. 109, N 24. P. 9599–9604. doi: 10.1073/pnas.120609510
11. Tseng P.H., Rajangam S., Lehew G., et al. Interbrain cortical synchronization encodes multiple aspects of social interactions in monkey pairs // *Sci Rep*. 2018. Vol. 8, N 1. P. 4699. doi: 10.1038/s41598-018-22679-x
12. Shanechi M.M. Brain-machine interfaces from motor to mood // *Nat Neurosci*. 2019. Vol. 22, N 10. P. 1554–1564. doi: 10.1038/s41593-019-0488-y
13. Vlasov A. GALA Inspired by Neo Klimt: 2D images processing with implementation for interaction and perception studies (preprint). 2022. doi: 10.13140/RG.2.2.10806.57928
14. Achlioptas P., Ovsjanikov M., Haydarov K., et al. ArtEmis: affective language for visual art // *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, October 6, 2021. P. 11569–11579. doi: 10.48550/arXiv.2101.07396
15. Gala Klimt. Digital art collection of pictorial poems. Ridero. 2022. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/project/GALA-KLIMT>. Дата обращения: 15.07.2022.
16. Vessel E.A., Starr G.G., Rubin N. The brain on art: intense aesthetic experience activates the default mode network // *Front Hum Neurosci*. 2012. N 6. P. 66. doi: 10.3389/fnhum.2012.00066

REFERENCES

1. Tanveer M., Richhariya B., Khan RU, et al. Machine learning techniques for the diagnosis of alzheimer's disease: a review. *ACM Transactions Multimedia Computing Communications Applications*. 2020;16(1):35. doi: 10.1145/3344998
2. Sharma S, Mandal PK. A comprehensive report on machine learning-based early detection of alzheimer's disease using multi-modal neuroimaging data. *ACM Computing Surveys*. 2023;55(2):1–44. doi: 10.1145/3492865
3. Koich MF, Pessotto F. Projective aspects on cognitive performance: distortions in emotional perception correlate with personality. *Psicologia Reflexão Crítica*. 2016;29(17):1–8. doi: 10.1186/s41155-016-0036-6
4. Adaskina AA. Therapeutic possibilities of digital artistic creativity. *Modern Foreign Psychology*. 2021;10(4):107–116. (In Russ). doi: 10.17759/jmfp.2021100410
5. Paladines-Jaramillo F, Egas-Reyes V, Ordonez-Camacho D, et al. Using virtual reality to detect, assess, and treat frustration. In: Morales R.G., Fonseca C., Salgado E.R., et al. (eds.) *Information and communication technologies. TICEC 2020*. Vol. 1307. Communications in Computer and Information Science. Springer, Cham, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-62833-8_28
6. Cetinic E, She J. Understanding and creating art with ai: review and outlook. *ACM Trans Multimedia Comput Commun Applications*. 2022;18(2):1–22. doi: 10.1145/3475799
7. AlAmir M, AlGhamdi M. The Role of generative adversarial network in medical image analysis: an in-depth survey. *ACM Computing Surveys*. 2022. doi: 10.1145/3527849
8. Ali H, Biswas R, Ali F, et al. The role of generative adversarial networks in brain MRI: a scoping review. *Insights Into Imaging*. 2022;13(8):1–15. doi: 10.1186/s13244-022-01237-0
9. Lankinen K, Saari J, R Hari, et al. 2014. Intersubject consistency of cortical MEG signals during movie viewing. *NeuroImage*. 2014;92:217–224. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.02.004
10. Nummenmaa L, Glerean E, Viinikainen M, et al. Emotions promote social interaction by synchronizing brain activity across individuals. *Proceedings Nat Academy Sci*. 2012;109(24):9599–9604. doi: 10.1073/pnas.120609510
11. Tseng PH, Rajangam S, Lehew G, et al. Interbrain cortical synchronization encodes multiple aspects of social interactions in monkey pairs. *Sci Rep*. 2018;8(1):4699. doi: 10.1038/s41598-018-22679-x
12. Shanechi MM. Brain-machine interfaces from motor to mood. *Nat Neurosci*. 2019;22(10):1554–1564. doi: 10.1038/s41593-019-0488-y
13. Vlasov A. GALA Inspired by Neo Klimt: 2D images processing with implementation for interaction and perception studies (preprint). 2022. doi: 10.13140/RG.2.2.10806.57928
14. Achlioptas P, Ovsjanikov M, Haydarov K, et al. ArtEmis: affective language for visual art. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference*

on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), October 6, 2021:11569–11579. doi: 10.48550/arXiv.2101.07396

15. Gala Klimt. Digital art collection of pictorial poems. Ridero. 2022. Available from: <https://www.researchgate.net/project/GALA-KLIMT>. Accessed: 15.08.2022.

AUTHOR'S INFO

*** Andrey V. Vlasov;**

address: 24-1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9227-1892>;
eLibrary SPIN: 3378-8650; e-mail: a.vlasov@npcmr.ru

16. Vessel EA, Starr GG, Rubin N. The brain on art: intense aesthetic experience activates the default mode network. *Front Hum Neurosci.* 2012;6:66. doi: 10.3389/fnhum.2012.00066

ОБ АВТОРЕ

*** Власов Андрей Васильевич;**

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9227-1892>;
eLibrary SPIN: 3378-8650; e-mail: a.vlasov@npcmr.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108404>

Возможности диагностики: инновационный подход в использовании магнитно-резонансной томографии при аневризме аорты

Е. Кобелев¹, Н.Т. Пак¹, Е.Э. Бобрикова¹, В.Ю. Усов², Е.Э. Кливер¹, Д.А. Сирота¹,
А.М. Чернявский¹, Т.А. Берген¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина, Новосибирск, Российская Федерация

² Томский национальный исследовательский медицинский центр, Томск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

В статье сообщается об инновационном применении магнитно-резонансной томографии для определения хирургической тактики.

Авторы описывают случай 47-летнего пациента, которому провели исследование методом магнитно-резонансной томографии с последующим хирургическим лечением аневризмы аорты. В отличие от эхокардиографии, этот способ диагностики позволяет увидеть всю грудную аорту, в отличие от компьютерной томографии — помогает выявить изменения в стенке аорты. С помощью магнитно-резонансной томографии удалось определить дистальный край резекции. Послеоперационный период прошёл без осложнений. По синхронизированным с электрокардиограммой данным проведена оценка структурных изменений стенки аорты и её механические свойства. Важно отметить, что результаты магнитно-резонансной томографии коррелировали с результатами гистологического исследования.

Для эффективного хирургического лечения пациентов с аневризмой аорты необходимо определять степень изменений в стенке сосуда.

Магнитно-резонансная томография стенки аорты — перспективное направление в диагностике, требующее дальнейшего изучения в многоцентровых исследованиях.

Ключевые слова: МРТ; магнитно-резонансная томография; аневризма грудной аорты; стенка аорты; клинический случай.

Как цитировать

Кобелев Е., Пак Н.Т., Бобрикова Е.Э., Усов В.Ю., Кливер Е.Э., Сирота Д.А., Чернявский А.М., Берген Т.А. Возможности диагностики: инновационный подход в использовании магнитно-резонансной томографии при аневризме аорты // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 3. С. 332–339.
DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108404>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108404>

Diagnostic challenge: innovative approach in use of magnetic resonance imaging in aortic aneurysm

Evgenii Kobelev¹, Natalya T. Pak¹, Evgeniya E. Bobrikova¹, Wladimir Yu. Usov²,
Evgeniy E. Kliver¹, Dmitriy A. Sirota¹, Aleksandr M. Chernyavskiy¹, Tatyana A. Bergen¹

¹ E. Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

² Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russian Federation

ABSTRACT

Here we report a case of technological innovation: the use of magnetic resonance imaging to determine surgical strategy.

Here is a 47-year-old man who underwent an magnetic resonance imaging and subsequent surgical treatment of the aortic aneurysm. Unlike echocardiography, magnetic resonance imaging enabled us to view the entire thoracic aorta. Unlike computer tomography, magnetic resonance imaging enabled us to detect changes in the aortic wall accurately. Thus, in this case, the use of magnetic resonance imaging allowed us to determine the distal resection edge. The patient's postoperative course was unremarkable. Use of electrocardiogram-synchronized magnetic resonance imaging of thoracic aorta allows detecting structural changes of the aortic wall and its mechanical properties. It is significant that magnetic resonance imaging results of the aortic wall correlate with histologic examination.

The extent of changes in the aortic wall must be determined to accurately plan surgical treatment of patients with aortic aneurism.

Magnetic resonance imaging of the aortic wall is promising for further study in multicenter research.

Keywords: MRI; magnetic resonance imaging; thoracic aneurism; aortic wall; case report.

To cite this article

Kobelev E, Pak NT, Bobrikova EE, Usov WYu, Kliver EE, Sirota DA, Chernyavskiy AM, Bergen TA. Diagnostic challenge: innovative approach in use of magnetic resonance imaging in aortic aneurysm. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):332–339. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108404>

Received: 31.05.2022

Accepted: 29.06.2022

Published: 22.08.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108404>

诊断能力：在主动脉瘤中使用磁共振成像的创新方法

Evgenii Kobelev¹, Natalya T. Pak¹, Evgeniya E. Bobrikova¹, Wladimir Yu. Usov²,
Evgeniy E. Kliver¹, Dmitriy A. Sirota¹, Aleksandr M. Chernyavskiy¹, Tatyana A. Bergen¹

¹ E. Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

² Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russian Federation

简评

本文介绍了磁共振成像在确定手术策略方面的创新应用。

作者描述了一名47岁患者的病例，该患者接受了磁共振成像，随后对主动脉瘤进行了手术治疗。与超声心动图不同，此类诊断方法可以看到整个胸主动脉，与计算机断层扫描不同，它有助于识别主动脉壁的变化。使用磁共振成像，我们能够确定切除的远心端。术后期间一切顺利。根据与心电图同步的数据，我们评估了主动脉壁的结构变化及其力学性能。值得注意的是，磁共振成像的结果与组织学检查的结果相关。

为了对主动脉瘤患者进行有效的手术治疗，必须确定血管壁的变化程度。

主动脉壁的磁共振成像是一个很有前途的诊断方向，需要在多中心研究中进一步研究。

关键词：MRI；磁共振成像；胸主动脉瘤；主动脉壁；临床病例。

To cite this article

Kobelev E, Pak NT, Bobrikova EE, Usov WYu, Kliver EE, Sirota DA, Chernyavskiy AM, Bergen TA. 诊断能力：在主动脉瘤中使用磁共振成像的创新方法. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):332–339. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108404>

收到: 31.05.2022

接受: 29.06.2022

发布日期: 22.08.2022

研究现实性

对胸主动脉瘤患者应评估其手术适应症，但因合并症或生活质量差而预期寿命有限的情况除外[1]。根据最新建议，检查包括计算机断层扫描(CT)或磁共振成像(MRI)以测量主动脉直径[2-4]。

我们提出了一种新的独特方法来在胸主动脉瘤患者中使用核磁共振成像，这使我们能够确定最佳的手术策略。

病例报告

关于患者

患者，男性，47岁，根据MRI数据已接受主动脉瘤手术治疗，既往无加重因素或慢性病史。

升主动脉的动脉瘤对医生来说总是一个挑战。超声心动图检查显示升主动脉扩张至5.5 cm，无主动脉瓣反流。

仪器检查结果

患者接受了与心电图同步的主动脉MRI和心脏MRI。该检查是在带有专门线圈的1.5 T磁共振成像上进行的。使用没有对比增强的T2和T1加权图像，再使用增强的T1加权图像。在MRI扫描期间

进行了对比增强的血管造影(图1)。升主动脉最大直径5.4 cm，动脉瘤近端和尾部之间的距离为9 cm；头臂干口前的主动脉直径——3.4 cm，左颈总动脉和锁骨下动脉口之间——2.4 cm，下降部分——2.3 cm。头臂干边缘到动脉瘤颅缘的距离为5.5 cm。

为了评估主动脉壁的弹性和收缩性，使用了在轴向和冠状投影中以稳态自由进动(steady-state free precession, SSFP)模式获得的原生图像(见图1)。

在SSFP模式下，我们能够清楚地显示出心动周期期间主动脉壁的运动和血流方向。在QFlow序列(包括导管的可视化)中进行MRI以定量估值脉搏波速度，或如需评估瓣膜的功能。升主动脉壁的厚度和血管化是通过轴位的T1加权自旋回波(T1-spin echo, T1-SE)和梯度回波(T1-gradient-echo, GRE)序列中取得照片评估的，具有光谱选择性信号抑制的T1加权序列，在“黑血”模式(图2)中的光谱饱和和反转恢复序列(T1-spectral presaturation with inversion recovery, T1-SPIR)，在T2-在轴向和倾斜投影的“黑血”模式中具有光谱抑制的加权序列。

MRI数据显示，患者升主动脉从根部扩张至9 cm长，最大直径为5.5 cm。动脉瘤定位区域的主动脉壁均匀变细，中部更为明显，搏动减

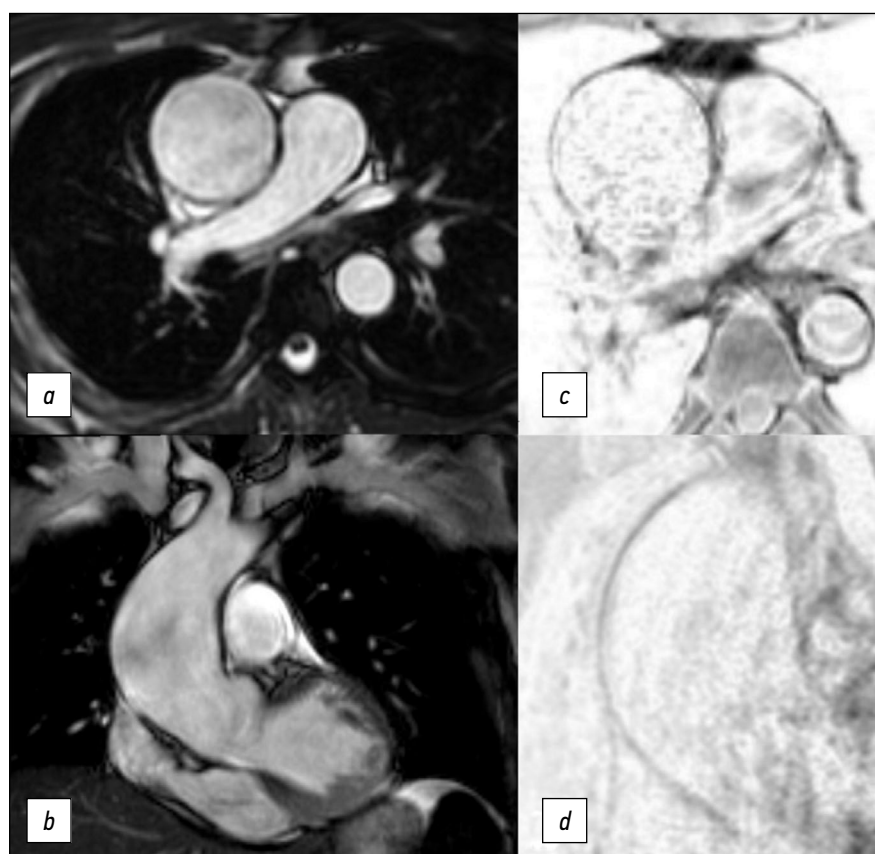


图1. 在轴位(a)和冠位(b)中以SSFP模式获得的图像，在轴位(c)中以T1-SE(主动脉瘤的中间三分之一)，在斜投影中以“黑血”模式获得的T1-SPIR(d)。主动脉壁变薄，中部更明显。

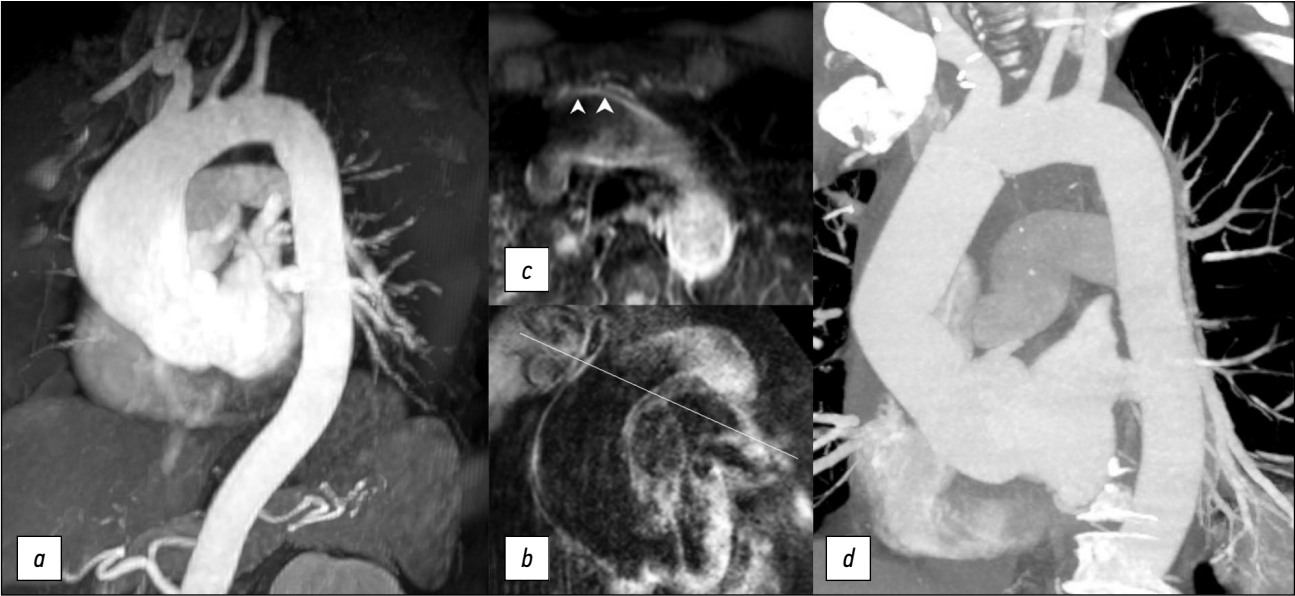


图2.对比增强磁共振血管造影，动脉期，屏气，斜投影，主动脉3D重建（a）；在升主动脉瘤远端边缘的“黑血”模式下轴位的T1-SPIR（b）；在斜投影中的头臂干口的前面(c)。完整的主动脉壁（箭头），手术治疗后胸主动脉的计算机断层扫描血管造影（d）。

弱，有运动障碍迹象，从动脉瘤囊边缘到头臂干主动脉壁完整不超过3 cm（见图2），主动脉直径在此水平不超过3.5 cm。还应该注意患者的二瓣叶型主动脉瓣。

根据现代建议[1, 2, 4]，患者需要手术治疗。未检测到胸主动脉壁及其主要分支的近端部分的解剖、增厚和血管增生。主要分支口的解剖结构是典型的。

诊断、治疗

最初，计划在头臂干孔口前直接应用夹子，但根据核磁共振成像的结果调整了手术方法。考虑到动脉瘤远端的主动脉壁病变的普遍性，决定在循环停止和前向单侧脑灌注的情况下进行干预。值得注意的是，随着主动脉壁的切除和病理变化，在术后早期和后期都可能出现并发症。在这个病案中，患者接受了升主动脉和主动脉弓的

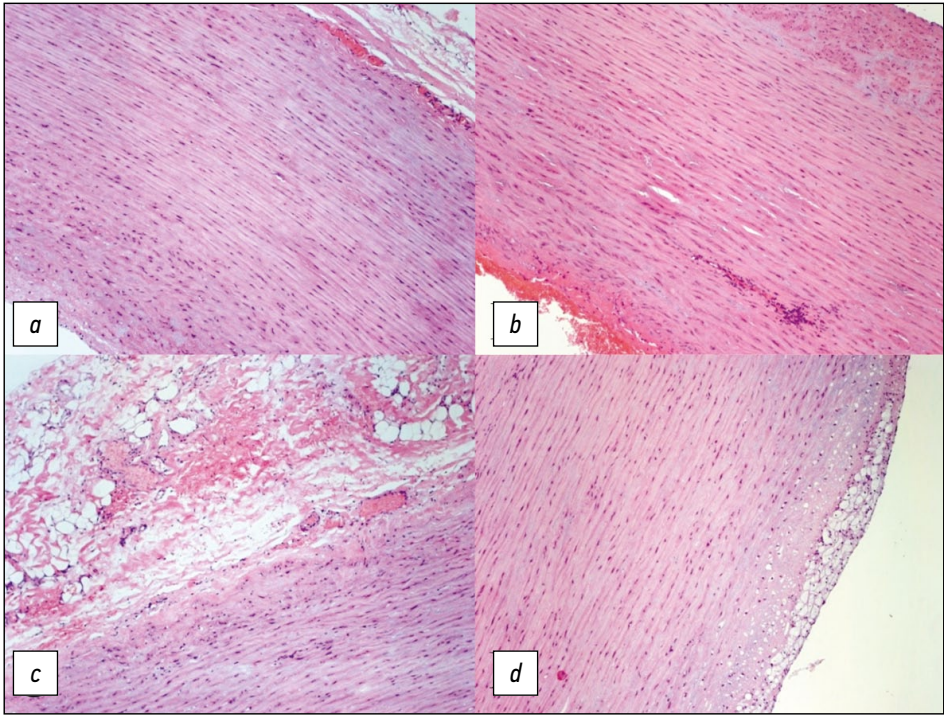


图3.动脉瘤体的近端（a，b）和中间(c)部分。弥漫性血管周围淋巴浸润。切除的主动脉壁的远端部分（d）。所有图像均显示弹性纤维的破坏，粘液水肿、弹性膜皱襞平滑。

冠状动脉上修复术，并形成了半弓型远端吻合。

手术治疗后，患者接受了胸主动脉CT血管造影（见图2）。术后图像显示，对比主动脉腔的直径没有扩张，也没有内漏的现象。

将MRI数据与术中活检标本（切除的主动脉壁）的组织学检查结果进行比较，揭示了主动脉壁识别变化的对应关系。根据宏观研究资料，切除的主动脉壁的厚度在远端和近端边缘为2.0–3.0 mm，在动脉瘤体的内侧部分（包括远端边缘的部分）为1.0–1.5 mm。

对动脉瘤近端和远端段以及远端切除边缘2 cm的切片进行微观研究，发现中间层广泛破坏，弹性纤维粘液样水肿，弹性膜皱襞平滑。在一些靠近血管外膜的区域，出现中度扩散性血管周围淋巴样浸润的迹象，主动脉壁部分血管的管腔闭塞。在内膜下发现了具有泡沫细胞质的巨噬细胞的局灶性聚集，不突出于表面之上（图3）。

基于组织学检查结果的诊断：非特异性继发性低活动性血管炎，主动脉弹性膜中间层退化。升主动脉瘤。主动脉粥样硬化，脂斑阶段。

结论

与CT扫描不同，MRI允许研究主动脉壁的结构和机械特性，测量其直径并确定最佳手术策略。

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Erbel R., Aboyans V., Boileau C., et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) // *Eur Heart J*. 2014. Vol. 35, N 41. P. 2873–2926. doi: 10.1093/eurheartj/ehu281
2. Hiratzka L.F., Bakris G.L., Beckman J.A., et al. Guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines,

REFERENCES

1. Erbel R, Aboyans V, Boileau C. et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The task force for the diagnosis and treatment of aortic diseases of the European society of cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014;35(41):2873–926. doi: 10.1093/eurheartj/ehu281
2. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, et al. Guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines,

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The work was carried out within the state assignment of the Ministry of Health of the Russian Federation (Development of tissue-engineered structures for cardiovascular surgery; N 121032300337-5).

Competing interests. The authors declare no conflict of interest.

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. T.A. Bergen, D.A. Sirota — conception and design of the work; E. Kobelev, N.T. Pak, E.E. Kliver — acquisition, analysis of data; E.E. Bobrikova, V.Yu. Usov — interpretation of data; A.M. Chernyavskiy — 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.

Acknowledgments. We thank the Chief of the Institution of Experimental Biology and Medicine "E. Meshalkin National Medical Research Center" of the Ministry of Health of the Russian Federation MD Ph.D. professor Irina Yu. Zhuravleva for the opportunity to carry out this work.

American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine // *J Am Coll Cardiol*. 2010. Vol. 55, N 14. P. e27–e129.

3. Galizia M.S., Bolen M.A., Flamm S. MRI of the thoracic aorta // *Applied Radiology*. 2015. N 44, N 8. P. 22–26. doi: 10.37549/ar2207

4. Saliba E., Sia Y. The ascending aortic aneurysm: when to intervene? // *IJC Heart Vasculture*. 2015. Vol. 6. P. 91–100. doi: 10.1016/j.ijcha.2015.01.009

American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *J Am Coll Cardiol*. 2010;55(14):e27–e129.

3. Galizia MS, Bolen MA, Flamm S. MRI of the thoracic aorta. *Applied Radiology*. 2015;44(8):22–26. doi: 10.37549/ar2207

4. Saliba E, Sia Y. The ascending aortic aneurysm: When to intervene? *IJC Heart Vasculture*. 2015;6:91–100. doi: 10.1016/j.ijcha.2015.01.009

AUTHORS' INFO

Tatyana A. Bergen, MD, Dr. Sci. (Med.);
address: 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk, 630055, Russia;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1530-1327>;
eLibrary SPIN: 5467-7347; e-mail: bergen_t@meshalkin.ru

Eugenii Kobelev;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5901-2271>;
eLibrary SPIN: 7828-9713; e-mail: kobelev_e@meshalkin.ru

Natalya T. Pak, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7842-9881>;
eLibrary SPIN: 1896-8447; e-mail: n_pak@meshalkin.ru

Evgeniya E. Bobrikova;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5985-4076>;
eLibrary SPIN: 6315-9772; e-mail: bobrikova_e@meshalkin.ru

Wladimir Yu. Ussov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7978-5514>;
eLibrary SPIN: 1299-2074; e-mail: ussov1962@yandex.ru

Evgeniy E. Kliver, MD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3915-3616>;
eLibrary SPIN: 1511-3814; e-mail: ee_kliver@meshalkin.ru

Dmitriy A. Sirota, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9940-3541>;
eLibrary SPIN: 4706-7549; e-mail: d_sirota@meshalkin.ru

Aleksandr M. Chernyavskiy, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor,
Corresponding member of the Russian Academy of Sciences;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9818-8678>;
eLibrary SPIN: 5286-6950;
e-mail: a_cherniavsky@meshalkin.ru

ОБ АВТОРАХ

* **Берген Татьяна Андреевна**, д.м.н.;
адрес: Россия, 630055, Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1530-1327>;
eLibrary SPIN: 5467-7347; e-mail: bergen_t@meshalkin.ru

Кобелев Евгений;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5901-2271>;
eLibrary SPIN: 7828-9713; e-mail: kobelev_e@meshalkin.ru

Пак Наталья Тихоновна, к.м.н.;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7842-9881>;
eLibrary SPIN: 1896-8447; e-mail: n_pak@meshalkin.ru

Бобрикова Евгения Эдуардовна;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5985-4076>;
eLibrary SPIN: 6315-9772; e-mail: bobrikova_e@meshalkin.ru

Усов Владимир Юрьевич, д.м.н., профессор;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7978-5514>;
eLibrary SPIN: 1299-2074; e-mail: ussov1962@yandex.ru

Кливер Евгений Эдуардович, д.м.н.;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3915-3616>;
eLibrary SPIN: 1511-3814; e-mail: ee_kliver@meshalkin.ru

Сирота Дмитрий Андреевич, к.м.н.;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9940-3541>;
eLibrary SPIN: 4706-7549; e-mail: d_sirota@meshalkin.ru

Чернявский Александр Михайлович, д.м.н., профессор,
член-корр. РАН;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9818-8678>;
eLibrary SPIN: 5286-6950;
e-mail: a_cherniavsky@meshalkin.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку