



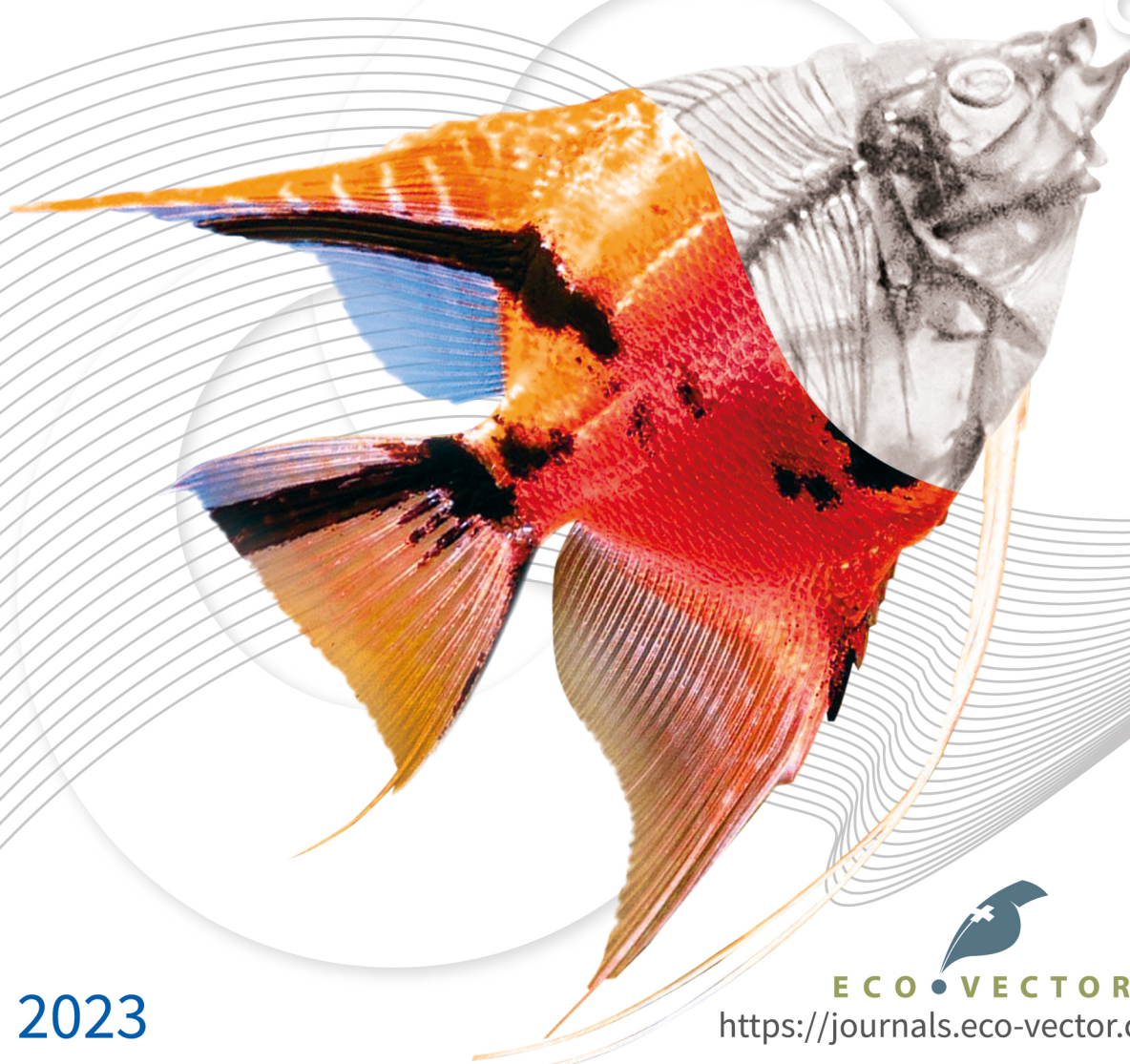
MOSCOW CENTER
FOR DIAGNOSTICS & TELEMEDICINE

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

DIGITAL DIAGNOSTICS

A peer-reviewed scientific medical journal

4 Volume 2 Issue



2023



ECO • VECTOR

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

УЧРЕДИТЕЛИ

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

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

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»

Адрес: 191186, Санкт-Петербург, Аптекарский
переулок, д. 3, литера А, помещение 1Н
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: https://eco-vector.com

РЕКЛАМА

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

РЕДАКЦИЯ

Зав. редакцией

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

ПОДПИСКА

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

OPEN ACCESS

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

ИНДЕКСАЦИЯ

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

Оригинал-макет

подготовлен в издательстве «Эко-Вектор».
подготовлен в издательстве «Эко-Вектор».
Литературный редактор: *М.Н. Шошина*
Корректор: *М.Н. Шошина*
Вёрстка: *Ф.А. Игнащенко*
Обложка: *Е.Д. Бугаенко*

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

Digital Diagnostics

Том 4 | Выпуск 2 | 2023

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор

Синицын Валентин Евгеньевич, д.м.н., профессор (Москва, Россия)
ORCID: 0000-0002-5649-2193

Заместитель главного редактора

Васильев Юрий Александрович, к.м.н., (Москва, Россия)
ORCID: 0000-0002-0208-5218

Научный редактор

Березовская Татьяна Павловна, д.м.н., профессор (Обнинск, Россия)
ORCID: 0000-0002-3549-4499

Ответственный секретарь

Виноградова Ирина Александровна, к.т.н. (Москва, Россия)
ORCID: 0000-0001-6465-4132

Редакционная коллегия

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

ORCID: 0000-0001-6359-0763

Berlin L., профессор (Иллинойс, США)

ORCID: 0000-0002-0717-0307

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

ORCID: 0000-0001-9906-6453

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

ORCID: 0000-0002-6236-709X

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

ORCID: 0000-0001-9930-5549

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

ORCID: 0000-0003-1816-1315

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

ORCID: 0000-0003-0806-3164

Frija G., профессор (Париж, Франция)

ORCID: 0000-0003-0415-0586

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

ORCID: 0000-0002-4325-8330

Holodny A., д.м.н. (Нью-Йорк, США)

ORCID: 0000-0002-1159-2705

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

ORCID: 0000-0002-4289-2102

Li H., MD, профессор (Пекин, КНР)

Mannelli L., MD (Нью-Йорк, США)

ORCID: 0000-0002-9102-4176

Матвеев И.А., д.т.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0003-2005-9467

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

ORCID: 0000-0002-5670-167X

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

ORCID: 0000-0003-1959-9618

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

ORCID: 0000-0001-6545-6170

Neri E., д.м.н. (Пиза, Италия)

ORCID: 0000-0001-7950-4559

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

ORCID: 0000-0003-1581-0703

Омельянская О.В., (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-0245-4431

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

ORCID: 0000-0002-8995-1210

Oudkerk M., профессор (Гронинген, Нидерланды)

ORCID: 0000-0003-2800-4110

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

ORCID: 0000-0003-3974-0797

Rovira A., профессор (Барселона, Испания)

ORCID: 0000-0002-2132-6750

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

ORCID: 0000-0002-9661-0254

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

ORCID: 0000-0002-7721-634X

Храмов А.Е., докт.ф.-м.н., профессор (Санкт-Петербург, Россия)

ORCID: 0000-0003-2787-2530

Аншелев А.А., д.м.н. (Москва, Россия)

ORCID: 0000-0002-2675-3276

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

ORCID: 0000-0002-6645-2515

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

ORCID: 0000-0001-6050-724X

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

ORCID: 0000-0003-4111-0874

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

ORCID: 0000-0002-1170-6127

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

ORCID: 0000-0003-0098-1403

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

ORCID: 0000-0001-9396-6063

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

ORCID: 0000-0003-3292-8789

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

ORCID: 0000-0002-5166-3280

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

ORCID: 0000-0002-4088-8118

16+

© ООО «Эко-Вектор», 2023



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

FOUNDERS

- Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine
- Eco-Vector

PUBLISHER

Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky pereulok, 191186, Saint Petersburg, Russian Federation

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: <https://eco-vector.com>

ADVERTISE

Adv. department

Phone: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

EDITORIAL OFFICE

Executive editor

Elena A. Philippova

E-mail: ddjournal@eco-vector.com

Phone: +7 (965) 012 70 72

SUBSCRIPTION

For print version:

www.journals.eco-vector.com/

PUBLICATION ETHICS

Journal's ethic policies are based on:

- ICMJE
- COPE
- ORE
- CSE
- EASE

OPEN ACCESS

Immediate Open Access is mandatory for all published articles

INDEXATION

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

TYPESET

complete in Eco-Vector

Copyeditor: *M.N. Shoshina*

Proofreader: *M.N. Shoshina*

Layout editor: *Ph. Ignashchenko*

Cover: *E. Bugaenko*

ISSN 2712-8490 (Print)

ISSN 2712-8962 (Online)

Digital Diagnostics

Volume 4 | Issue 2 | 2023

QUARTERLY PEER-REVIEW MEDICAL JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

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

ORCID: 0000-0002-5649-2193

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Yurii A. Vasilev, MD, Cand.Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-0208-5218

SCIENTIFIC EDITOR

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

ORCID: 0000-0002-3549-4499

RESPONSIBLE SECRETARY

Irina A. Vinogradova, Cand.Sci. (Tech.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-6465-4132

EDITORIAL BOARD

A.E. Andreychenko, Cand.Sci. (Phys.-Math.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-6359-0763

L. Berlin, Professor (Illinois, United States)

ORCID: 0000-0002-0717-0307

M.G. Belyaev, Cand.Sci. (Phys.-Math.), Assistant Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-9906-6453

S. Bisdas, MBBS, MD, PhD (London, United Kingdom)

ORCID: 0000-0001-9930-5549

D.A. Vazhenina, MD, Dr.Sci. (Med.), Associate Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-6236-709X

V.A. Gombolevskiy, MD, Dr.Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-1816-1315

A.S. Domozhirova, MD, Dr.Sci. (Med.), Associate Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-0806-3164

G. Frija, Professor (Paris, France)

ORCID: 0000-0003-0415-0586

G. Guglielmi, MD, Professor (Foggia, Italy)

ORCID: 0000-0002-4325-8330

A. Holodny, MD (New York, United States)

ORCID: 0000-0002-1159-2705

H. Li, MD, Professor (Beijing, China)

G.S. Lebedev, Dr.Sci. (Tech.), Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-4289-2102

L. Mannelli, MD (New York, United States)

ORCID: 0000-0002-9102-4176

I.A. Matveev, Dr.Sci. (Tech.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-2005-9467

S.T. Matskeplishvili, MD, Dr.Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-5670-167X

V.V. Mit'kov, MD, Dr.Sci. (Med.), Professor (Saint Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0003-1959-9618

S.P. Morozov, MD, Dr.Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-6545-6170

E. Neri, MD, Associate Professor (Pisa, Italy)

ORCID: 0000-0001-7950-6559

V.V. Omeľ'yanovskiy, MD, Dr.Sci. (Med.), Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-1581-0703

D.V. Omelyanskaya, (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-0245-4431

P. van Ooijen, PhD, Associate Professor (Groningen, Netherlands)

ORCID: 0000-0002-8995-1210

M. Oudkerk, Professor (Groningen, Netherlands)

ORCID: 0000-0003-2800-4110

P.R. Ros, MD, MPH, PhD, Professor (New York, United States)

ORCID: 0000-0003-3974-0797

A. Rovira, Professor (Barcelona, Spain)

ORCID: 0000-0002-2132-6750

R.V. Reshetnikov, Cand.Sci. (Phys.-Math.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-9661-0254

P.O. Rumyantsev, MD, Dr.Sci. (Med.) (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-7721-634X

A.E. Khamov, Dr.Sci. (Phys.-Math.), Professor (Saint Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0003-2787-2530

A.A. Ansheles, MD, Dr.Sci. (Med.)

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-2675-3276

G.P. Arutyunov, MD, Dr.Sci. (Med.)

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-6645-2515

A.S. Belevskiy, MD, Dr.Sci. (Med.), Professor

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-6050-724X

E.Y. Vasilieva, MD, Dr.Sci. (Med.), Professor

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-4111-0874

A.B. Gekht, MD, Dr.Sci. (Med.), Professor

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-1170-6127

O.S. Kobayakova, MD, Dr.Sci. (Med.), Professor

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-0098-1403

E.I. Kremneva, MD, Cand.Sci. (Med.)

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-9396-6063

S.S. Petrikov, MD, Dr.Sci. (Med.), Professor

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0003-3292-8789

D.N. Protzenko, MD, Cand.Sci. (Med.)

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-5166-3280

I.E. Khatkov, MD, Dr.Sci. (Med.), Professor

(Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0002-4088-8118

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

16+

© Eco-Vector, 2023



СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Ю.А. Васильев, И.А. Тыров, А.В. Владимирский, К.М. Арзамасов, И.М. Шулькин, Д.Д. Кожихина, Л.Д. Пестренин
Двойной просмотр результатов маммографии с применением технологий искусственного интеллекта:
новая модель организации массовых профилактических исследований. 93
- В.Ю. Чернина, М.Г. Беляев, А.Ю. Силин, И.О. Аветисов, И.А. Пятницкий, Е.А. Петраш,
М.В. Басова, В.Е. Сеницын, В.В. Омеляновский, В.А. Гомболевский
Диагностическая и экономическая оценка применения комплексного алгоритма
искусственного интеллекта, направленного на выявление десяти патологических находок
по данным компьютерной томографии органов грудной клетки. 105

НАБОРЫ ДАННЫХ

- Т.М. Газашвили, Д.В. Дроздов, Д.В. Шутов, А.С. Шкода
Создание набора данных с диспозицией и транспозицией наложения
электрокардиографических электродов при записи электрокардиограммы в 12 отведениях 133

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОТЧЁТЫ

- С.А. Рыжкин, Ю.В. Дружинина, З.А. Лантух, И.В. Солдатов, В.Н. Лесняк, Д.П. Лебедев,
Д.Н. Самочатов, М.П. Семенова, В.А. Сухов, С.Е. Охрименко
Проблемы облучения персонала в современных медицинских технологиях. 142

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

- Д.А. Филатова, Е.А. Мершина, В.Е. Сеницын
Поражение сердца при COVID-19: вопросы патогенеза и диагностики 156
- А.В. Водоватов, О.А. Гольченко, И.А. Мащенко, Д.В. Алексеева, Л.А. Чипига,
И.В. Хуторной, П.В. Козлова, Г.Е. Труфанов, П.С. Дружинина, С.А. Рыжов, И.В. Солдатов
Оценка поглощённых доз в плоде у беременных при компьютерной томографии: систематический обзор 170

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

- Н.Д. Кудрявцев, К.А. Бардасова, А.Н. Хоружая
Технология распознавания речи в лучевой диагностике 185
- М.В. Онойко, Е.А. Мершина, О.А. Георгинова, М.Л. Плотникова, А.В. Панюкова, В.Е. Сеницын
Роль двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике подагры
и других кристаллических артропатий: обзор литературы 197

КЛИНИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ

- Н.В. Нуднов, С.В. Ивашина, С.П. Аксенова
Лучевые методы в диагностике первичной и рецидивной злокачественной струмы яичников:
клинический случай 214
- А.В. Панюкова, В.Е. Сеницын, Е.А. Мершина, Н.А. Ручёва
Мальформация Абернети: клинический случай 226

РЕДАКЦИОННЫЕ СТАТЬИ

- И.А. Блохин, М.Р. Коденко, Ю.Ф. Шумская, А.П. Гончар, Р.В. Решетников
Проверка гипотез исследования с использованием языка R 238

CONTENTS

ORIGINAL STUDY ARTICLES

*Yuriy A. Vasilev, Ilya A. Tyrov, Anton V. Vladzomyrskyy, Kirill M. Arzamasov,
Igor M. Shulkin, Daria D. Kozhikhina, Lev D. Pestrenin*

Double-reading mammograms using artificial intelligence technologies:
A new model of mass preventive examination organization 93

*Valeria Yu. Chernina, Mikhail G. Belyaev, Anton Yu. Silin, Ivan O. Avetisov, Ilya A. Pyatnitskiy,
Ekaterina A. Petrash, Maria V. Basova, Valentin E. Sinitsyn, Vitaly V. Omelyanovskiy, Victor A. Gomboleviskiy*

Analysis of the diagnostic and economic impact of the combined artificial intelligence algorithm
for analysis of 10 pathological findings on chest computed tomography. 105

DATASETS

Tamara M. Gazashvili, Dmitry V. Drozdov, Dmitry V. Shutov, Andrey S. Shkoda

Creation of a training and test dataset with the disposition and transposition
of overlaying electrocardiographic electrodes when recording electrocardiograms-12 133

TECHNICAL REPORTS

*Sergey A. Ryzhkin, Yuliya V. Druzhinina, Zoya A. Lantuh, Ilya V. Soldatov, Viktor N. Lesnyak,
Dmitriy P. Lebedev, Denis N. Samochatov, Maria P. Semenova, Vitaly A. Sukhov, Sergey E. Okhrimenko*

Problems of personnel irradiation in modern medical technologies. 142

SYSTEMATIC REVIEWS

Daria A. Filatova, Elena A. Mershina, Valentin E. Sinitsyn

COVID-19-related cardiac lesion: The questions of pathogenesis and diagnostics 156

*Alexander V. Vodovatov, Olga A. Golchenko, Irina A. Mashchenko, Daria V. Alekseeva, Larisa A. Chipiga,
Ivan V. Khutornoy, Polina V. Kozlova, Gennady E. Trufanov, Polina S. Druzhinina, Sergey A. Ryzhov, Ilya V. Soldatov*

Evaluation of fetal absorbed doses from computed tomography examinations of pregnant patients:
A systematic review 170

REVIEWS

Nikita D. Kudryavtsev, Kristina A. Bardasova, Anna N. Khoruzhaya

Speech recognition technology in radiology 185

Maria V. Onoyko, Elena A. Mershina, Olga A. Georginova, Maria L. Plotnikova, Aleksandra V. Panyukova, Valentin E. Sinitsyn

The role of dual-energy computed tomography in the diagnosis of gout and other crystalline arthropathies: A review. ... 197

CASE REPORTS

Nikolai V. Nudnov, Svetlana V. Ivashina, Svetlana P. Aksenova

Radiation methods in the diagnosis of primary and recurrent malignant ovarian struma: A case report 214

Alexandra V. Panyukova, Valentin E. Sinitsyn, Elena A. Mershina, Natalia A. Rucheva

Abernethy malformation: A case report 226

EDITORIALS

Ivan A. Blokhin, Maria R. Kodenko, Yuliya F. Shumskaya, Anna P. Gonchar, Roman V. Reshetnikov

Hypothesis testing using R. 238

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321423>

Двойной просмотр результатов маммографии с применением технологий искусственного интеллекта: новая модель организации массовых профилактических исследований

Ю.А. Васильев¹, И.А. Тыров², А.В. Владзимирский¹, К.М. Арзамасов¹,
И.М. Шулькин¹, Д.Д. Кожихина¹, Л.Д. Пестренин¹

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

² Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Доступность наборов медицинских данных и технологий разработки программного обеспечения на основе искусственного интеллекта в последние годы привела к увеличению количества решений для медицинской диагностики и маммографии в частности. Это программное обеспечение, зарегистрированное как медицинское изделие, может быть использовано для описания цифровых маммографий, что позволит в значительной мере сэкономить временные, материальные и кадровые ресурсы в здравоохранении при гарантированном сохранении качества профилактических исследований молочных желёз.

Цель — обосновать возможность и эффективность применения программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для первой интерпретации цифровых маммограмм при сохранении практики второго описания рентгеновских изображений врачом-рентгенологом.

Материалы и методы. Набор данных из 100 цифровых маммографических исследований, из них 50 — «Отсутствие целевой патологии», 50 — «Присутствие целевой патологии» (с признаками злокачественных новообразований), был обработан программным обеспечением на основе технологий искусственного интеллекта, зарегистрированным в Российской Федерации как медицинское изделие. Выполнен ROC-анализ. Ограничения исследования: значения метрик диагностической точности получены для версий программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта, актуальных на конец 2022 года.

Результаты. При настройке на 80,0% чувствительность специфичность искусственного интеллекта составила 90,0% (95% ДИ 81,7–98,3), точность — 85,0% (95% ДИ 78,0–92,0). При настройке на 100% специфичность искусственный интеллект показал чувствительность 56,0% (95% ДИ 42,2–69,8), точность — 78,0% (95% ДИ 69,9–86,1). При настройке на 100% чувствительность специфичность искусственного интеллекта составила 54,0% (95% ДИ 40,2–67,8), точность — 77,0% (95% ДИ 68,8–85,2). Предложены два подхода, предусматривающие автономную первую интерпретацию цифровой маммографии посредством искусственного интеллекта. Первый подход заключается в оценке рентгеновского изображения с помощью искусственного интеллекта с более высокой чувствительностью, чем у двойного описания маммографии врачами-рентгенологами, при сопоставимом уровне специфичности. Второй подход подразумевает, что программное обеспечение на основе технологий искусственного интеллекта будет определять категорию маммографии («Отсутствие целевой патологии» или «Присутствие целевой патологии») с указанием степени своей «уверенности» в полученном результате в зависимости от «коридора», в который попадает предсказанное значение.

Заключение. Оба предложенных сценария использования программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта с целью автономного первого описания цифровых маммограмм способны обеспечить качество диагностики, не уступающее двойному описанию снимков врачами-рентгенологами и даже превышающее его. Экономическая выгода от практической реализации данного подхода в масштабах страны может составлять от 0,6 до 5,5 млрд рублей ежегодно.

Ключевые слова: профилактические исследования; маммография; искусственный интеллект; диагностическая точность.

Как цитировать

Васильев Ю.А., Тыров И.А., Владзимирский А.В., Арзамасов К.М., Шулькин И.М., Кожихина Д.Д., Пестренин Л.Д. Двойной просмотр результатов маммографии с применением технологий искусственного интеллекта: новая модель организации массовых профилактических исследований // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 93–104. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321423>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321423>

Double-reading mammograms using artificial intelligence technologies: A new model of mass preventive examination organization

Yuriy A. Vasilev¹, Ilya A. Tyrov², Anton V. Vladzimirskyy¹, Kirill M. Arzamasov¹, Igor M. Shulkin¹, Daria D. Kozhikhina¹, Lev D. Pestrenin¹

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

² Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: In recent years, the availability of medical datasets and technologies for software development based on artificial intelligence technology has resulted in a growth in the number of solutions for medical diagnostics, particularly mammography. Registered as a medical device, this program can interpret digital mammography, significantly saving time, material, and human resources in healthcare while ensuring the quality of mammary gland preventive studies.

AIM: This study aims to justify the possibility and effectiveness of artificial intelligence-based software for the first interpretation of digital mammograms while maintaining the practice of a radiologist's second description of X-ray images.

MATERIALS AND METHODS: A dataset of 100 digital mammography studies (50 — “absence of target pathology” and 50 — “presence of target pathology,” with signs of malignant neoplasms) was processed by software based on artificial intelligence technology that was registered as a medical device in the Russian Federation. Receiver operating characteristic analysis was performed. Limitations of the study include the values of diagnostic accuracy metrics obtained for software based on artificial intelligence technology versions, relevant at the end of 2022.

RESULTS: When set to 80.0% sensitivity, artificial intelligence specificity was 90.0% (95% CI, 81.7–98.3), and accuracy was 85.0% (95% CI, 78.0–92.0). When set to 100% specificity, artificial intelligence demonstrated 56.0% sensitivity (95% CI, 42.2–69.8) and 78.0% accuracy (95% CI, 69.9–86.1). When the sensitivity was set to 100%, the artificial intelligence specificity was 54.0% (95% CI, 40.2–67.8), and the accuracy was 77.0% (95% CI, 68.8–85.2). Two approaches have been proposed, providing an autonomous first interpretation of digital mammography using artificial intelligence. The first approach is to evaluate the X-ray image using artificial intelligence with a higher sensitivity than that of the double-reading mammogram by radiologists, with a comparable level of specificity. The second approach implies that artificial intelligence-based software will determine the mammogram category (“absence of target pathology” or “presence of target pathology”), indicating the degree of “confidence” in the obtained result, depending on the corridor into which the predicted value falls.

CONCLUSIONS: Both proposed approaches for using artificial intelligence-based software for the autonomous first interpretation of digital mammograms can provide diagnostic quality comparable to, if not superior to, double-image reading by radiologists. The economic benefit from the practical implementation of this approach nationwide can range from 0.6 to 5.5 billion rubles annually.

Keywords: artificial intelligence; diagnostic accuracy; mammography; preventive medicine.

To cite this article

Vasilev YuA, Tyrov IA, Vladzimirskyy AV, Arzamasov KM, Shulkin IM, Kozhikhina DD, Pestrenin LD. Double-reading mammograms using artificial intelligence technologies: A new model of mass preventive examination organization. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):93–104. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321423>

Received: 17.03.2023

Accepted: 25.04.2023

Published: 25.05.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321423>

使用人工智能对乳腺X线摄影结果进行两次查看：一种组织大规模预防性研究的新模式

Yuriy A. Vasilev¹, Ilya A. Tyrov², Anton V. Vladzimirskyy¹, Kirill M. Arzamasov¹, Igor M. Shulkin¹, Daria D. Kozhikhina¹, Lev D. Pestrenin¹

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

² Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation

简评

论证。近年来，医疗数据集和人工智能软件技术开发的可达性，使得医疗诊断，特别是乳腺X线摄影的解决方案激增。这种登记为医疗设备的软件可被用于描述数乳腺X线摄影，这允许提供医疗服务时在很大程度上节省时间、物质和人力的资源，同时确保乳房预防性检查的质量。

该研究的目的是证明使用基于人工智能技术的软件对数字乳房X光照片进行第一次解读的可用性和有效性，同时保持放射科医生对X射线图像进行第二次描述的做法。

材料和方法。我们用在俄罗斯联邦登记为医疗设备的基于人工智能技术的软件处理了100张数字乳房X光照片的数据集，其中50张为“无目标病变”，50张为“存在目标病变”（有恶性肿瘤症状）。进行了ROC分析。研究局限性：诊断准确性度量值是基于人工智能技术的软件版本获得的，是在2022年底有效的。

结果。当设置为80.0%的灵敏度时，人工智能显示出90.0%的特异度（95% CI 81.7–98.3）和85.0%的准确性（95% CI 78.0–92.0）。当设置为100%的特异度时，人工智能显示出56.0%的灵敏度（95% CI 42.2–69.8）和78.0%的准确性（95% CI 69.9–86.1）。当设置为100%灵敏度时，人工智能的特异度为54.0%（95% CI 40.2–67.8），准确性为77.0%（95% CI 68.8–85.2）。提出了两种方法，涉及通过人工智能对数字乳腺X线摄影进行的第一次自主解读。第一种方法是利用人工智能评估X射线图像，其灵敏度高于放射科医生进行的双重乳腺X线摄影描述，特异度水平相当。第二种方法是基于人工智能技术的软件将对乳腺X线摄影进行分类（“无目标病变”或“存在目标病变”），表明其对结果的“信心”程度，取决于预测值所处的“走廊”。

结论。使用基于人工智能技术的软件对数字乳房X光照片进行第一次自主描述的两方案都能提供与放射科医生对图像进行的双重描述相同甚至更高的诊断质量。在全国范围内在实践中实现这种方法的经济效益可能是每年6亿至55亿卢布。

关键词：预防性研究；乳腺X线摄影；人工智能；诊断准确性。

引用本文：

Vasilev YuA, Tyrov IA, Vladzimirskyy AV, Arzamasov KM, Shulkin IM, Kozhikhina DD, Pestrenin LD. 使用人工智能对乳腺X线摄影结果进行两次查看：一种组织大规模预防性研究的新模式. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):93–104. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321423>

收到: 17.03.2023

接受: 25.04.2023

发布日期: 25.05.2023

论证

乳腺恶性肿瘤是一个重要的医疗、社会经济和人口问题，作为女性人口中主要肿瘤病变及死亡率最高的疾病。从2011年到2019年，发病率稳步上升（分别从每10万人口45.24到53.34）；2020年急剧下降到每10万人口47.39，2021年又恢复上升[1]。这种动态是因为在COVID-19大流行期间大规模预防性检查项目被暂停。一方面，这种情况是完全合理的；另一方面，它显示医疗保健系统的脆弱性。被迫的资源重新分配对“社会意义”疾病的筛查产生了负面影响。但是，在没有大流行病的情况下，乳腺恶性肿瘤检测的及时性仍然不能令人满意。忽视率极高：超过27.0%的恶性肿瘤在晚期（III-IV期）被发现。有一个积极的趋势引人注目——乳腺恶性肿瘤的累积指数稳步上升：2011年适当指标是9.5，2021年已经是11.9。这表明，乳腺恶性肿瘤治疗方法的质量和效果有系统地提高[2]。

因此，需要发展大规模的预防性研究，既要提高人口覆盖率和参与率、生产力、质量、成本效益，又要建立持续性和不间断的可及性。这些任务的实施与治疗方法的明显进步相结合，将使克服乳腺恶性肿瘤问题获得完全新的成果。

目前乳腺X线摄影是最常见的恶性肿瘤筛查方式。

现行规范性文件规定，预防性乳腺X线摄影的结果必须经过两次审查。这就是说每个受检患者的图像必须由两位放射科医生独立解释和描述。这种方法的合理性已被国内外学者反复证实。当两次审查图像时发现病理变化的综合频率更高。与两次审查相比，一次审查会降低所有BI-RADS（Breast Imaging Reporting and Data System，乳腺影像报告和数据库系统）类别的灵敏度。此外，放弃两次审查会给受检妇女带来各种负面影响[3, 4]。同时，两次审查也有一定的负面作用（资源密集度、质量、不完善的筹资系统）。

资源密集度。在初级卫生保健环境中，需要两名放射科医生来描述每项预防性检查，任何筛查检查的绝大部分都属于“无目标病变”类别。由于浮报和其他操纵手法，存在着隐瞒人才断层的风险，这最终对女性人口的健康产生了负面影响。同时，预防性乳腺X线摄影数量的实际需求和设备存量的速度增加从根本上说高于增加工作人员的能力。

质量。解释乳腺X线摄影的结果需要特殊技能，实际上是现代放射学的一个亚专业。这只会加剧人才断层的问题：“机械地”增加放射科医生的数量并不能解决按质和及时发现乳腺恶性肿瘤的问题。

不完善的筹资系统。使用两部收费，即连续支付两项服务的费用，只适用于有单独的乳腺X线摄影描述收费的情况；这样一来，一项服务包括乳腺X线摄影的进行和描述，而另一项只包括其描述。在相反的情况下，存在不适当的筹资（同

时包括乳腺X线摄影进行和描述的两项服务被支付）。一个更常见的情况是医疗机构资金不足：进行和描述的服务被支付一次，而第二次描述则没有被支付。

这些问题有可能通过自动化来解决，即使用人工智能（AI）技术来解释乳腺X线摄影的结果。

在科学文献中，有证据表明所涉及的技术解决方案的质量很高。事实上，在检测某些放射学特征方面，一些基于人工智能技术的描述诊断准确度与普通放射科医生相同。因此，自动分析的合并灵敏度、特异性和特征曲线下的面积为75.4；90.6和0.89%，而放射科医生的为73.0；88.6和0.85%（没有统计学意义的差异）[5]。根据荟萃分析的数据[6]，对乳腺X线摄影进行自动分析的合并灵敏度、特异性和特征曲线下的面积分别为91.4；91.6和94.5%。神经网络模型和放射科医生检测到的病理检查所见的定位的IoU-准确度（交并比，intersection-over-union）相似系数分别为0.86和0.96[7]。然而，我们认为，在乳腺恶性肿瘤筛查的背景下，人工智能技术不应仅仅作为医生的离散决策支持系统，而应作为自动程序来引入。

该研究的目的是证实一个利用人工智能技术组织大规模预防性乳腺X线摄影的模式。

材料和方法

该研究是莫斯科政府从2020年开始支持的《使用创新计算机视觉技术进行医学图像分析并进一步应用于莫斯科市医疗系统的实验》（以下简称莫斯科实验）（mosmed.ai）的一部分。基于人工智能技术的软件所达到的准确度（AUC，曲线下的面积>0.81），是在莫斯科实验第一年内对61 497张乳房X光照片的分析基础上调定的，这使得该研究成为可能[8]。

研究设计

混合型（定量部分为回顾性诊断研究，定性部分为分析研究）。

人工智能技术

为了在临床实践中使用，基于人工智能技术的软件的记录必须显示为医疗器械。在俄罗斯联邦，Medical Screening Systems LLC（RZN 2021/14449）和Third Opinion Platform LLC（RZN 2022/16534）基于人工智能技术的软件产品被用于对乳腺X线摄影的结果进行自动分析，具有医疗器械的地位。

研究中使用的医疗器械是上述公司之一的基于人工智能技术的软件产品。作为莫斯科实验的一部分，基于人工智能技术的软件被整合到莫斯科市统一医疗信息分析系统的统一放射学信息系统（ERIS EMIAS）中。基于人工智能技术的软件接收了DICOM格式的数字乳腺X线摄影，对其进行了分析，并将文本描述（DICOM SR）、带有病理

区域标记的图像 (DICOM SC) 以及检查中存在病理的概率作为回复。基于人工智能技术的软件进行的分析结果与原始检查结果都是在ERIS EMIAS中提供的。研究中使用了整个研究中的病理概率值 (存在恶性过程的概率); 在本研究中对BI-RADS的正确性以及病理检查所见的定位准确性没有进行评估。

数据集

我们的研究共包括100张作为筛查研究一部分的数字乳房X光照片, 其中50张是有病理的。接受检查的患者的平均年龄为 63 ± 6 岁。

根据两位专家 (具有5年以上乳腺X线摄影经验的放射科医生) 的共识, 这些研究被分为“无目标病变”或“存在目标病变”。对于“存在目标病变”组来说, 组织学验证是主要的纳入标准。对于“无目标病变”组来说, 放射科医生的不同意见是排除标准。两组的排除标准都是患者年龄小于18岁和研究质量差 (PGMI分级为I)。质量差的研究是在准备数据集时审查员进行标记阶段中确定的。

与BI-RADS3、4和5级相对应的在乳房X光照片上的病理征被认为是目标病理 (“存在目标病变”)。研究中纳入“无目标病理”组的乳房X光照片是没有乳腺恶性肿瘤的, 即BI-RADS分级为1或2级。

根据ACR (美国放射学会, American College of Radiology) 分类, 研究分配为: “存在目标病变”组中: A-26, B-16, C-5, D-3; “无目标病变”组中: A-15, B-24, C-11, D-0。

该数据集是由在FUJIFILM公司 (日本) 乳腺X射线机上进行的研究组成的。以下医疗机构参与了数据集的准备: 城市综合医院第22号, 第1分院; 临床诊断中心第1号; 城市综合医院第8号; 城市综合医院第36号; 城市综合医院第22号; 城市综合医院第209号; 诊断中心第3号, 第4分院; 咨询和诊断综合医院第121号; 临床诊断中心第4号; 莫斯科卫生局M. P. Konchalovsky城市临床医院, 综合医院第3部。

伦理审查

本研究建立在《使用创新计算机视觉技术进行医学图像分析并进一步应用于莫斯科市医疗系统的实验》结果的基础上, 该实验由伦理委员会批准 (自2020年2月20日的协议№2 NEC MRO RORR的摘抄), 也在ClinicalTrials (NCT04489992) 登记注册。

统计分析

为了处理获得的数据, 通过专门开发的网络工具 (<https://roc-analysis.mosmed.ai/>) [9, 10], 采

用了线绘和分析特征曲线 (ROC分析) 的方法。真值由研究的二元划分表示 (0为无病变, 1为存在目标病变)。结果是由基于人工智能技术的软件确定的病理存在的概率。将的获得的数据以CSV格式上传到电子表格, 然后用网络工具线绘特征曲线。以交互方式确定与最左边的100%灵敏度的点和最右边的100%特异性的点对应的阈值。然后对确定的阈值进行了其他诊断准确度指标的分析。典型四格表的术语被用于分析。真阳性被认为是将乳房X光照片正确地分配到“存在目标病理”组; 真阴性被认为是将乳房X光照片正确地分配到“无目标病理”组。假阳性被认为是将乳房X光照片从“正常”组错误地分配到“存在目标病变”组, 而假阴性被认为是将乳房X光照片从“存在目标病变”组错误地分配到“无目标病变”组。

结果中所提出的统计指标都是通过有返回的随机抽样 (所谓的bootstrapping), 经过1000次迭代计算出95%的置信区间 (CI)。

结果

我们提出以下模式。预防性乳腺X线检查是根据现行规范性文件和临床建议由主治医师而指定的。X线实验员直接进行检查。检查结果以数字方式输入医学图像档案中, 该档案是医疗机构的医疗信息系统和/或俄罗斯联邦主体卫生领域信息系统的一部分。第一次查看是由软件 (基于人工智能技术的医疗器械, 已被批准按既定顺序流通) 进行的。进行第一次查看之后, 在信息系统中形成以自动模式获得的电子医疗记录¹, 并包含 (a) 带有有病理变化区域的图形标记和/或温度图的独立系列图像 (如果有病理变化的话);

(b) 结构化报告、简要用户指南、体检结论、详细说明和存在病理变化的概率。第二次查看是由放射科医生进行的。进行第二次查看之后, 在信息系统中形成一份电子医疗文件, 即描述协议和体检结论。

对基于人工智能技术的软件提供所需诊断准确度水平的可行性进行了研究。

图1给出描写研究中的基于人工智能技术的软件工作的特征曲线。

根据选定的阈值将乳房X光照片分为几组 (真阳性、真阴性、假阴性、假阳性), 表1给出其分布情况。

当定出与100.0%特异性相对应的阈值 (阈值为0.93) 时, 人工智能正确识别了“存在目标病理”组的乳房X光照片, 即没有假阳性。在50张属于“存在目标病理”组的乳房X光照片中, 有28张 (56.0%) 被人工智能在指定的阈值设置下正确分配到。对于这些基于人工智能技术的软件设置来

¹ 因使用获准流通的医疗器械而以自动模式获得的医疗记录不需要医务人员的电子签名 (根据俄罗斯联邦卫生部于2020年9月7日第947n号命令《关于批准保健领域以电子文件形式的医疗记录的文件管理系统组织程序》)。

说, 诊断准确度指标为: 灵敏度为56.0% (95% CI 42.2–69.8), 特异性为100.0% (95% CI 100.0–100.0), 以及准确度为78.0% (95% CI 69.9–86.1)。

当定出与100.0%灵敏度相对应的阈值 (阈值为0.25) 时, 没有假阴性并真阴性数量为27例 (占“无目标病理”组所有测试的54.0%)。对于这些基于人工智能技术的软件设置来说, 诊断准确度指标为: 灵敏度为100.0% (95% CI 100.0–100.0), 特异性为54.0% (95% CI 40.2–67.8), 以及准确度为77.0% (95% CI 68.8–85.2)。

当使用约登指数最大值法定出阈值 (阈值为0.82) 时, 灵敏度为80.0%, 真阴性为45

例 (占“无目标病理”组所有测试的90.0%), 真阳性为40例 (占“存在目标病理”组所有测试的80.0%)。对于这些基于人工智能技术的软件设置来说, 诊断准确度指标为: 灵敏度为80.0% (95% CI 68.9–91.1), 特异性为90.0% (95% CI 81.7–98.3), 准确度为85.0% (95% CI 78.0–92.0)。

讨论

该研究的主要结果摘要

当实现《使用人工智能描述和解释乳腺X线检查数据》服务时使用了基于人工智能技术的软件, 定出不同的阈值允许指定灵敏度、特异性和

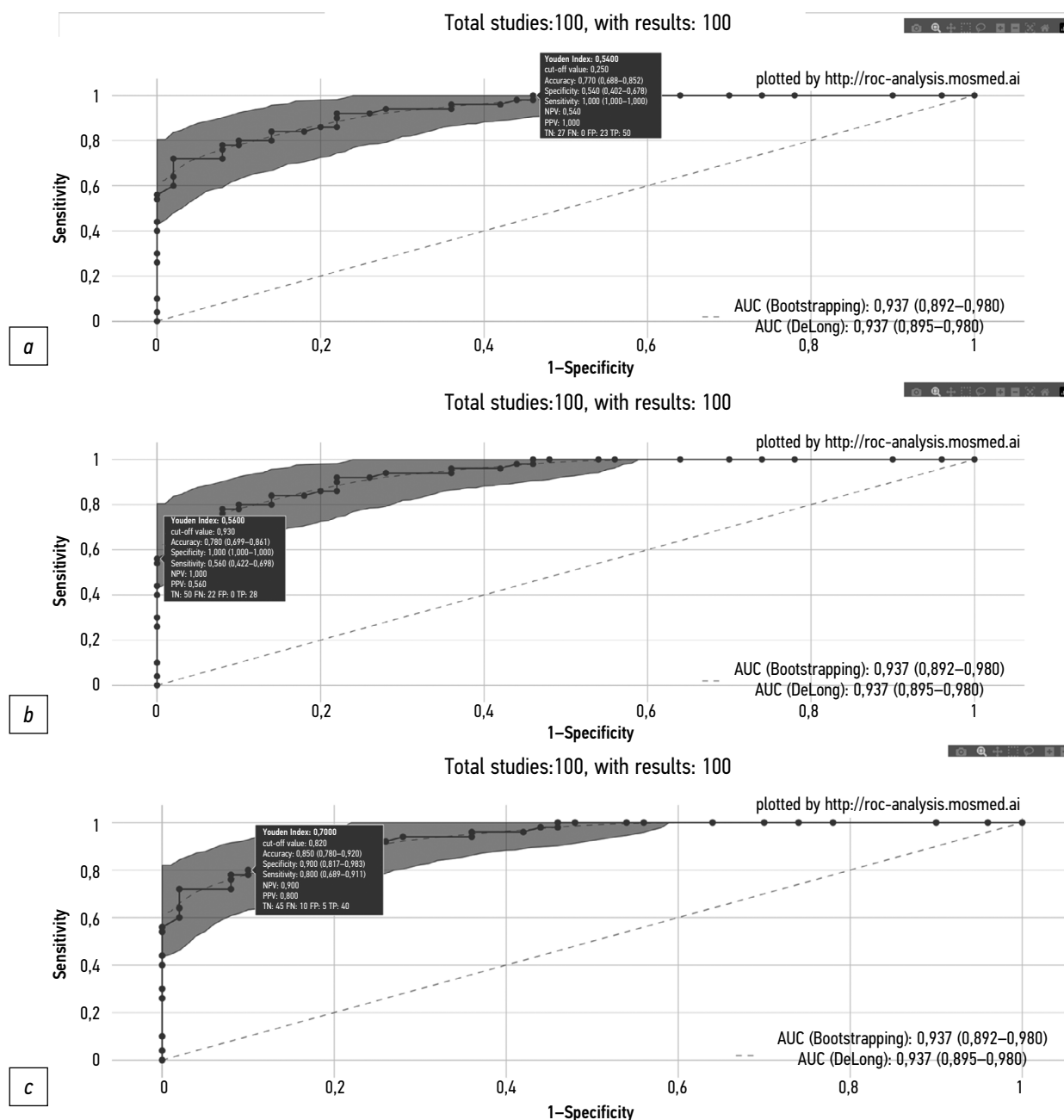


图1. 基于人工智能技术软件的特征曲线。底纹表示95%的置信区间。分别显示了对应于100.0%灵敏度 (a)、100.0% 特异性 (b) 和80.0%灵敏度 (c) 的实验值。对于每一个实验点, 在相应的阈值处的诊断准确度指标的数值都显示在一个矩形中。

表1. 不同阈值的四格表

组	研究的数量	结果	100%的灵敏度	100%的特异性	平衡的灵敏度和特异性
“存在目标病理”	50	真阳性	50	28 56.0%**	40 80.0%**
		假阳性	23	0	5
“无目标病理学”	50	真阴性	27 54.0%*	50	45 90.0%*
		假阴性	0	22	10

注：*真阴性的百分比是相对于“无目标病理”组的规模计算的；**真阳性的百分比是相对于“存在目标病理”组的规模计算的。

准确度，这些指标与放射科医生对乳房X光照片进行两次查看后获得的数值一致或超过该数值。

对该研究主要结果的讨论

在俄罗斯联邦，每年大约有820万个预防性乳腺X线检查²，对其进行双重评估需要大量的时间、人力和财政资源。使用基于人工智能技术的软件对乳房X光照片进行第一次查看允许减少这些成本，同时保持甚至提高诊断质量。建议采用两种调整基于人工智能技术软件的方法来对乳房X光照片进行第一次查看。

第一种方法是使用基于人工智能技术的软件，其灵敏度和特异性的数值是平衡的。在我们的研究中，基于人工智能技术软件的灵敏度为80.0%，超过了综述性出版物中指出的放射科医生对乳房X光照片进行两次查看的灵敏度（72.0–73.0%）[5, 6]。然而，我们研究中发现的人工智能的特异性（90.0%）与两位放射科医生工作的特异性（88.0–98.0%）相当[5, 6]。我们也预计，与单独一名放射科医生的描述相比，与一名放射科医生的评估相结合的基于人工智能技术的软件会有更高的乳房X光照片解释的总体准确度，这也是在一些科学出版物中证实的[11–13]。在这种方法中，基于人工智能技术软件的结果将是一份电子医疗记录，其中包含对图像类别（“无目标病变”或“存在目标病变”）的意见。

第二种方法意味着基于人工智能技术的软件将确定图像的类别（“无目标病变”或“存在目标病变”），表明其对结果的“信心”程度。图2给出该方法的一般概念。

如《结果》部分所述，在线绘基于人工智能技术软件的ROC曲线时，我们确定了100%灵敏度和100%特异性下预测值的阈值（cut-off value）（分别为0.25和0.93）。在这些数据的基础上，建议将预测值分配到三个“走廊”，这三个“走廊”适当不同的分类结果和基于人工智能技术的软件对“走廊”的不同“信心”程度：

- 1) “绿色走廊”：预测值从0到0.25不等，对应于“无目标病理”类别，有100%的把握；
- 2) “红色走廊”：预测值从0.93到1.0不等，

对应于“存在目标病理”类别，有100%的把握；

3) “黄色走廊”：预测值从0.25到0.93不等（含0.93），对应于“无目标病变”或“存在目标病变”的类别，但正确分类的概率小于100%。

建议在使用基于人工智能技术的软件进行的乳腺X线检查描述中加入预测值及其所处的“走廊”颜色。有了这些信息，描述基于人工智能技术的软件图像的放射科医生将知道对结果的信心有多大。一方面，这有助于医生在描述“黄色走廊”的乳房X光照片时保持高度警惕，另一方面，从长远来看，这种方法可能会提升放射科医生对基于人工智能技术的软件结果的信心。这是因为即使目前人工智能的准确度很高，人工智能也不能明确地对所分析的图像进行100%的正确分类。

第二种方法的优势不仅在于人工智能能够以100%的“信心”程度将一些乳房X光照片分类为“无目标病变”或“存在目标病变”（预测值的“绿色和红色走廊”），而且在于能够改变阈值，以平衡基于人工智能技术的软件对属于“黄色走廊”的乳房X光照片进行的分析灵敏度和特异性。根据临床目标，可以指定更高的灵敏度，以假阴性的数量最少时提供更好的病理检测，或者指定更高的特异性，以减少假阳性（表2）[5, 6]。

本研究的结果显示使用基于人工智能技术的软件对乳房X光照片进行第一次查看的可行性；然而，该软件还需要进一步优化，以更好地识别“无目标病变”和“存在目标病变”。还值得注意的是，为了进行本研究，最初只选择了高质量的乳房X光照片。然而，基于人工智能技术的现代软件具有控制乳房X光照片质量的自主功能。在实际实施中，除了对乳腺X线检查结果进行临床评估外，基于人工智能技术的软件还可以对质量进行技术评估[8]。

使用人工智能技术对乳腺X线检查结果进行两次查看的经济论证

该研究中我们分析了俄罗斯联邦各地区通过的2023年强制医疗保险领土方案下提供的医疗服务的支付费率协议。

² Tyurin I. E. 俄罗斯卫生部辐射和仪器诊断首席外部专家I. E. Tyurin的2020年报告[电子资源]。访问方式：https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/056/620/original/О_т_ч_е_т_з_а_2_0_2_0_г_о_д_Т_ю_р_и_н_.pdf?1624967722。

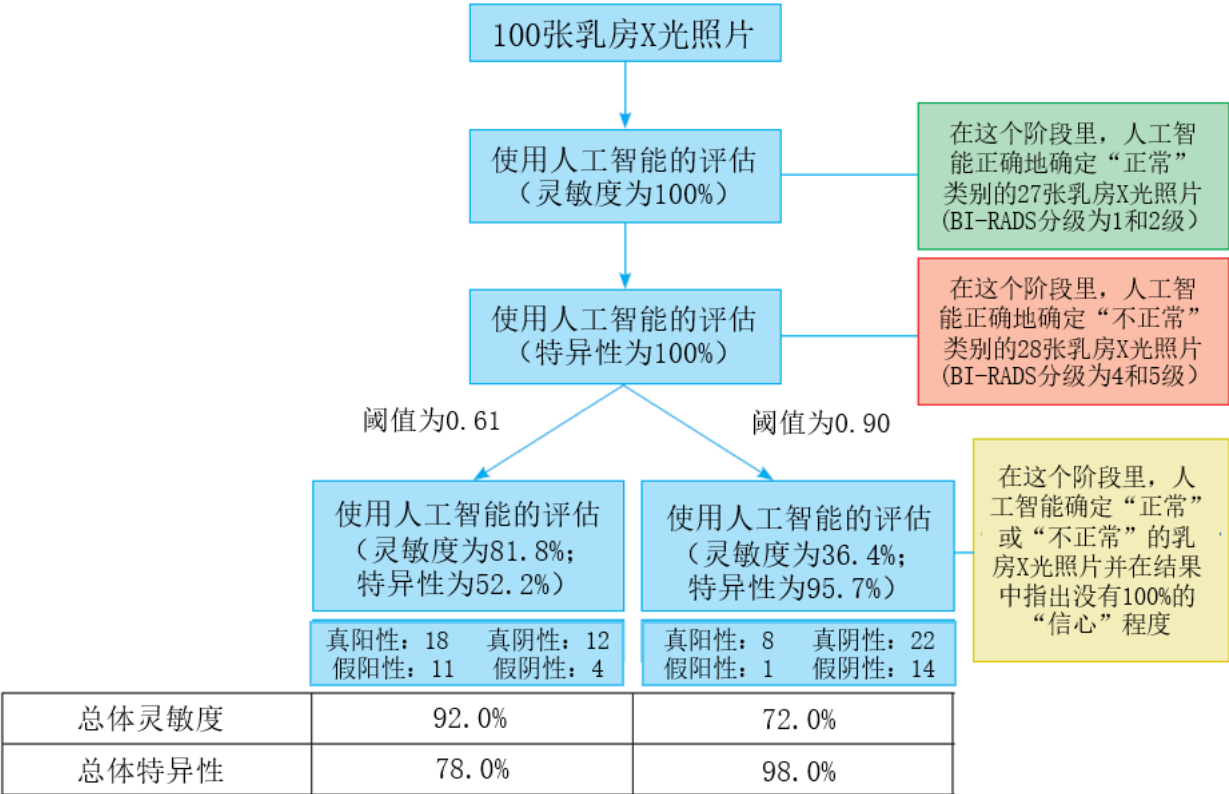


图2. 使用人工智能的乳腺X线房检查首次描述方法的概念, 该方法基于二元图像划分, 表明基于人工智能技术的软件对所获结果的“信心”程度。

在俄罗斯联邦的19个主体（占俄罗斯联邦所有主体的22.4%）中，单独确定了在临床检查框架内进行的《A06.20.004 乳腺X线摄影》医疗服务的费用。19个主体中的4个主体也确定了《A06.30.002 X射线图像的描述和解释（在重新描述乳房X光照片的情况下）》医疗服务的费用。在俄罗斯联邦的所有其他主体中，成人健康检查的第一阶段被算作一项综合服务，而没有明确包括在内的乳腺X线检查的费用。

乳腺X线检查描述的医疗服务费用从114.97到1034.93卢布不等。截止到2023年3月1日，《使

用人工智能描述和解释乳腺X线检查数据》医疗服务只是在莫斯科实验的框架内应用的[8]。根据莫斯科市强制医疗保险领土方案下提供的医疗服务的支付费率协议，该医疗服务的费用为239.00卢布³。

该研究中我们分析了两种方法来确定俄罗斯联邦境内进行筛查乳腺X线摄影的必要资金。第一种方法是根据2023年莫斯科的医疗服务成本进行计算。放射科医生进行一次乳腺X线检查描述的费用是178.00卢布。因此，放射科医生对每张乳房X光照片进行的两次查看值356.00卢布。反过

表2. 不同乳房X光照片分析方法的灵敏度和特异性

预防性乳腺X线摄影结果的分析	灵敏度, %	特异性, %
由医生进行的两次查看*	72.0 – 73.0	88.0 – 98.0
第一种使用人工智能对乳房X光照片进行第一次查看的初读的方法（二元划分）	80.0	90.0
第二种使用人工智能对乳房X光照片进行第一次查看的方法（具有“置信度”的二元划分），阈值为0.61	92.0	78.0
第二种使用人工智能对乳房X光照片进行第一次查看的方法（具有“置信度”的二元划分），阈值为0.90	72.0	98.0

注: *基于文献[5, 6]。

³ 2023年莫斯科市强制医疗保险领土方案下提供的医疗服务的支付费率协议（2022年12月30日在莫斯科签订）。访问方式: <https://www.consultant.ru/law/review/208575247.html>。

来, 如上所述, 人工智能和放射科医生描述乳房X光照片的费用为239.00卢布。因此, 在俄罗斯每年平均有820万张乳房X光照片的情况下, 放射科医生进行两次描述的费用将是29亿卢布, 而人工智能和放射科医生进行描述的费用将是19亿卢布。使用基于人工智能技术的软件, 每年可能节省10亿卢布。第二种方法是根据2023年俄罗斯联邦各主体的医疗服务成本进行计算。同时还考虑了人工智能和放射科医生在莫斯科的乳腺X线检查解释与放射科医生的两次解释相比所节省的成本百分比, 即

$$\frac{178.00 \times 2 - 239.00}{178.00 \times 2} \times 100\% = 32.8\%.$$

在俄罗斯联邦各地区放射科医生描述乳房X光照片的医疗服务费用为114.97至1034.93卢布, 而放射科医生两次描述乳房X光照片的费用为229.94至2069.86卢布。假设俄罗斯联邦各地区的人工智能和放射科医生对乳房X光照片的解释与莫斯科相同, 并比放射科医生的两次描述便宜32.8%, 我们得出人工智能和放射科医生对乳房X光照片的描述费用在154.51至1390.94卢布之间。因此, 在俄罗斯每年平均有820万张乳房X光照片的情况下, 放射科医生进行两次描述的成本将是18至169亿卢布, 而人工智能和放射科医生的描述成本将是12至114亿卢布。在全国范围内使用基于人工智能技术的软件, 每年可能会节省6亿至55亿卢布。

该研究的局限性

诊断准确度指标的数值是针对2022年底基于人工智能技术的软件版本定出的。

对于“无目标病理”组的患者来说, 对BI-RADS分级的动态没有进行评估, 这可以被认为是

研究的另一个局限性。

结论

本研究显示了使用人工智能技术对乳房X光照片进行首次描述的可行性和发展前途。一种医疗器械, 即基于人工智能技术的软件, 具有与放射科医生对乳房X光照片进行两次查看后获得的灵敏度和特异性一致或超过该数值的灵敏度和特异性。基于人工智能技术的软件的首次描述与放射科医生的第二次描述相结合的应用模式, 使全国范围内的经济效益每年达到6亿至55亿卢布。

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled “Evidence-based methodologies for sustainable development of artificial intelligence in medical imaging”, registration number to EGISU: 123031500004-5.

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, I.A. Tyrov — research concept, final proofreading of the text; A.V. Vladzimirsky — research concept and design, writing and editing of the text; K.M. Arzamasov — research concept and design, analysis of the data obtained, writing and editing of the text; I.M. Shulkin — research design, collection and processing of materials, final proofreading the text; D.D. Kozhikhina — research design, collection and processing of materials; L.D. Pestrenin — analysis of the data obtained, writing the text.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злокачественные новообразования в России в 2021 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. Москва, 2022. 252 с.
2. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. Москва, 2022. 239 с.
3. Chen Y., James J.J., Michalopoulou E., et al. Performance of radiologists and radiographers in double reading mammograms: The UK national health service breast screening program // *Radiology*. 2023. Vol. 306, N 1. P. 102–109. doi: 10.1148/radiol.212951
4. Euler-Chelpin M.V., Lillholm M., Napolitano G., et al. Screening mammography: Benefit of double reading by breast density // *Breast Cancer Res Treat*. 2018. Vol. 171, N 3. P. 767–776. doi: 10.1007/s10549-018-4864-1
5. Hickman S.E., Woitek R., Le E.P., et al. Machine learning for workflow applications in screening mammography: Systematic review and meta-analysis // *Radiology*. 2022. Vol. 302, N 1. P. 88–104. doi: 10.1148/radiol.2021210391
6. Liu J., Lei J., Ou Y., et al. Mammography diagnosis of breast cancer screening through machine learning: A systematic review and meta-analysis // *Clin Exp Med*. 2022. doi: 10.1007/s10238-022-00895-0
7. Рожкова Н.И., Ройтберг П.Г., Варфоломеева А.А., и др. Сегментационная модель скрининга рака молочной железы на основе нейросетевого анализа рентгеновских изображений // *Сеченовский вестник*. 2020. Т. 11, № 3. С. 4–14. doi: 10.47093/2218-7332.2020.11.3.4-14
8. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента. Монография / под ред. Ю.А. Васильева, А.В. Владимировского. Москва: Издательские решения, 2022. 388 с.
9. Патент РФ на изобретение № 2022617324/05.04.2022. Бюл. № 4. Морозов С.П., Андрейченко А.Е., Четвериков С.Ф., и др. Веб-инструмент для выполнения ROC-анализа результатов диагностических тестов. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48373757>. Дата обращения: 10.03.2023.

10. Morozov S.P., Vladzimirsky A.V., Klyashtorny V.G., et al. Clinical acceptance of software based on artificial intelligence technologies (radiology). Moscow, 2019. 45 p. (Ser. Best practices in medical imaging).
11. Schaffter T., Buist D.S., Lee C.I., et al. Evaluation of combined artificial intelligence and radiologist assessment to interpret screening mammograms // *JAMA Netw Open*. 2020. Vol. 3, N 3. P. e200265. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.0265

12. Wan Y., Tong Y., Liu Y., et al. Evaluation of the combination of artificial intelligence and radiologist assessments to interpret malignant architectural distortion on mammography // *Front Oncol*. 2022. N 12. P. 880150. doi: 10.3389/fonc.2022.880150
13. Leibig C., Brehmer M., Bunk S., et al. Combining the strengths of radiologists and AI for breast cancer screening: A retrospective analysis // *Lancet Digit Health*. 2022. Vol. 4, N 7. P. e507–e519. doi: 10.1016/S2589-7500(22)00070-X

REFERENCES

1. Malignant neoplasms in Russia in 2021 (morbidity and mortality). Ed by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shahzadova. Moscow; 2022. 252 p. (In Russ).
2. The state of oncological assistance to the population of Russia in 2021. Ed by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shahzadova. Moscow; 2022. 239 p. (In Russ).
3. Chen Y, James JJ, Michalopoulou E, et al. Performance of radiologists and radiographers in double reading mammograms: The UK national health service breast screening program. *Radiology*. 2023;306(1):102–109. doi: 10.1148/radiol.212951
4. Euler-Chelpin MV, Lillholm M, Napolitano G, et al. Screening mammography: Benefit of double reading by breast density. *Breast Cancer Res Treat*. 2018;171(3):767–776. doi: 10.1007/s10549-018-4864-1
5. Hickman SE, Woitek R, Le EP, et al. Machine learning for workflow applications in screening mammography: Systematic review and meta-analysis. *Radiology*. 2022;302(1):88–104. doi: 10.1148/radiol.2021210391
6. Liu J, Lei J, Ou Y, et al. Mammography diagnosis of breast cancer screening through machine learning: A systematic review and meta-analysis. *Clin Exp Med*. 2022. doi: 10.1007/s10238-022-00895-0
7. Rozhkova NI, Rojtborg PG, Varfolomeeva AA, et al. Neural network-based segmentation model for breast cancer X-ray screening. *Sechenov medical journal*. 2020;11(3):4–14 (In Russ). doi: 10.47093/2218-7332.2020.11.3.4-14
8. Vasilev JA, Vladzimirsky AV. Computer vision in radiology: The first stage of the Moscow experiment: Monograph. Moscow: Izdatel'skie resheniya; 2022. 388 p. (In Russ).
9. Patent RUS № 2022617324/05.04.2022. Byul. № 4. Morozov SP, Andreichenko AE, Chetverikov SF, et al. A web-based tool for performing ROC analysis of diagnostic test results. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48373757>. Accessed: 10.03.2023. (In Russ).
10. Morozov SP, Vladzimirsky AV, Klyashtorny VG, et al. Clinical acceptance of software based on artificial intelligence technologies (radiology). Moscow; 2019. 45 p. (Ser. Best practices in medical imaging).
11. Schaffter T, Buist DS, Lee CI, et al. Evaluation of combined artificial intelligence and radiologist assessment to interpret screening mammograms. *JAMA Netw Open*. 2020;3(3):e200265. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.0265
12. Wan Y, Tong Y, Liu Y, et al. Evaluation of the combination of artificial intelligence and radiologist assessments to interpret malignant architectural distortion on mammography. *Front Oncol*. 2022;(12):880150. doi: 10.3389/fonc.2022.880150
13. Leibig C, Brehmer M, Bunk S, et al. Combining the strengths of radiologists and AI for breast cancer screening: A retrospective analysis. *Lancet Digit Health*. 2022;4(7):e507–e519. doi: 10.1016/S2589-7500(22)00070-X

AUTHORS' INFO

* **Lev D. Pestrenin**, Junior Research Associate;
address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-1786-4329;
eLibrary SPIN: 7193-7706;
e-mail: PestreninLD@zdrav.mos.ru

Yuriy A. Vasilev, MD, Cand. Sci. (Med);
ORCID: 0000-0002-0208-5218;
eLibrary SPIN: 4458-5608;
e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

Ilya A. Tyrov;
ORCID: 0000-0001-9337-624X;
eLibrary SPIN: 8625-3458;
e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

Anton V. Vladzimirsky, MD, Dr. Sci. (Med), Professor;
ORCID: 0000-0002-2990-7736;
eLibrary SPIN: 3602-7120;
e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

ОБ АВТОРАХ

* **Пестренин Лев Дмитриевич**, мл. науч. сотр.;
адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: 0000-0002-1786-4329;
eLibrary SPIN: 7193-7706;
e-mail: PestreninLD@zdrav.mos.ru

Васильев Юрий Александрович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-0208-5218;
eLibrary SPIN: 4458-5608;
e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

Тыров Илья Александрович;
ORCID: 0000-0001-9337-624X;
eLibrary SPIN: 8625-3458;
e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

Владзими́рский Анто́н Вячесла́вович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-2990-7736;
eLibrary SPIN: 3602-7120;
e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

Kirill M. Arzamasov, MD, Cand. Sci. (Med);
ORCID: 0000-0001-7786-0349;
eLibrary SPIN: 3160-8062;
e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru

Igor M. Shulkin;
ORCID: 0000-0002-7613-5273;
eLibrary SPIN: 5266-0618;
e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

Daria D. Kozhikhina;
ORCID: 0000-0001-7690-8427;
eLibrary SPIN: 5869-3854;
e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

Арзамасов Кирилл Михайлович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-7786-0349;
eLibrary SPIN: 3160-8062;
e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru

Шулькин Игорь Михайлович;
ORCID: 0000-0002-7613-5273;
eLibrary SPIN: 5266-0618;
e-mail: npcmr@zdrav.mos.r

Кожихина Дарья Дмитриевна;
ORCID: 0000-0001-7690-8427;
eLibrary SPIN: 5869-3854;
e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

Диагностическая и экономическая оценка применения комплексного алгоритма искусственного интеллекта, направленного на выявление десяти патологических находок по данным компьютерной томографии органов грудной клетки

В.Ю. Чернина¹, М.Г. Беляев¹, А.Ю. Силин², И.О. Аветисов², И.А. Пятницкий^{1, 10}, Е.А. Петраш^{1, 3},
М.В. Басова¹, В.Е. Сеницын^{4, 5}, В.В. Омеляновский^{6, 7, 8}, В.А. Гомболевский^{1, 9}

¹ АЙРА Лабс, Москва, Российская Федерация

² Клинический госпиталь на Яузе, Москва, Российская Федерация

³ Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Блохина, Москва, Российская Федерация

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

⁵ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

⁶ Центр экспертизы и контроля качества медицинской помощи, Москва, Российская Федерация

⁷ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация

⁸ Научно-исследовательский финансовый институт, Москва, Российская Федерация

⁹ Институт искусственного интеллекта, Москва, Российская Федерация

¹⁰ Техасский университет в Остине, Остин, США

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Технологии искусственного интеллекта призваны помочь в решении проблемы пропуска находок при лучевых исследованиях. Важным вопросом является оценка экономической пользы от внедрения технологий искусственного интеллекта.

Цель — оценить частоту выявления патологических находок и экономический потенциал применения комплексного искусственного интеллекта для компьютерной томографии органов грудной клетки, валидированного экспертами, по сравнению с рентгенологами без доступа к технологиям в условиях частного медицинского центра.

Материалы и методы. Проведено обсервационное одноцентровое ретроспективное исследование. В исследование включались компьютерные томограммы органов грудной клетки без внутривенного контрастирования, выполненные в ООО «Клинический госпиталь на Яузе» (Москва) в период с 01.06.2022 по 31.07.2022. Компьютерные томограммы обработаны комплексным алгоритмом искусственного интеллекта для десяти патологий: инфильтративные изменения в лёгких, характерные для вирусной пневмонии (COVID-19 в условиях пандемии); лёгочные узлы; свободная жидкость в плевральных полостях; эмфизема лёгких; увеличение диаметра грудной аорты; увеличение диаметра ствола лёгочной артерии; коронарный кальциноз; оценка толщины надпочечников; оценка высоты и плотности тел позвонков. Два эксперта анализировали компьютерные томограммы и сравнивали результаты с анализом искусственного интеллекта. Для всех находок, выявленных и не выявленных врачами клиники, определили дальнейшую маршрутизацию в соответствии с клиническими рекомендациями. Для каждого пациента была рассчитана стоимость неоказанных медицинских услуг по прайс-листу клиники.

Результаты. Итоговую группу составили 160 компьютерных томограмм органов грудной клетки с описаниями. С помощью искусственного интеллекта выявлено 90 (56%) исследований с патологиями, из них в 81 (51%) протоколе была пропущена хотя бы одна патология. Общая стоимость неоказанных медицинских услуг «второго этапа» для всех патологий от 81 пациента была оценена в 2 847 760 руб. (37 250,99 долларов или 256 217,95 китайских юаней). Стоимость неоказанных медицинских услуг только для тех патологий, которые пропущены врачами, но выявлены искусственным интеллектом, составила 2 065 360 руб. (27 016,57 долларов или 185 824,05 китайских юаней).

Заключение. Применение искусственного интеллекта для анализа данных компьютерной томографии органов грудной клетки в качестве помощника рентгенолога позволяет существенно уменьшить число случаев пропуска патологий. Использование искусственного интеллекта может принести в 3,6 раза больше стоимости за медицинские услуги по сравнению со стандартной моделью работы рентгенологов без применения таких технологий, и, таким образом, быть рентабельным для применения в условиях частного медицинского центра.

Ключевые слова: компьютерная томография; искусственный интеллект; грудная клетка; случайные находки.

Как цитировать

Чернина В.Ю., Беляев М.Г., Силин А.Ю., Аветисов И.О., Пятницкий И.А., Петраш Е.А., Басова М.В., Сеницын В.Е., Омеляновский В.В., Гомболевский В.А. Диагностическая и экономическая оценка применения комплексного алгоритма искусственного интеллекта, направленного на выявление десяти патологических находок по данным компьютерной томографии органов грудной клетки // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 105–132. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

Рукопись получена: 07.04.2023

Рукопись одобрена: 22.05.2023

Опубликована: 01.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

Analysis of the diagnostic and economic impact of the combined artificial intelligence algorithm for analysis of 10 pathological findings on chest computed tomography

Valeria Yu. Chernina¹, Mikhail G. Belyaev¹, Anton Yu. Silin², Ivan O. Avetisov², Ilya A. Pyatnitskiy^{1, 10}, Ekaterina A. Petrash^{1, 3}, Maria V. Basova¹, Valentin E. Sinitsyn^{4, 5}, Vitaly V. Omelyanovskiy^{6, 7, 8}, Victor A. Gombolevskiy^{1, 9}

¹ IRA Labs, Moscow, Russian Federation

² Clinical Hospital on Yauza, Moscow, Russian Federation

³ N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russian Federation

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

⁵ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

⁶ The Center for Healthcare Quality Assessment and Control, Moscow, Russian Federation

⁷ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

⁸ Scientific and research financial institute, Moscow, Russian Federation

⁹ Artificial Intelligence Research Institute, Moscow, Russian Federation

¹⁰ The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA

ABSTRACT

BACKGROUND: Artificial intelligence technology can help solve the significant problem of missed findings in radiology studies. An important issue is assessing the economic benefits of implementing artificial intelligence.

AIM: To evaluate the frequency of missed pathologies detection and the economic potential of artificial intelligence technology for chest computed tomography compared and validated by experienced radiologists.

MATERIALS AND METHODS: This was an observational, single-center retrospective study. The study included chest computed tomography without IV contrast from June 1 to July 31, 2022, in Clinical Hospital in Yauza, Moscow. The computed tomography was processed using a complex artificial intelligence algorithm for 10 pathologies: pulmonary infiltrates, typical for viral pneumonia (COVID-19 in pandemic conditions); lung nodules; pleural effusion; pulmonary emphysema; thoracic aortic dilatation; pulmonary trunk dilatation; coronary artery calcification; adrenal hyperplasia; and osteoporosis (vertebral body height and density changes). Two experts analyzed computed tomography and compared results with artificial intelligence. Further routing was determined according to clinical guidelines for all findings initially detected and missed by radiologists. The hospital price list determined the potential revenue loss for each patient.

RESULTS: From the final 160 computed tomographies, the artificial intelligence identified 90 studies (56%) with pathologies, of which 81 (51%) were missing at least one pathology in the report. The "second-stage" lost potential revenue for all pathologies from 81 patients was RUB 2,847,760 (\$37,251 or CNY 256,218). Lost potential revenue only for those pathologies missed by radiologists but detected by artificial intelligence was RUB 2,065,360 (\$27,017 or CNY 185,824).

CONCLUSION: Using artificial intelligence as an "assistant" to the radiologist for chest computed tomography can dramatically minimize the number of missed abnormalities. Compared with the normal model without artificial intelligence, using artificial intelligence can provide 3.6 times more benefits. Using advanced artificial intelligence for chest computed tomography can save money.

Keywords: artificial intelligence; chest; computed tomography; incidental findings.

To cite this article

Chernina VYu, Belyaev MG, Silin AY, Avetisov IO, Pyatnitskiy IA, Petrash EA, Basova MV, Sinitsyn VE, Omelyanovskiy VV, Gombolevskiy VA. Analysis of the diagnostic and economic impact of the combined artificial intelligence algorithm for analysis of 10 pathological findings on chest computed tomography. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):105–132. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

Received: 07.04.2023

Accepted: 22.05.2023

Published: 01.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

旨在从胸部电子计算机断层扫描中识别十种病理发现的复合人工智能算法应用的诊断和经济评估

Valeria Yu. Chernina¹, Mikhail G. Belyaev¹, Anton Yu. Silin², Ivan O. Avetisov², Ilya A. Pyatnitskiy^{1, 10}, Ekaterina A. Petrash^{1, 3}, Maria V. Basova¹, Valentin E. Sinitsyn^{4, 5}, Vitaly V. Omelyanovskiy^{6, 7, 8}, Victor A. Gomboleviskiy^{1, 9}

¹ IRA Labs, Moscow, Russian Federation

² Clinical Hospital on Yauza, Moscow, Russian Federation

³ N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russian Federation

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

⁵ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

⁶ The Center for Healthcare Quality Assessment and Control, Moscow, Russian Federation

⁷ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

⁸ Scientific and research financial institute, Moscow, Russian Federation

⁹ Artificial Intelligence Research Institute, Moscow, Russian Federation

¹⁰ The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA

简评

论证。人工智能技术打算帮助解决射线检验中遗漏发现的问题。一个重要的问题是对采用人工智能技术的经济效益进行的评估。

该研究的目的是评估在私人医疗中心环境下，与不应用技术的放射科医生相比，使用全面的、经过专家验证的人工智能进行胸部电子计算机断层扫描的检测频率和经济潜力。

材料和方法。进行了一项观察性、单中心的回顾性研究。本研究包括2022年6月1日至2022年7月31日在“Clinical Hospital on Yauza”（莫斯科）进行的没有静脉性造影剂的胸部器官电子计算机断层扫描图像。电子计算机断层扫描图像由人工智能的综合算法处理，用于10种病症：病毒性肺炎（大流行条件下的COVID-19）的肺部浸润性病变；肺结节；胸膜腔内的游离液体；肺气肿；胸主动脉增宽；肺动脉干增宽；冠状动脉钙化；肾上腺厚度的评估；椎体高度和密度的评估。两位专家分析了电子计算机断层扫描图像，并对结果与人工智能分析进行了比较。对于诊所医生检测到和未检测到的所有发现，根据临床指南确定了进一步路由。对于每个病人，根据诊所的价格表，计算出未提供的医疗服务费用。

结果。最后一组由160个带有描述的胸部器官电子计算机断层扫描图像组成。人工智能识别出90个（56%）有病变的研究，其中81个（51%）协议至少有一个遗漏的病变。81名患者的所有病变的未提供的“第二阶段”医疗服务的总成本估计为2,847,760卢布（37,250.99美元或256,217.95人民币）。只有那些被医生遗漏但被人工智能检测出来的病变的未提供医疗服务费用为2,065,360卢布（27,016.57美元或185,824.05人民币）。

结论。来为分析胸部电子计算机断层扫描数据而使用的作为放射科医生助手的人工智能允许大大减少遗漏病变的情况。与不应用这种技术放射科医生工作的标准模式相比，使用人工智能可以为每项医疗服务带来3.6倍的成本，因此，在私人医疗中心环境下的应用具有成本效益。

关键词：电子计算机断层扫描；人工智能；胸廓；偶然发现。

引用本文：

Chernina VYu, Belyaev MG, Silin AY, Avetisov IO, Pyatnitskiy IA, Petrash EA, Basova MV, Sinitsyn VE, Omelyanovskiy VV, Gomboleviskiy VA. 旨在从胸部电子计算机断层扫描中识别十种病理发现的复合人工智能算法应用的诊断和经济评估. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):105–132.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

收到: 07.04.2023

接受: 22.05.2023

发布日期: 01.06.2023

缩写和首字母缩略词列表

CI——置信区间

AI——人工智能

CT——电子计算机断层扫描

ICD-10——疾病和有关健康问题的国际统计分类，第十次修订本

MRI——磁共振成像

胸部LDCT——胸部低剂量计算机断层扫描

论证

根据世界卫生组织的数据，大多数死亡是由于心血管疾病、癌症、传染病和肺部疾病而发生的¹。根据肺癌筛查的大型随机性研究，由于允许检测到偶然临床意义的发现以及治疗和预防相关疾病，在无症状的高危人群中使用胸部低剂量计算机断层扫描（胸部CT）不仅降低了肺癌死亡率，而且也降低了所有原因的死亡率：在美国国家肺部筛查试验（National Lung Screening Trial, NLST）框架内降低了6.7%，在意大利多中心肺检测试验（Multicentric Italian Lung Detection, MILD）框架内从第5年到第10年的随访中降低了39%[1, 2]。

已发现了，肺癌筛查项目在高危人群中具有成本效益。这种效果在不同国家的医疗保健系统中是不同的[3]。然而，出现，在这些项目中，肺癌死亡率和总体死亡率之间的差异很大。例如，在一项肺癌筛查的研究中，77.1%的患者死因不是肺癌，而是其他疾病，如心血管疾病、肺部疾病、其他肿瘤、传染病等[1]。由于专注于寻找肺癌的任务，放射科医生可能会错过与其他疾病有关的病理检查所见。例如，有报道称，当肺癌筛查时，58%的临床意义发现没有反映在放射科医生的报告文本中[4]。

在COVID-19大流行期间，肺癌筛查计划被暂停，因为需要使用断层扫描仪对胸部器官进行大规模电子计算机断层扫描（CT），以诊断冠状病毒感染。在接受胸部CT扫描的患者中，50%的患者中发现了偶然发现，25%的患者中发现了有临床意义的发现[5]。通过胸部CT获得的大量数据不仅允许诊断肺部疾病，而且允许诊断其他器官和系统的疾病[6-8]。但也有可能遗漏有临床意义的发现，造成遗漏的原因包括医务人员短缺、职业倦怠、流行病效应和医生工作量增加。

解决这一问题的最大希望在于人工智能（AI）技术。因此，评估使用创新的经济效益是一个重

要问题。为医疗保健提供的人工智能产品数量最多的是放射诊断的：与所有其他医疗专业的总和相比，其数量多几倍²。在俄罗斯联邦，将人工智能用于放射诊断的最大项目是在计算机视觉领域使用创新技术来分析医学图像并进一步用于莫斯科市医疗保健系统的实验（以下简称“莫斯科实验”），在该项目框架内处理了750多万次放射检查，包括射线照相检查、乳腺X线摄影检查和电子计算机断层扫描检查³[9]。

综上所述，使用旨在搜索单一病变的人工智能算法，在作为主要致死原因的疾病防治的实际工作中价值有限。考虑到利用人工智能一步发现多种病变的需要，第一批软件产品已经问世。这些产品可对胸部CT扫描进行全面分析，已通过所有阶段的测试。105家莫斯科市医疗机构已批准使用这些产品⁴。IRA Labs公司的复合人工智能Multi-IRA就是此类产品之一，它可以同时搜索CT上各种疾病的十种病理迹象[10-13]，即：

- 1) 以病毒性肺炎特有的肺部浸润性病变（大流行条件下为COVID-19；根据疾病和有关健康问题的国际统计分类第十次修订本（ICD-10），U07），并评估肺部受损的百分比；
- 2) 肺结节，并对其大小、体积和密度进行评估，以发现肺部恶性肿瘤（根据ICD-10，C34）；
- 3) 胸膜腔内的游离液体（渗液）（根据ICD-10，J94）；
- 4) 肺气肿，作为慢性阻塞性肺病的一种表现形式（根据ICD-10，J44）；
- 5) 测定胸主动脉的直径，以发现其扩张和动脉瘤（根据ICD-10，I70和I71）；
- 6) 测定肺动脉干的直径，以发现可能导致肺动脉高压的原因（根据ICD-10，I27）；
- 7) 使用Agatston评分分析冠状动脉钙化的严重程度，以评估冠状动脉粥样硬化的严重程度和患冠状动脉疾病的风险（根据ICD-10，I20-I25）；
- 8) 评估肾上腺厚度，以发现肿瘤和增生（根据ICD-10，C74）；

¹ who.int[互联网]。全球十大死因[引用日期：2020.12.09]。访问方式：<https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>。

² IQVIA[互联网]。FDA Publishes Approved List of AI/ML-enabled Medical Devices[引用日期：2021年10月29日]。Michaela Miller, Technology & Analytics Practice Lead, U.S. MedTech, IQVIA。访问方式：<https://www.iqvia.com/locations/united-states/blogs/2021/10/fda-publishes-approved-list-of-ai-ml-enabled-medical-devices>。

³ 诊断和远程医疗中心[互联网]。实验（<https://mosmed.ai/ai/>）；数据集（<https://mosmed.ai/datasets/>）。参考日期：2023年3月17日。

⁴ 诊断和远程医疗中心[互联网]。IRA Labs, Inc. Chest-IRA。访问方式：https://mosmed.ai/service_catalog/chestira/。

- 9) 椎体高度，以诊断压缩性骨折（根据ICD-10，M80-M85）；
- 10) 分析椎体密度，以发现骨质疏松症的症状（根据ICD-10，M80-M85）。

该研究的目的是评估在私人医疗中心环境下，与不应用技术的放射科医生相比，使用全面的、经过专家验证的人工智能进行胸部电子计算机断层扫描的检测频率和经济潜力。

材料和方法

研究设计

本研究是一项观察性、单中心的回顾性研究。无需患者知情同意。文章是根据CHEERS 2022检查表写的，该检查表是为医学研究的经济评估而设计的⁵[14]。经济分析计划是为一家私立医疗中心制定的。经济分析计划的形式是估算未提供医疗服务的潜在增量成本。根据临床指南和基于病理检查所见的循证医学最佳实践，这些服务应该是为患者提供的。通过进一步的诊断行为来明确CT检查结果的性质和严重程度，未提供医疗服务费用还可以从使用综合人工智能中获益，比放射科医生的高。

本研究未对治疗费用进行评估。
图1给出研究设计。

纳入排除标准

我们采用了纳入和排除标准来形成研究小组。

纳入标准：来医疗机构接受医疗服务的男性和女性的胸部CT扫描结果，该医疗结构为莫斯科市成人提供初级和专业医疗服务；胸部CT扫描由放射科医生在2022年6月1日至2022年7月31日期间进行和判读；胸部CT扫描时没有使用静脉性造影剂；患者年龄大于18岁；具有以DICOM格式的CT检查图像以及具有医疗机构放射科医生的检查描述的协议书文本；患者初次到医疗机构就诊。

排除标准：年龄大于85岁；之前的胸部CT是在一年内进行的；由于与算法无关的原因（例如，不适当的形式、胸部器官以外的检查区域、切片数量不足（少于30张）），人工智能无法处理检查结果；由于算法本身的特殊性（例如，由于扫描层面存在明显的金属结构伪影，导致操作不正确），人工智能无法处理检查结果。

进行研究的条件

CT检查是在“Clinical Hospital on Yauza”多学科私立医疗机构进行的。该机构为莫斯科的成年人提供初级医疗和专科医疗服务。

研究期限

研究是针对2022年6月1日至2022年7月31日期间的CT数据进行的。基于人工智能的回顾性

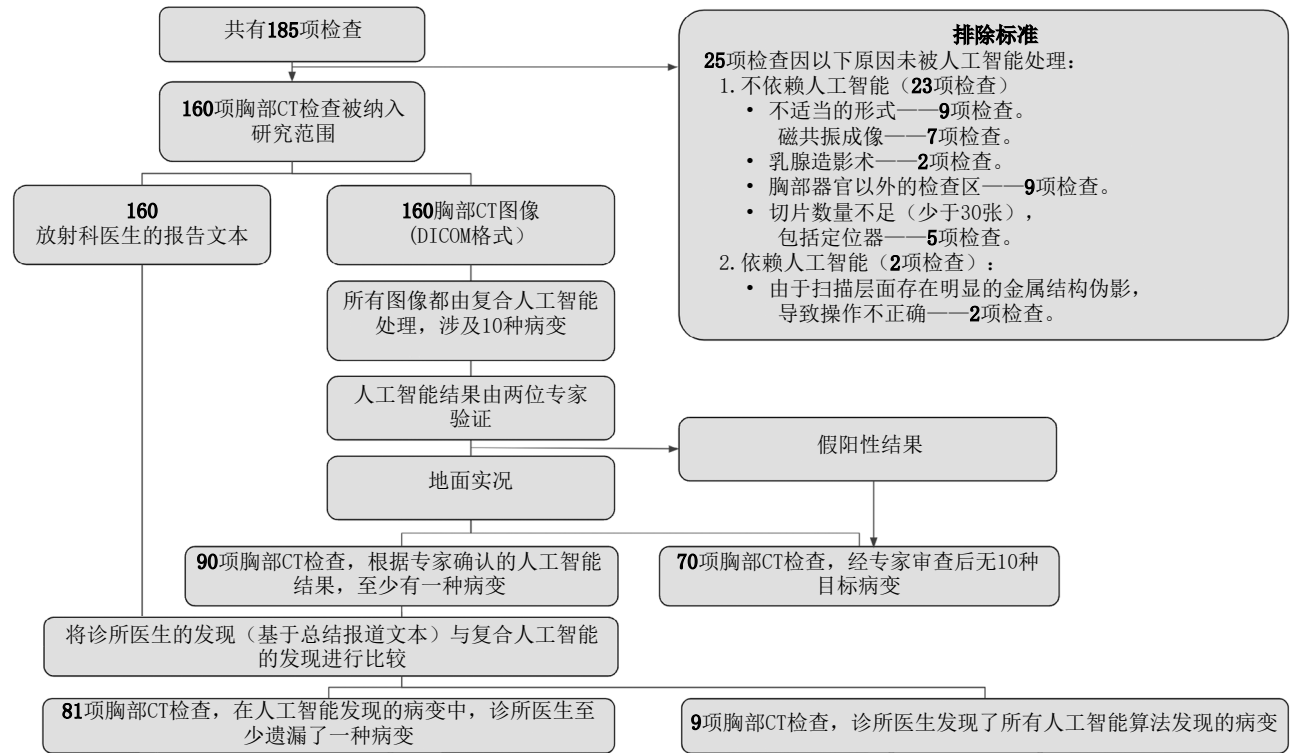


图1。研究设计。

⁵ EQUATOR Network[互联网]。Enhancing the QUALity and Transparency Of health Research。访问方式: <https://www.equator-network.org/reporting-guidelines/cheers/>。

分析和对结构的检查是2022年10月1日至2022年11月30日期间进行的，这种检查是由专家进行的。

研究描述

胸部CT扫描是在Philips Ingenuity CT电脑断层扫描仪上进行的，无需静脉性造影剂。断层扫描仪每转一管可扫描128张切片。胸部扫描协议根据设备制造商的标准建议和国家建议执行。CT结果分两个系列提供给医生和人工智能。第一个系列是在重建时用软组织内核进行的（60 HU——窗口中心，360 HU——窗口宽度）。第二组是在重建时用肺内核进行的（-500 HU——窗口中心，1500 HU——窗口宽度）。切片厚度为1.0mm。我们使用了迭代模型重建（iterative model reconstruction, IMR）算法。这种重建技术旨在提高图像质量（降噪）和减少对患者的辐射剂量。所有纳入的CT检查都是使用IRA Labs公司的Multi-IRA复合人工智能程序处理的。该程序已集成到诊所的图像存档和通信系统（picture archiving and communication system, PACS）中。本研究中所使用的人工智能算法之前已在专门准备的校准数据集上进行过测试，作为莫斯科人工智能实验的一部分⁶。

根据基于智能技术的软件临床试验方法建议，能否使用人工智能算法的标准是其准确度不低于每种病变的ROC曲线下面积（ROC AUC）0.81[15]。人工智能算法的诊断准确度指标值是在莫斯科实验框架内通过独立于开发商的非公开数据集获得的。表1给出这些数据[9, 10]。

该研究的主要成果

对于诊所医生检测到和未检测到的所有发现，都确定了“第二阶段”（专科医生咨询以及各种类型的临床、仪器和实验室后续检查）。因此，病人的下一步治疗路线是根据每种病理的当前临床建议确定的。然后，对于每个病人，根据诊所的价格表，计算出未提供的医疗服务费用；成本的确定依据是因病变遗漏而按照临床建议未提供的必要医疗服务。此外，还根据表2[16-31]计算了因重要病变遗漏而产生的未提供的医疗服务费用。在医疗机构的电子医疗信息系统中，如果有根据医生专家结合人工智能分析对CT数据进行检查后得出的地面实况（ground truth）数据，CT描述的最终文本中没有病理发现信息，则视为医生的遗漏。人工智能算法识别出的结果，如果在分析CT图像时得到两位专家医师的确认，则被视为地面实况。

表1. 在莫斯科实验的数据集上获得的胸部计算机断层扫描复杂人工智能的诊断准确度指标值

用于某些病症的Multi-IRA人工智能算法的名称	ROC AUC	灵敏度	特异度	准确度
COVID-IRA (识别肺部浸润的区域)	0.98	0.95	0.94	0.94
LungNodule-IRA (识别肺部的结节)	0.932	0.86	0.9	0.88
PleuralEffusion-IRA (识别胸腔积液)	0.999	0.98	1	0.99
Aorta-IRA (胸部器官) (分析胸主动脉的直径)	0.997	0.96	1	0.98
Aorta-IRA (胸部器官+腹腔器官) (分析胸主动脉和腹主动脉的直径)	1	0.98	1	0.99
PulmTrunk-IRA (分析肺动脉干的直径)	1	1	0.98	0.99
Agatston-IRA (分析Agatson钙指数)	0.986	0.96	0.96	0.96
Genant-IRA (分析椎体高度)	0.995	1	0.98	0.99
Emphysema-IRA (识别肺气肿)	0.989	0.94	0.98	0.96
Adrenal-IRA (评估肾上腺厚度以寻找肿块和增生)	0.96	1	0.96	0.98

⁶ 诊断和远程医疗中心[互联网]。IRA Labs, Inc.: Chest-IRA (https://mosmed.ai/service_catalog/chestira/) ; Adrenal-IRA Abd (https://mosmed.ai/service_catalog/adrenalira/) ; Aorta-IRA Abd (https://mosmed.ai/service_catalog/aortaira/) ; Genant-IRA Abd (https://mosmed.ai/service_catalog/genant-ira/) 。参考日期: 2023年3月17日。

表2. 病变发现和遗漏的标准

病变	病变的标准	有重大病变遗漏的标准	无重大病变遗漏的标准
肺结节	至少有一个平均尺寸 ≥ 6 mm (体积 ≥ 100 mm ³)的固体或亚固体结节 (只测量固体部分) [16]	除了肺裂结节以外,符合所述标准的这种病变的所有发现都被认为是重大的。沿着胸膜的结节是良性的,不需要进一步随访	
以病毒性肺炎特有的肺部浸润性病变 (大流行条件下为COVID-19)	1. 两侧磨玻璃样的肺实质浸润,主要是周围局部浸润,伴有或不伴有巩固样的肺实质浸润,有空气支气管征 2. 两侧鹅卵石样的肺实质浸润 (在“磨玻璃”的背景下,肺泡壁增厚),主要是周围局部浸润,伴有或不伴有巩固样的肺实质浸润,有空气支气管征 [17, 18]	肺受损的体积 $>50\%$	肺受损的体积 $<50\%$
肺气肿	在两肺中存在CT密度 ≤ -950 HU的区域 (不包括支气管腔), 总数 $\geq 6\%$ (按体积) [19, 20]	符合所述标准的这种病变的所有发现都被认为是重大的	
胸膜腔内的游离液体 (渗液)	胸膜腔内存在密度为0-30 HU的镰刀状积液 (渗液), 位于胸腔内重力依赖区 [21]	最大层厚 >10 mm	最大层厚 <10 mm
主动脉瘤/主动脉扩张	1. 胸升主动脉扩张: 在原生图像上, 升主动脉的最大直径在轴向平面上为40至49 mm (含49 mm) 2. 胸升主动脉瘤: 在原生图像上, 升主动脉的最大直径在轴向平面上 ≥ 50 mm 3. 胸降主动脉扩张: 在原生图像上, 降主动脉的最大直径在轴向平面上为31至39 mm 4. 胸降主动脉瘤: 在原生图像上, 降主动脉的最大直径在轴向平面上 ≥ 40 mm [22] 5. 腹主动脉扩张: 最大直径为25至29 mm (含29 mm) 6. 腹主动脉瘤: 最大直径 ≥ 30 mm [23, 24]	胸升主动脉 (直径 ≥ 50 mm) 和胸降主动脉 (直径 ≥ 40 mm) 的主动脉瘤; 腹主动脉瘤 (直径 ≥ 30 mm)	胸升主动脉 (直径为40至49 mm) 和胸降主动脉 (直径为31至39 mm) 的扩张; 腹主动脉扩张 (直径 ≥ 30 mm)
肺动脉干扩张	肺动脉干的直径 ≥ 29 mm ⁸ [25]	>29 mm	29 mm
根据Agatston评分, 冠状动脉钙化	在原生图像上, 钙指数/Agatston评分 (冠状血管投影的面积之和乘以各个密度系数*) ≥ 1 , 或CAC-DRS A1-A3级 [26, 27] *因素1: 130-199 HU 因素2: 200-299 HU 因素3: 300-399 HU 因素4: ≥ 400 HU	Agatston评分 >10	Agatston评分从1到10
评估肾上腺厚度, 以发现肿块和增生	肾上腺体或肾上腺干的结节, 短轴上的直径 ≥ 10 mm [28]	符合所述标准的这种病变的所有发现都被认为是重大的	
评估椎体骨松质密度, 以发现骨质疏松症/骨质减少	根据ACR 2018、ISCD 2019, Th11-L3 (最佳为L1-L2) 的椎体骨矿密度降低 [29]	密度 $<+100$ HU	密度从+100至+150 HU
评估椎体压缩性骨折, 以发现骨质疏松症	存在椎体压缩性改变, 在Genant半定量上 $\geq 25\%$, II-III级 [30, 31]。 改变程度是用公式计算的: 改变程度 = (最大椎体尺寸的比率-最小/最大尺寸) $\times 100\%$	符合所述标准的这种病变的所有发现都被认为是重大的	

⁷ 欧洲心脏病学会 (ESC) 主动脉疾病诊断和治疗工作组。ESC主动脉疾病诊断和治疗指南, 2014年。访问方式: https://scardio.ru/content/Guidelines/Recom%20po%20aorte%207_rkj_15.pdf。

⁸ 欧洲心脏病学会 (ESC) 和欧洲呼吸学会 (ERS) 肺动脉高压诊断和治疗工作组。ESC/ERS肺动脉高压诊断和治疗指南, 2015年。访问方式: https://scardio.ru/content/Guidelines/ESC%20_L_hypert_2015.pdf。

该研究的其他成果

此外，还计算了诊所中每位放射科医生有重大遗漏和无重大遗漏的总结数量，以及错误总结的百分比。

分组分析

两名专家（分别是有10年和13年经验的放射科医生，他们不是研究中使用数据的医疗机构的员工）对CT扫描结果和人工智能算法的处理结果进行了审查，以排除软件错误。如果出现意见分歧，则集体讨论后做出统一决定。根据审查结果，复合人工智能分析的地面实况被选出，并由两位专家确认。然后，将人工智能提出的结果与医疗机构放射科医生在未使用人工智能的情况下撰写的胸部CT描述协议的最终文本进行了比较，并找出病变遗漏。医疗机构放射科医生遗漏的所有病变分为重要和不重要两种。然后，根据人工智能结果的基本诊断要求，对病变重要性标准进行了评估。这些要求是在莫斯科实验框架内采用的，并得到了国家预算机构莫斯科市卫生局诊断和远程医疗科学实践临床中心科学问题委员会的同意，协议日期分别为2021年12月10日№9/2021、2022年2月28日№1/2022、2022年12月6日№7/2022、2023年1月13日№1/2023。这些要求基于临床建议和最佳实践，从循证医学的角度来看是合理的。

本研究未对协议文本中是否提及心外膜脂肪进行评估，因为医疗机构的放射科医生没有测量脂肪组织体积的仪器。表2给出病理标准和遗漏重要性分布。

伦理审查

我们将这项回顾性研究的通知发送给俄罗斯放射学会莫斯科地区分会独立伦理委员会（协议日期为2023年3月1日）。

统计分析

采用描述性统计方法，以每类观察结果的绝对数（n）和比例（%）来显示出结果。采用了比例Z检验来比较不同方法发现病变的频率。得出了9种病变的p值，并通过Bonferroni校正法对多重检验（在诊断结果无有统计意义差异的一般假设下）的p值进行了校正。采用了配对t检验来对财务指标进行分析。p值的有统计意义水平为0.05。统计分析是使用R v. 4.1.3程序进行的。

结果

研究对象（参与者）

共有185项检查（男女比例为47/53%；年龄在19至83岁之间，平均年龄为49.5岁）符合规定的标准，其中25项检查因以下原因未被人工智能处理：

- 1) 不依赖人工智能（23项检查）：
 - 不适当的形式（9项检查：磁共振成像——7项；乳腺X线摄影——2项）；
 - 胸部器官以外的检查区域（9项检查）；

- 切片数量不足（少于30张），包括定位器（5项检查）；
- 2) 依赖人工智能（2项检查）：
 - 由于扫描层面存在明显的金属结构伪影，导致操作不正确（2项检查）。

最后要分析的一组包括160个胸部CT扫描病例和医生的描述文本。由于患者仅根据强制性或自愿性医疗保险单向该医疗机构申请就诊，以及向专科医生付费就诊，因此未收集患者是否患有肿瘤、心血管疾病和其他慢性疾病的其他信息。医疗信息系统中关于诊断的信息可能并不完整。

该研究的主要结果

首先调用了自动匿名化并将CT检查结果从医疗机构传输给胸部CT复合人工智能开发人员。然后，分析结果返回医疗机构和专家，以对人工智能结果进行审查。专家们提供了一份清单，列出经核实的人工智能结果与协议文本之间的所有差异。这份清单交给医疗机构的工作人员进行质量控制（图2）。诊所没有提出上诉。协议文本中具有临床意义的遗漏最多的是骨质疏松症和肾上腺肿块病例（各14例）。未有临床意义的遗漏最多的是主动脉扩张（36例）和骨质减少（40例）。图3给出检查发现数量的详细结果

通过人工智能，90项（56%）带有病变的检查被识别出来，其中在81项（51%）医疗结构医生的协议中，至少有一个病变被遗漏。在70项检查中，人工智能算法没有发现病变。值得注意的是，所报告的检查中可能还发现其他病变，但不在本研究的复合人工智能分析程序范围内。表3给出分析汇总数据。

在一项CT检查中可能存在多种病变，其中一些是由医疗机构的医生发现的（在总结中有所描述），而另一些则是人工智能才发现的（人工智能的潜在优势）。

图4给出对90名患者中每名患者因病变遗漏而导致的未提供医疗服务费用分析的详细描述。

在比较两种诊断方法（有专家验证的算法比无人工智能的医疗机构医生）时，以下病变的比较具有统计意义：主动脉瘤/扩张；肺动脉干直径扩张；冠状动脉钙指标、椎体压缩性骨折、椎体密度降低和肾上腺增厚的评估（表4）。

81名患者的所有遗漏病变的估计“第二阶段”未提供医疗服务费用总计2 847 760卢布（37 250.99美元或256 217.95人民币），每名患者的为17 799卢布（232.83美元或1 601.41人民币）。“第二阶段”的未提供医疗服务费用仅针对医疗机构的医生在总结中遗漏，但经人工智能检测和专家确认的病变，共计2 065 360卢布（27 016.57美元或185 824.05人民币），每名患者的为12 909卢布（168.86美元或1 161.45人民币）。表5给出所有检查结果的未提供医疗服务费用计算结果。

根据计算结果，仅重大遗漏的未提供医疗服务费用总计770 855卢布（10 083.4美元或

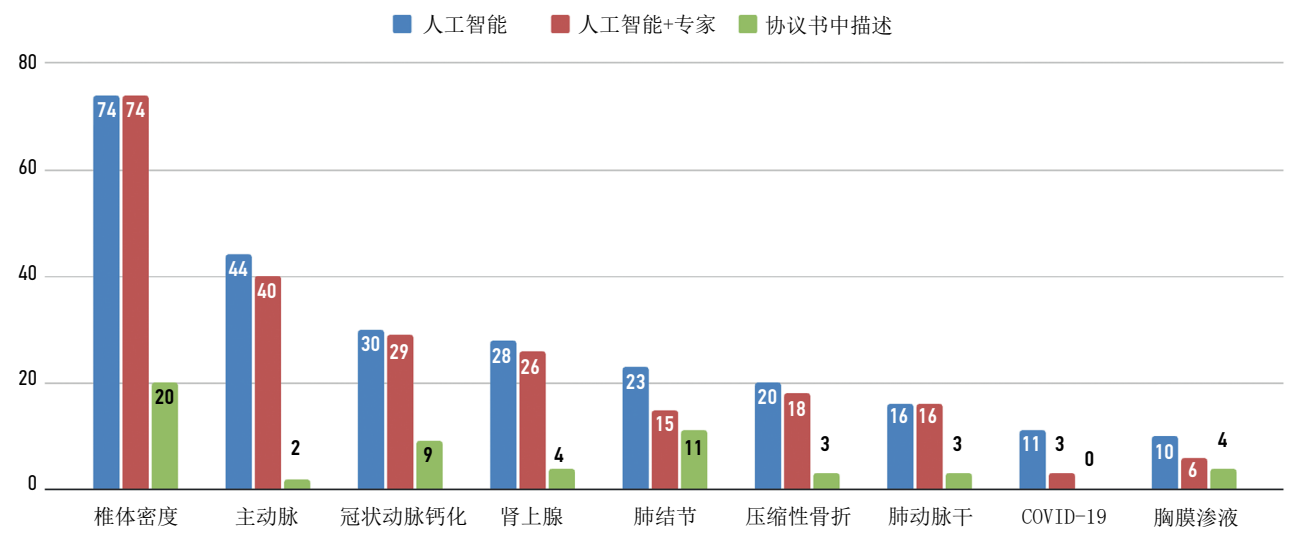


图2。在使用/不使用人工智能的情况下所见的发现数量的研究结果。

69 355.17人民币)，每名患者的为4818卢布（63.02美元或433.48人民币）。表6给出分析结果。

成本比较采用配对t检验，计算每名患者的平均差异，并构建95%的置信区间（CI）。因此， $160 \times 12\ 908.5 [160 \times 9833.5; 160 \times 15\ 983.5]$ 得出了有其CI的分析人群的未提供医疗服务费用总值。表7给出结果。

图5给出在医疗机构中使用人工智能算法的最终成本效益。

计算未提供医疗服务费用的实例

医疗机构的医生在总结中正确描述了肺动脉干扩张（达到34 mm）、Agatston评分钙指标高（达到350）、椎体密度降低（最低为+90 HU）。人工智能算法还发现了上述病变。此外，人工智能算法还发现了医生没有描述的病变，即直径达到10×9 mm的肺结节、达到45 mm的胸主动脉扩张、达到14 mm的肾上腺增厚。表8给出在这种情况下计算未提供医疗服务费用的实例。

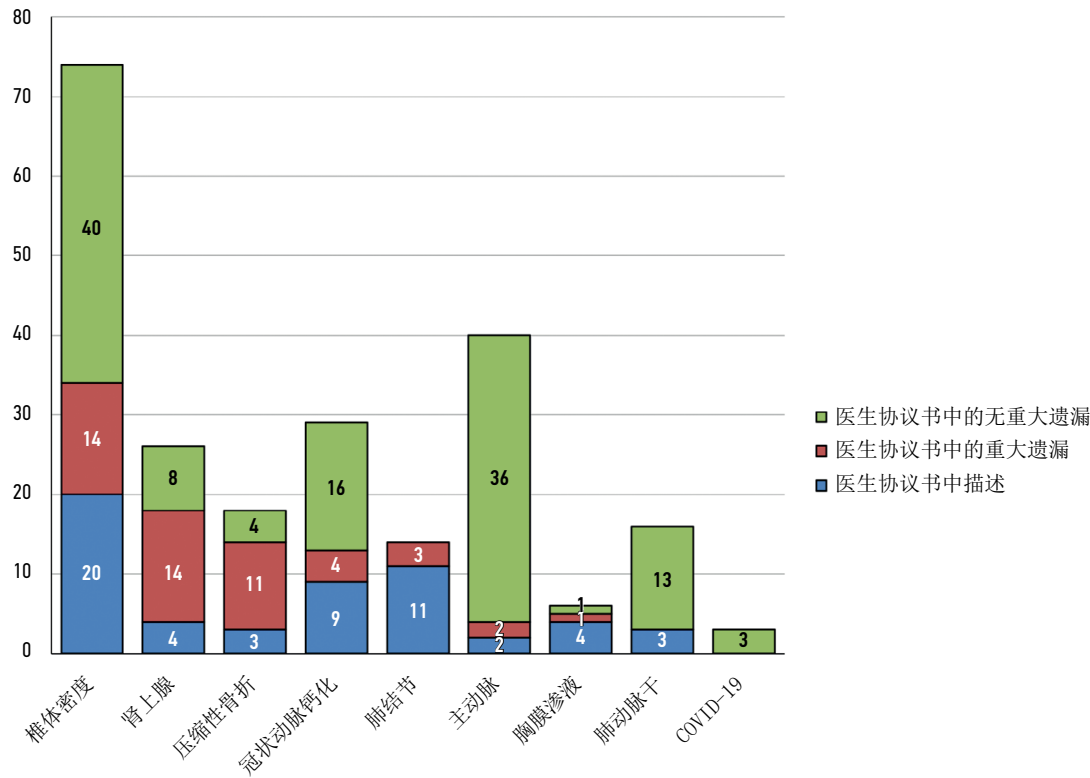


图3。发现数量的研究结果（按重大遗漏数量排列）。

表3。发现和漏掉病变的患者人数汇总表

参数	数量	所有病例的数量， %	病变评估， %
病人总数	160	100	–
无病理发现	70	44	–
有病理发现	90	56	100
一家医疗机构的医生在人工智能识别的病变中至少发现了一种病变	35	22	39
一家医疗机构的医生在人工智能识别的病变中至少漏掉了一种病变	81	51	90
只有人工智能算法发现病变的电子计算机断层扫描检查	55	34	61

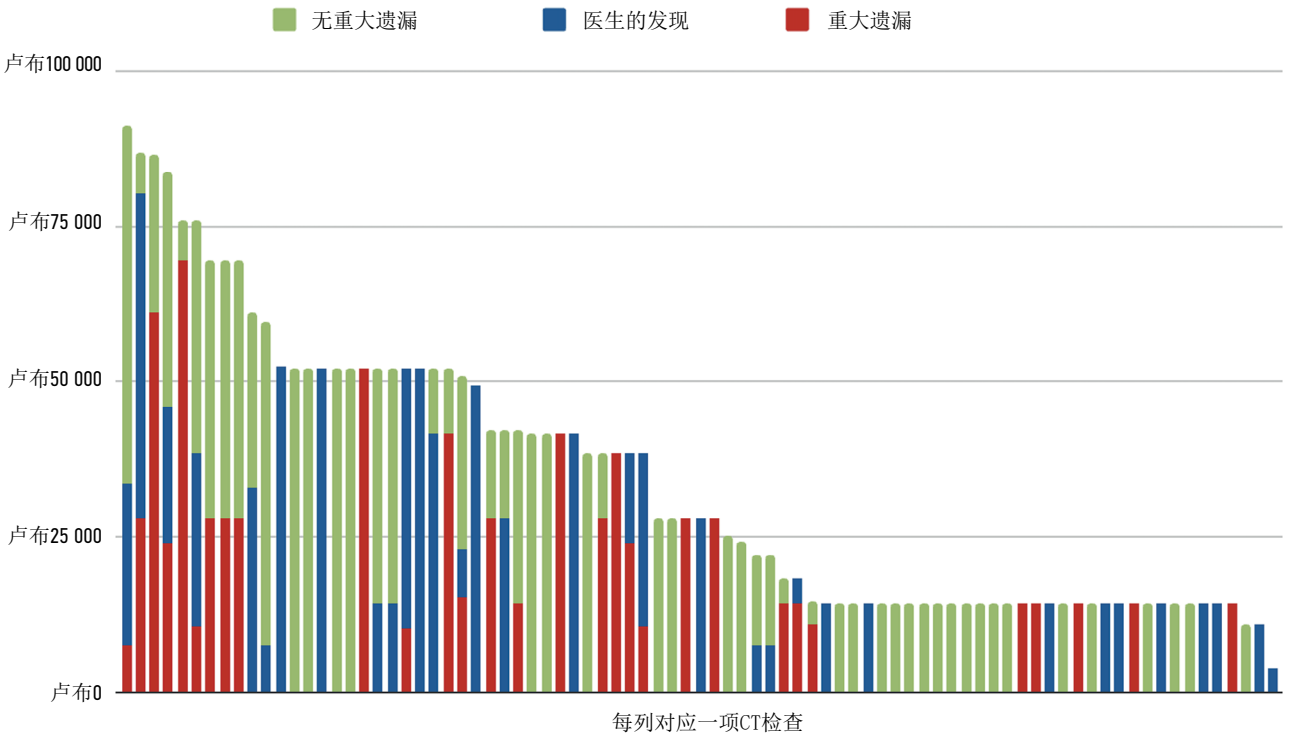


图4。在进行电子计算机断层扫描（CT）的范围内，由于遗漏病变而导致的未提供医疗服务的费用分析。

该研究的其他结果

表9给出有重大遗漏和无重大遗漏的协议数量以及错误协议百分比的最终结果。在同一协议中，既可能存在重大病变遗漏，也可能存在无重大病变遗漏。共分析了160份协议。其中81份存在重大遗漏和无重大遗漏。这占CT扫描总数的50.6%。重大遗漏的平均比例为28.1%（max 56.9；min 5），无重大遗漏的平均比例为27.2%（max 74.1；min 5）。从统计学角度看，协议总数明显增加了错误数量。放射科（不包括住院医师培训）和胸部放射科（包括住院医师培训）的总工作年限减

少了错误数量。然而，由于医生样本较少且存在优势病例，这些数据并不具有代表性。补充材料（表10、11）给出关于医生经验的详细数据。图6和7给出人工智能算法的运行实例。

不良反应

研究未发现任何不良反应。

讨论

该研究的主要结果概述

研究结果首次显示了应用基于人工智能技术的

表4。两种诊断方法的比较，以发现所分析的病变

参数	发现的病例数	比例 [95% CI]	95% CI 为比例的差异	p Z检验 H0: 比例相等 (Bonferroni校正)
电子计算机断层扫描中的COVID-19迹象				
算法+专家	3	0.016 [0.003; 0.047]	[-0.008; 0.04]	0.246 (1)
协议书	0	0 [0; 0.02]	—	—
肺结节				
算法+专家	15	0.082 [0.047; 0.132]	[-0.036; 0.08]	0.542 (1)
协议书	11	0.06 [0.031; 0.106]	—	—
渗液				
算法+专家	6	0.033 [0.012; 0.07]	[-0.028; 0.05]	0.749 (1)
协议书	4	0.022 [0.006; 0.055]	—	—
主动脉				
算法+专家	40	0.22 [0.162; 0.287]	[0.141; 0.276]	<0.001 (<0.001)
协议书	2	0.011 [0.001; 0.039]	—	—
肺动脉干				
算法+专家	16	0.088 [0.051; 0.139]	[0.021; 0.122]	0.005 (0.042)
协议书	3	0.016 [0.003; 0.047]	—	—
冠状动脉钙化				
算法+专家	29	0.159 [0.109; 0.221]	[0.043; 0.177]	0.001 (0.01)
协议书	9	0.049 [0.023; 0.092]	—	—
椎体压缩性骨折				
算法+专家	18	0.1 [0.06; 0.152]	[0.03; 0.135]	0.002 (0.015)
协议书	3	0.016 [0.003; 0.047]	—	—
椎骨矿物质密度的评估				
算法+专家	74	0.407 [0.335; 0.482]	[0.207; 0.387]	<0.001 (<0.001)
协议书	20	0.11 [0.068; 0.165]	—	—
肾上腺增厚				
算法+专家	26	0.143 [0.095; 0.202]	[0.06; 0.181]	<0.001 (0.001)
协议书	4	0.022 [0.006; 0.055]	—	—

表5. 对电子计算机断层扫描中所有遗漏发现的未提供医疗服务费用的分析

参数	试点项目中所有患者的计算结果 (卢布/美元/人民币)				一个患者的计算结果 (卢布/美元/人民币)			
	费用							
	共计 (全部)	咨询 (全部)	后续检查 (全部)	Follow-up (全部)	共计 (全部)	咨询 (全部)	后续检查 (全部)	Follow-up (全部)
所有病变的“第二阶段” 诊断费用	2 847 760/	463 300/	2 049 760/	334 700/	17 799/	2896/	12 811/	2092/
	37 250.99/	6060.34/	26 812.51/	4378.15/	232.83/	37.88/	167.58/	27.37/
	256 217.95	41 683.91	184 420.49	30 113.54	1601.41	260.56	1152.63	188.22
只那些被医生遗漏的、被 人工智能算法发现的病变 的“第二阶段”费用	2 065 360/	326 800/	1 519 460/	219 100/	12 909/	2043/	9497/	1369/
	27 016.57/	4274.81/	19 875.76/	2866/	168.86/	26.72/	124.23/	17.91/
	185 824.05	29 402.77	136 708.47	19 712.81	1161.45	183.81	854.46	123.17
只被医生发现的病变的 “第二阶段”费用	782 400/	136 500/	530 300/	115 600/	4890/	853/	3314/	723/
	10 234.42/	1785.53/	6936.75/	1512.14/	63.97/	11.16/	43.35/	9.46/
	70 393.9	12 281.14	47 712.02	10 400.73	439.96	76.75	298.17	65.05

表6. 重大病变遗漏的未提供医疗服务费用结果

参数	试点项目中所有患者的计算结果 (卢布/美元/人民币)				一个患者的计算结果 (卢布/美元/人民币)			
	费用							
	共计 (全部)	咨询 (全部)	后续检查 (全部)	Follow-up (全部)	共计 (全部)	咨询 (全部)	后续检查 (全部)	Follow-up (全部)
被医生遗漏的重大病变 的“第二阶段”费用	770 855/	113 100/	584 255/	73 500/	4818/	707/	3652/	459/
	10 083.4/	1479.44/	7642.53/	961.44/	63.02/	9.25/	47.77/	6/
	69 355.17	10 175.8	52 566.44	6612.92	433.48	63.61	328.58	41.3
被医生发现的病变的 “第二阶段”费用	782 400/	136 500/	530 300/	115 600/	4890/	853/	3314/	723/
	10 234.42/	1785.53/	6936.75/	1512.14/	63.97/	11.16/	43.35/	9.46/
	70 393,9	12 281.14	47 712.02	10 400.73	439.96	76.75	298.17	65.05

复合软件产品来分析胸部CT数据所能产生的估计经济效应。估计经济效应的基础是未提供医疗服务费用的评估。

必须根据当前的临床建议向病人提供医疗服务。“第二阶段”必要诊断的未提供医疗服务费用高于200万卢布，仅用于医生遗漏但人工智能发现的病变。这比由于医生根据胸部CT数据在160名病人身上发现的病变本应在诊所提供的医疗服务费用高3.6倍。使用的计算模型结果显示了，根据医疗机构的价目表，仅有重大遗漏的未提供医疗服务费用就超过了77万卢布。这比该医疗机构的医生因偶然发现而可能带来的医疗服务费用高98%。

此外，还展示了使用基于人工智能技术的复合软件产品来审核CT描述协议书的可能性。

对该研究主要结果的讨论

对COVID-19大流行的社会经济负担进行的分析可以作为一个例子，说明某一大规模疾病对俄罗斯联邦医疗系统和整个社会造成的重大社会和经济后果，这不仅强调制定疾病控制战略投资的临床重要性，也强调了其经济重要性[32]。据专家估计，2020年COVID-19在俄罗斯联邦造成的社会经济负担约为5.4万亿卢布（占2020年名义国内生产总值的5%），这相当于男性2486.30 YLL (years of life lost, 即生命损失年数) 和女性1378.22 YLL[32]。同年，非传染性疾病在俄罗斯联邦造成的经济负担共计4万亿卢布，同时，慢性病造成的损失相当于俄罗斯联邦整个医疗保健系统的预算，并且通过有效预防而腾出的资金可成为国家发展的巨大额外资源⁹。

⁹ Medvestnik[互联网]。非传染性疾病在俄罗斯造成的经济负担两年内增加了一万亿卢布[引用日期：2021年6月4日]。访问方式：<https://medvestnik.ru/content/news/Ekonomicheskoe-breyma-neinfekcionnyh-zabolevanii-v-Rossii-vyroslo-za-dva-goda-na-trillion-rublei.html>。

表7。成本效益

群组	统计数据	费用			p (配对t检验)
		共计 (全部)	共计 (医生的发现)	95% CI的平均差异	
完全群组	n	160	160	12 908.5	<0.001
	平均值	17 798.5	4890	[9833.5; 15 983.5]	
	标准差	23 304.74	11 945	—	
	最低限度	0	0	—	
	第一个四分位数	0	0	—	
	中位数	12 635	0	—	
	第三四分之一	27 900	0	—	
	最大限度	91 095	52 420	—	
	零值的百分比	46.88	79.38	—	
所有发现的群组	n	81	81	24 298.4	<0.001
	平均值	33 503.06	9204.71	[19 701.9; 28 894.8]	
	标准差	22 262.46	15 162.13	—	
	最低限度	3900	0	—	
	第一个四分位数	14 395	0	—	
	中位数	27 900	0	—	
	第三四分之一	51 995	14 395	—	
	最大限度	91 095	52 420	—	
	零值的百分比	—	61.18	—	
重大发现的群组	n	32	32	17 104.7	<0.001
	平均值	24 089.22	6984.53	[8726.8; 25 482.6]	
	标准差	15 568.37	13 799.84	—	
	最低限度	7600	0	—	
	第一个四分位数	14 395	0	—	
	中位数	19 700	0	—	
	第三四分之一	27 900	4825	—	
	最大限度	69 500	52 420	—	
	零值的百分比	—	71.88	—	

在现有文献中，我们没有找到任何研究评估了用于胸部CT分析的复合人工智能系统对医疗机构经济方面的影响。

P. J. Pickhardt等人[33]使用腹部CT建立了一个基于复合人工智能筛查的经济和临床效益模型。他们分析了三种疾病（心血管疾病、骨质疏松症和肌肉减少症）的预期患病率、健康状态之间的转换概率以及相关的保健成本和治疗有效性。他们评估了3种相互排斥的筛查模式：（1）忽略结果（“不治疗”；无论CT结果如何，都不干预）；（2）使用他汀类药物的万应治疗（“治疗所有人”以预防心血管疾病，不考虑CT结果）；（3）通过腹部CT对人工智能发现的心血管疾病、骨质疏松症和肌肉

减少症进行机会性筛查（对高危人群进行有针对性的治疗）。对55岁患者（男性和女性）的10年筛查结果进行了研究。与“忽略”和“治疗所有人”的方法相比，使用人工智能进行基于CT的机会性筛查是一种经济有效的临床策略。作者做总结，在广泛输入假设集的条件下，通过人工智能基于CT的机会性筛查可能是一种极具成本效益且临床效率高的策略。它在大多数情况下都能节约资金。不过，与我们的研究相比，作者并没有提出一个切实可行的复合人工智能。此外，我们的研究使用了针对10种目标病变的复合人工智能，而上述研究仅使用了3种目标病变。因此，有希望能提高人工智能应用的潜在成本效益，并对诊断产生积极影响。

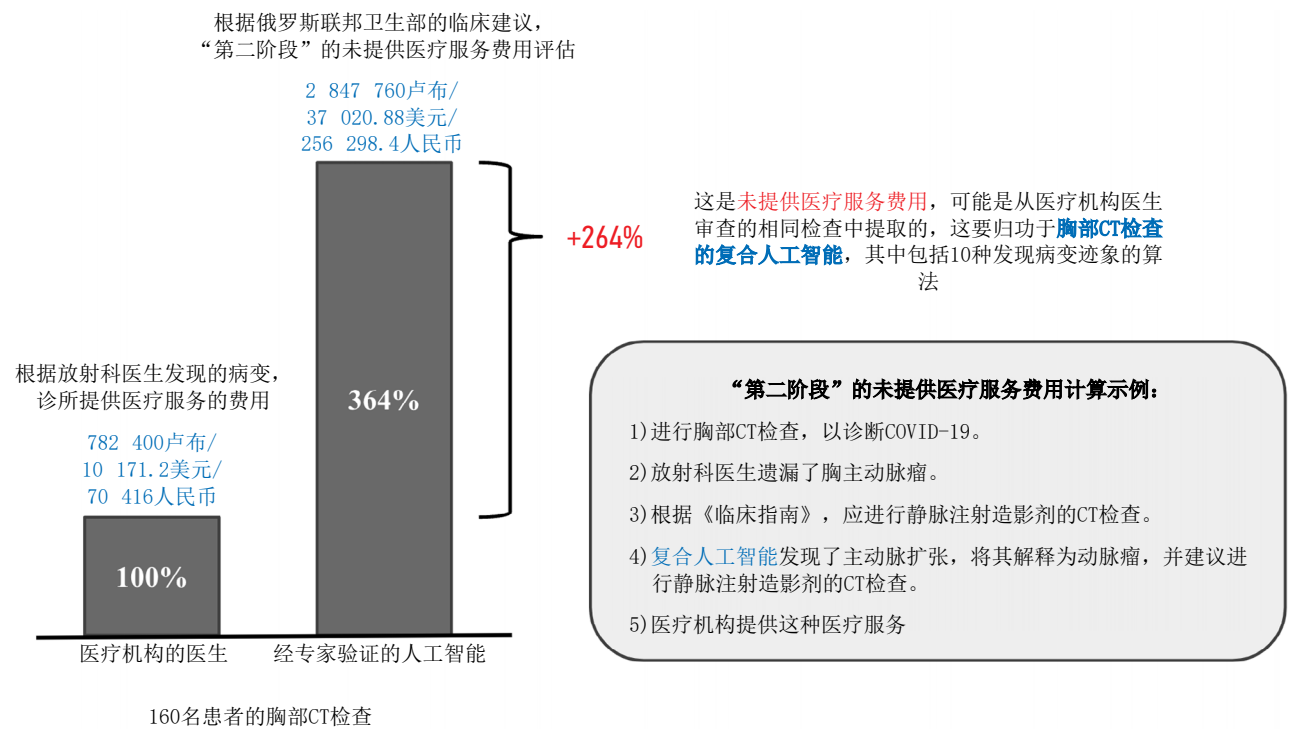


图5。医疗机构使用复合人工智能进行胸部CT检查的未提供医疗服务的费用谱。CT——电子计算机断层扫描。

表8。根据单次胸部CT扫描的未提供医疗服务费用的计算实例

对所有现有患者病变的建议和费用						
咨询 (全部)	后续检查 (全部)	动态随访 (全部)	费用			
			共计 (全部)	咨询 (全部)	后续检查 (全部)	动态随访 (全部)
心脏病医生、内分泌科医生的咨询	应激心电图、碱性磷酸酶活性测定、血常规检查、钙水平检查、腹部超声检查、冠状动脉CT检查、应激超声心动图、肾上腺肿瘤激素活性测定、超声心动图、血液检测、静脉注射造影剂CT检查	动态CT扫描，内分泌科医生的咨询	91 095卢布/ 1191.6美元/ 8195.98人民币	7800卢布/ 102.03美元/ 701.78人民币	71 795卢布/ 939.14美元/ 6459.52人民币	11 500卢布/ 150.43美元/ 1034.68人民币

只那些被医生遗漏的、被人工智能算法发现的病变的建议和费用						
咨询	后续检查	动态随访	费用			
			共计	咨询	后续检查	动态随访
-	应激心电图、冠状动脉CT检查、应激超声心动图、肾上腺肿瘤激素活性测定、超声心动图、静脉注射造影剂CT检查	动态CT扫描	65 300卢布/ 854.18美元/ 5875.16人民币	0	57 700卢布/ 754.76美元/ 5191.37人民币	7 600卢布/ 99.41美元/ 683.79人民币

只被医生发现的病变的建议和费用						
心脏病专家、内分泌科专家的咨询	碱性磷酸酶活性测定、血常规检查、钙水平检查、腹部超声检查、血液检测	内分泌科医生的咨询	25 795卢布/ 337.42美元/ 2320.82人民币	7800卢布/ 102.03美元/ 701.78人民币	14 095卢布/ 184.37美元/ 1268.15人民币	3900卢布/ 51.02美元/ 350.89人民币

注：CT——电子计算机断层扫描。

表9. 有重大遗漏和无重大遗漏的协议数量的最终结果

医生	撰写的协议数量	无重大遗漏的协议数量 (%)	有重大遗漏的协议数量 (%)	有重大遗漏和无重大遗漏的协议数量 (%)
医生-2	58	33 (56, 9)	28 (48, 3)	47 (81)
医生-5	23	7 (30, 4)	9 (39, 1)	11 (39, 1)
医生-3	23	7 (30, 4)	7 (30, 4)	13 (56, 5)
医生-1	16	2 (12, 5)	3 (18, 7)	5 (31)
医生-6	20	1 (5)	1 (5)	2 (10)
医生-7	18	1 (5, 5)	1 (5, 5)	2 (11, 1)
医生-4	2	1 (50)	1 (50)	1 (50)
共计	160	52 (32, 5)	50 (31, 2)	81 (50, 6)

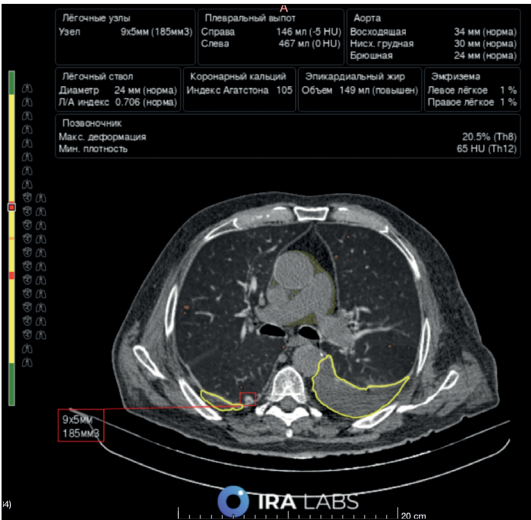


图6. 人工智能算法工作原理的实例。患者B，76岁。医生正确地发现了双侧胸水和气肿性改变，但没有描述右肺的肺结节。人工智能算法确定了所有3种病变：胸水用黄线勾勒，气肿性改变用橙色标出，肺结节用红色方块标记。

一些出版物研究了在不使用人工智能系统的情况下，采用综合方法治疗几种病变时，此类程序的成本效益。例如，荷兰进行了如下计算：对50至75岁人群进行三种疾病（肺癌、慢性阻塞性肺病和心血管疾病）的低剂量CT复合筛查，如果一个人的检查费用低于971欧元，则可能具有成本效益[34]。对近7500例低剂量CT扫描结果进行了为期五年的研究。结果表明了，在肺癌筛查中偶然发现的肺外恶性肿瘤都处于早期阶段，并具有预后良好。与晚期病例相比，额外检查的费用要低得多[35]。作者认为，对肺癌低剂量CT筛查期间发现的肺外病变进行额外诊断和治疗干预的成本分析，是证明此类活动成本效益的主要步骤之一。这种方法（尽管仅限于使用胸部CT进行肺癌筛查）使我们能够建议使用复合人工智能来提高检查的诊断和成本效益。

我们的研究还使用了复合人工智能来发现10种病变。所谓库存分析的分析有助于对进一步研究做出有根据的决心[36-38]。在诊断干预和证据

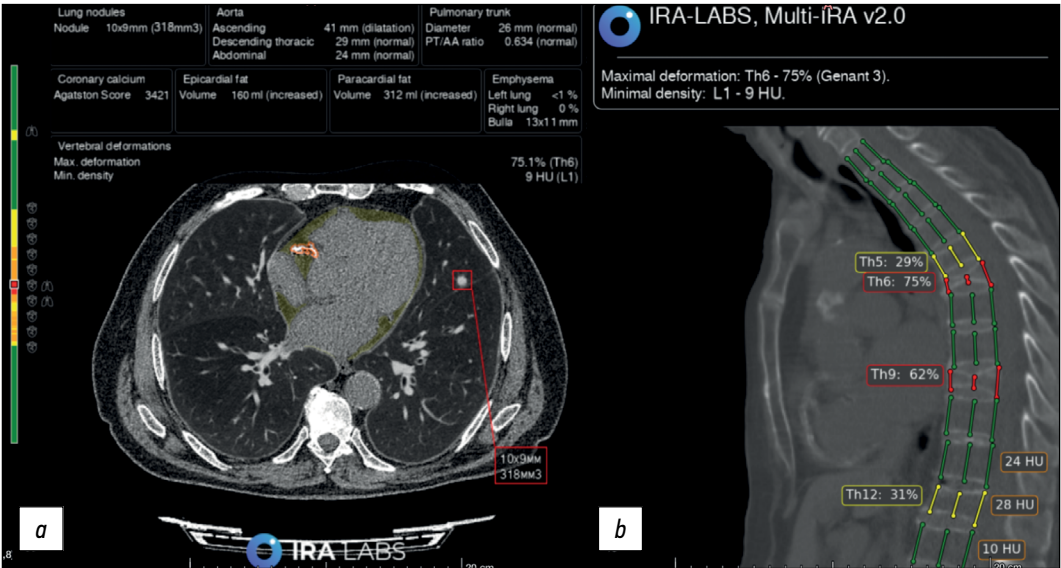


图7. 人工智能算法工作原理的实例。患者V，79岁。胸部计算机断层扫描：a——轴向切片：医生和算法正确地发现了左肺的肺结节（用红色方块标记）和冠状动脉钙化（用橙线勾勒）；此外，算法显示了心外膜脂肪体积增加（用黄色填充，该病变在研究中没有考虑）；b——矢状切片：医生和算法正确地发现了Th6和Th9椎体的压缩性骨折，Genant 3（3列用红线标记），但医生没有在协议书中指出Th5和Th12椎体的畸形，Genant 2（3列用黄线标记）。

开发过程中，它们是首选，以优化数据收集并更准确地估计对健康的长期经济影响。使用这种分析时，可获得大量临床数据。

在COVID-19大流行之前，人工智能算法被用于发现放射症状，以发现疾病、分类、优化图像、减少辐射剂量和改进工作流程[39]。关于人工智能应用有效性的医学研究使此类程序更易于理解、安全、高效，并能融入医生的工作流程[40]。目前在IMALife项目框架内正在进行研究。这些研究不仅调查肺癌死亡率的降低情况，还调查肺气肿（慢性阻塞性肺病的生物标记）和冠状动脉钙化（动脉粥样硬化的生物标记）的影响死亡率降低情况[41]。

迄今为止，对人工智能应用有效性的评估只在仅针对一种目标病变进行搜索的人工智能算法中遇到过。在S. Ziegelmayr等人的研究[42]中，与CT相比，CT+AI基线假想的增量成本效果比（incremental cost-effectiveness ratio, ICER）为负值。负系数表明成本更低，效率更高。阈值分析表明，ICER在68美元的阈值以下仍为负值，以支持使用人工智能。就成本效益而言，使用低剂量CT数据分析通过人工智能的单一系统进行肺癌筛查是一种合理的诊断策略。

不断增加的放射检查量给放射科医生带来了额外的工作量[43]。过重的工作量会增加出错的可能性并危及医疗质量[44]。对检查进行回顾性双重审查的审计系统被广泛应用于放射诊断领域。最著名的是美国放射学会的RADPEER system[45]。然而，P. M. Lauritzen等人的研究[46]表明了，对1/3的检查进行双重审查需要医生耗费约20-25%的工作时间。这些检查是在他们的机构进行的。使用人工智能算法可以大大减少审核检查的时间，

并提高审计的数量和质量。同时，最大限度地减少算法的假阳性错误是一个重要的条件。人工智能的使用也影响了对放射科医生的工作质量产生了影响。在疑似COVID-19中，人工智能的使用改变了肺部病变严重程度比例，从而降低了严重和临界肺部病变严重程度评分的比例[47]。

在我们研究中，我们还证明了使用复合人工智能来审核研究描述的可行性。我们发现了，超过28%的协议书中存在重大病变遗漏，27%的协议书中存在无重大病变遗漏。值得注意的是，在所有CT检查协议书中，医疗机构的放射科医生都回答了患者转诊扫描的主要诊断目的。该医疗机构的医生没有在所有工作站迅速测量Agatston评分的工具。椎体密度的测量不属于该放射科的研究描述标准。此外，医生之间的平均错误率也不相上下。因此，根据审核结果辞退1-2名描述较差的医生并不能解决遗漏的问题。

在该研究中，当计算经济效应时我们没有考虑人工智能的成本，并没有考虑专家验证人工智能结果的工作成本。这些成本取决于算法数量、参与专家的水平和其他因素。如果总成本低于医疗机构通过应用人工智能所创造的利润，那么任何复合人工智能服务的收费都是具有成本效益的（图8）。不过，这种分析超出了本研究的范围。

该研究的局限性

本研究是一项试点研究，存在一些局限性。

因此，本研究采用了回顾性设计，并评估了私立医疗机构的未提供医疗服务费用的最大可能性，这种费用取决于所发现的病变和对其进行检查的医疗建议。在实践中，并非所有患者都愿意听从医生的建议并照合理的建议做，特别是在

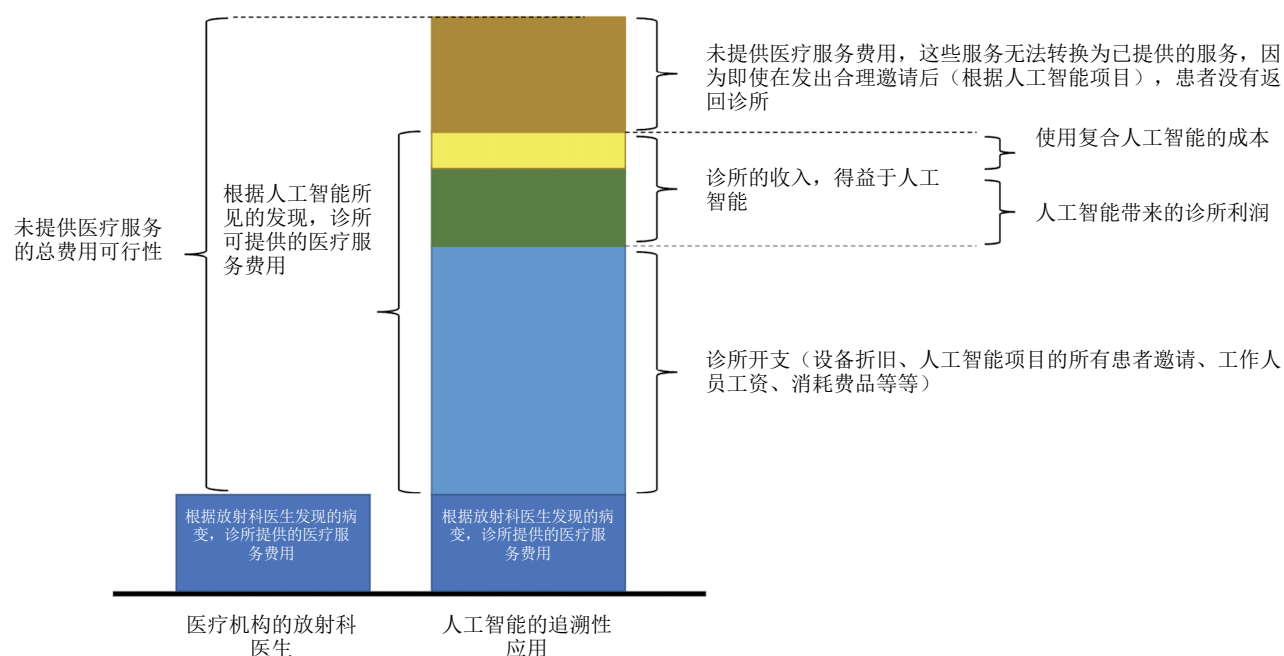


图8. 考虑到使用人工智能的成本，医疗机构由于没有使用复合人工智能进行胸部CT检查而导致的未提供医疗费用的费用可行性。

有偿的后续检查和咨询方面。此外，每个诊所的转换都有其自身的特殊性，这超出了本研究的设计范围。

这项研究的目的是估算“第二阶段”的费用，而不包括“第三阶段”及其后阶段的费用。治疗和康复的费用没有考虑在内。然而，对于几乎所有的复合人工智能可能会发现的病变来说，治疗费用都远远超过“第二阶段”的费用。在每个医疗机构中，对医生工作质量产生影响的因素有很多。医生工作质量的指标（有临床意义的放射检查发现的遗漏数量）取决于放射科医生的工作年限、每天的检查次数、一天的时间段、一周中的某一天以及许多其他指标。这些指标会对放射科医生的知识、注意力以及记录所有病理发现和对“第二阶段”的合理建议的愿意产生影响。

在我们研究中，没有评估人工智能发现假阴性的可能性，因为所使用的复合人工智能在莫斯科实验的非公开数据集上接受了独立测试验证，以及所选择的人工智能设置是可以接受的，并且经过校准。

本研究的目标不包括评估城市和联邦医疗保健的经济效应，但俄罗斯联邦的每个医疗机构都有机会向居民提供有偿医疗服务，并以循证医学原则为依据。

在我们研究中，没有在回顾性分析的基础上通过邀请对患者的治疗依从性进行研究，同时所发现的病变与CT检查和“第二阶段”之间的时间间隔密切相关。

结论

作为放射科医生的助手，使用复合人工智能分析胸部CT数据，以诊断10种常见和重要的病变，从而提高其检出率。重要的是，与放射科医生在没有使用人工智能的情况下工作的标准模式相比，这种方法的未提供医疗服务费用高3.6倍。

一些疾病的机会性筛查需要对并发症进行详细研究，以确定使用复合人工智能进行诊断干预的最佳工作队。在胸部CT中使用复合人工智能极有

可能符合成本效益，因为在采用这种方法的情况下可以发现大量需要额外医疗服务的重大病变。

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. The authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to developing the concept, research, and preparation of the article and read and approved the final version before publication).

Chernina V.Yu. — search for publications on the article's topic, formation of a data set, writing the text of the manuscript; Belyaev M.G. — expert evaluation of the data, manuscript's text editing; Silin A.Yu. — the concept of the study; Pyatnitskiy I.A. — manuscript's text editing; English text translation; Avetisov I.O., Petrash E.A. — manuscript's text editing; Basova M.V. — formation of a data set, processing of research results; Sinitsyn V.E. — expert evaluation of the data, manuscript's text editing; Omelyanovsky V.V. — expert evaluation data; Gombolevsky V.A. — the concept of the study, expert evaluation of data, manuscript's text writing, approval of the final version.

Acknowledgments. The authors' team would like to gratefully acknowledge Maksim E. Pisov, Technical Director of IRA Labs, and the development team (Proskurov V.A., Samoilenko A.I., Borzov A.S., Bukharaev A.N., Goncharov M.Y., Shirokikh B.N., Kurmukova A.I., Nachinkin I.A., Telepov A.Y., Shimovolov S.A., Donskova M.A., Samokhin V.Y., Shevtsova A.E., Yaushev F., Tkachenko S.M., Zakharov A.A., Saparov T.N., Filipenko V.K., Tomin V.D., Tomin J.D., Samoilenko A.I., Malevannu V.M., Leonov A.Yu., Nogova D.S., Bazarova A.I., Marakhovsky K.V., Belkov A.S., Vasin A.A., Berezhnaya D.S., Musikhin M.M.); Maria N. Dugova, Medical Director, and the team of medical experts (Ilyicheva D.V., Sevrukov D.D., Shchipakhina Y.A., Lyubimaya Y.O., Aleshina O.O., Tsybul'skaya Y.A.); Mikhail S. Lamzin, Chief Operating Officer; Regina R. Gareeva, Product Manager, and Elena V. Panina, Deputy Director for Business Development.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aberle D.R., Adams A.M., Berg C.D., et al.; National Lung Screening Trial Research Team. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening // *N Engl J Med*. 2011. Vol. 365, N 5. P. 395–409. doi: 10.1056/NEJMoa1102873
2. Pastorino U., Silva M., Sestini S., et al. Prolonged lung cancer screening reduced 10-year mortality in the MILD trial: New confirmation of lung cancer screening efficacy // *Ann Oncol*. 2019. Vol. 30, N 7. P. 1162–1169. doi: 10.1093/annonc/mdz117
3. Grover H., King W., Bhattarai N., et al. Systematic review of the cost-effectiveness of screening for lung cancer with low dose computed tomography // *Lung Cancer*. 2022. N 170. P. 20–33. doi: 10.1016/j.lungcan.2022.05.005

4. Николаев А.Е., Гомболевский В.А., Гончар А.П., и др. Случайные находки при скрининге рака легкого методом низкодозной компьютерной томографии // *Туберкулез и болезни лёгких*. 2018. Т. 96, № 11. С. 60–67. doi: 10.21292/2075-1230-2018-96-11-60-67
5. Kilsdonk I.D., de Roos M.P., Bresser P., et al. Frequency and spectrum of incidental findings when using chest CT as a primary triage tool for COVID-19 // *Eur J Radiol Open*. 2021. N 8. P. 100366. doi: 10.1016/j.ejro.2021.100366
6. Бельцевич Д.Г., Мельниченко Г.А., Кузнецов Н.С., и др. Клинические рекомендации Российской ассоциации эндокринологов по дифференциальной диагностике инцидентом надпо-

- чечников // Эндокринная хирургия. 2016. Т. 10, № 4. С. 31–42. doi: 10.14341/serg2016431-42
7. Эмфизема легких. Клинические рекомендации (утв. Министерством здравоохранения РФ, 2021). Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402775957/>. Дата обращения: 17.03.2023.
 8. Аневризмы грудной и торакоабдоминальной аорты. Клинические рекомендации (утв. Министерством здравоохранения РФ, 2023). Режим доступа: https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2022/aneurysms_thoracic_thoracoabdominal_aorta/recommendation.pdf. Дата обращения: 17.03.2023.
 9. Васильев Ю.А., Владимировский А.В., Арзамасов К.М., и др. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента. Монография. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. Ю.А. Васильева, А.В. Владимировского. Москва: Издательские решения, 2023. 376 с.
 10. Zakharov A., Pisov M., Bukharaev A., et al. Interpretable vertebral fracture quantification via anchor-free landmarks localization // *Med Image Anal.* 2023. N 83. P. 102646. doi: 10.1016/j.media.2022.102646
 11. Goncharov M., Pisov M., Shevtsov A., et al. CT-Based COVID-19 triage: Deep multitask learning improves joint identification and severity quantification // *Med Image Anal.* 2021. N 71. P. 102054. doi: 10.1016/j.media.2021.102054
 12. Shirokikh B., Shevtsov A., Dalechina A., et al. Accelerating 3D medical image segmentation by adaptive small-scale target localization // *J Imaging.* 2021. Vol. 13, N 7. P. 35. doi: 10.3390/jimaging7020035
 13. Goncharov M., Pisov M., Belyaev M., et al. Quantification of epicardial adipose tissue in low-dose computed tomography images // *Lecture Notes in Electrical Engineering.* 2022. Vol. 784, N 1. P. 98–107. doi: 10.1007/978-981-16-3880-0_11
 14. Husereau D., Drummond M., Augustovski F., et al.; CHEERS 2022 ISPOR Good Research Practices Task Force. Consolidated health economic evaluation reporting standards 2022 (cheers 2022) statement: Updated reporting guidance for health economic evaluations // *Value Health.* 2022. Vol. 25, N 1. P. 3–9. doi: 10.1016/j.jval.2021.11.1351
 15. Морозов С.П., Владимировский А.В., Кляшторный В.Г., и др. Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика). Препринт № ЦДТ-2019-1. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 23. Москва: ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ, 2019. 33 с.
 16. Гомбелевский В.А., Блохин И.А., Лайпан А.Ш., и др. Методические рекомендации по скринингу рака легкого. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 56. Москва: ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ, 2020. 57 с.
 17. Морозов С.П., Проценко Д.Н., Сметанина С.В., и др. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация, методология, интерпретация результатов: методические рекомендации. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 65. Москва: ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ, 2020. 78 с.
 18. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Министерство здравоохранения Российской Федерации. Версия 17 (14.12.2022). Режим доступа: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/061/254/original/%D0%92%D0%9C%D0%A0_COVID-19_V17.pdf?1671088207. Дата обращения: 17.03.2023.
 19. Lynch D.A., Austin J.H., Hogg J.C., et al. CT-definable subtypes of chronic obstructive pulmonary disease: A statement of the Fleischner Society // *Radiology.* 2015. Vol. 277, N 1. P. 192–205. doi: 10.1148/radiol.2015141579
 20. Hersh C.P., Washko G.R., Estépar R.S., et al. Paired inspiratory-expiratory chest CT scans to assess for small airways disease in COPD // *Respir Res.* 2013. Vol. 146, N 1. P. 42. doi: 10.1186/1465-9921-14-42
 21. Walker C., Chung J.H. Muller's imaging of the chest e-book: Expert radiology series. Elsevier Health Sciences, 2018. 1104 p.
 22. Erbel R., Aboyans V., Boileau C., et al.; ESC Committee for Practice Guidelines. 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
 23. Wanhainen A., Verzini F., Van Herzele I., et al. Clinical practice guidelines on the management of abdominal aorto-iliac artery aneurysms // *Eur J Vasc Endovasc Sur.* 2019. Vol. 57, N 1. P. 8–93. doi: 10.1016/j.ejvs.2018.09.020
 24. Jurgens P.T., Carr J.J., Terry J.G., et al. Association of abdominal aorta calcium and coronary artery calcium with incident cardiovascular and coronary heart disease events in black and white middle-aged people: The coronary artery risk development in young adults study // *J Am Heart Assoc.* 2021. Vol. 10, N 24. P. 23–37. doi: 10.1161/JAHA.121.023037
 25. Galiè N., Humbert M., Vachiery J.L., et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The joint task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European society of cardiology (ESC) and the European respiratory society (ERS): Endorsed by: Association for European paediatric and congenital cardiology (AEPC), international society for heart and lung transplantation (ISHLT) // *Eur Respir J.* 2015. Vol. 46, N 4. P. 903–975. doi: 10.1183/13993003.01032-2015
 26. Agatston A.S., Janowitz W.R., Hildner F.J., et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography // *J Am Coll Cardiol.* 1990. Vol. 15, N 4. P. 827–832. doi: 10.1016/0735-1097(90)90282-t
 27. Журавлев К.Н. КТ-коронарография. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 65. Москва: ГБУЗ НПК ЦДиТ ДЗМ, 2020. 35 с.
 28. Mayo-Smith W.W., Song J.H., Boland G.L., et al. Management of incidental adrenal masses: A white paper of the ACR incidental findings committee // *J Am Coll Radiol.* 2017. Vol. 14, N 8. P. 1038–1044. doi: 10.1016/j.jacr.2017.05.001
 29. Белая Ж.Е., Белова К.Ю., Бирюкова Е.В., и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза // *Остеопороз и остеопатии.* 2021. Т. 24, № 2. С. 4–47. doi: 10.14341/osteo12930
 30. Genant H.K., Jergas M. Assessment of prevalent and incident vertebral fractures in osteoporosis research // *Osteoporosis Int.* 2003. Vol. 14, N 3. P. 43–55. doi: 10.1007/S00198-002-1348-1
 31. Патологические переломы, осложняющие остеопороз. Клинические рекомендации. Москва, 2018. 90 с. Режим доступа: <https://neirodoc.ru/wp-content/uploads/2019/10/patologicheskie-perelomy-oslozhnyayushchie-osteoporoz-2018.pdf>. Дата обращения: 17.03.2023.
 32. Колбин А.С., Гомон Ю.М., Балыкина Ю.Е., и др. Социально-экономическое и глобальное бремя COVID-19 // *Качественная клиническая практика.* 2021. № 1. С. 24–34. doi: 10.37489/2588-0519-2021-1-24-34
 33. Pickhardt P.J., Correale L., Hassan C. AI-based opportunistic CT screening of incidental cardiovascular disease, osteoporosis, and

sarcopenia: Cost-effectiveness analysis // *Abdom Radiol* (NY). 2023. N 3. P. 1181–1198. doi: 10.1007/s00261-023-03800-9

34. Behr C.M., Koffijberg H., Degeling K., et al. Can we increase efficiency of CT lung cancer screening by combining with CVD and COPD screening? Results of an early economic evaluation // *Eur Radiol*. 2022. Vol. 32, N 5. P. 3067–3075. doi: 10.1007/s00330-021-08422-7

35. Chintanapakdee W., Mendoza D.P., Zhang E.W., et al. Detection of extrapulmonary malignancy during lung cancer screening: 5-year analysis at a tertiary hospital // *J Am Coll Radiol*. 2020. Vol. 17, N 12. P. 1609–1620. doi: 10.1016/j.jacr.2020.09.032

36. Girling A., Lilford R., Cole A., et al. Headroom approach to device development: Current and future directions // *Int J Technol Assess Health Care*. 2015. Vol. 31, N 5. P. 331–338. doi: 10.1017/S02664642315000501

37. Ijzerman M.J., Steuten L.M. Early assessment of medical technologies to inform product development and market access: A review of methods and applications // *Appl Health Econ Health Policy*. 2011. Vol. 9, N 5. P. 331–347. doi: 10.2165/11593380-000000000-00000

38. Ijzerman M.J., Koffijberg H., Fenwick E., et al. Emerging use of early health technology assessment in medical product development: A scoping review of the literature // *Pharmacoeconomics*. 2017. Vol. 35, N 7. P. 727–740. doi: 10.1007/s40273-017-0509-1

39. Sahiner B., Pezeshk A., Hadjiiski L.M., et al. Deep learning in medical imaging and radiation therapy // *Med Phys*. 2019. Vol. 46, N 1. P. 1–36. doi: 10.1002/mp.13264

40. Allen B.J., Seltzer S.E., Langlotz C.P., et al. A road map for translational research on artificial intelligence in medical imaging: From the 2018 national institutes of health/RSNA/ACR/The academy workshop // *J Am Coll Radiol*. 2019. Vol. 16, N 9. P. 1179–1189. doi: 10.1016/j.jacr.2019.04.014

REFERENCES

1. Aberle DR, Adams AM, Berg CD, et al.; National Lung Screening Trial Research Team. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med*. 2011;365(5):395–409. doi: 10.1056/NEJMoa1102873
2. Pastorino U, Silva M, Sestini S, et al. Prolonged lung cancer screening reduced 10-year mortality in the MILD trial: new confirmation of lung cancer screening efficacy. *Ann Oncol*. 2019;30(7):1162–1169. doi: 10.1093/annonc/mdz117
3. Grover H, King W, Bhattarai N, et al. Systematic review of the cost-effectiveness of screening for lung cancer with low dose computed tomography. *Lung Cancer*. 2022;170:20–33. doi: 10.1016/j.lungcan.2022.05.005
4. Nikolaev AE, Gombolevskiy VA, Gonchar AP, et al. Incidental findings during lung cancer screening by low-dose computed tomography. *Tuberculosis Lung Dis*. 2018;96(11):60–67. (In Russ). doi: 10.21292/2075-1230-2018-96-11-60-67
5. Kilsdonk ID, de Roos MP, Bresser P, et al. Frequency and spectrum of incidental findings when using chest CT as a primary triage tool for COVID-19. *Eur J Radiol Open*. 2021;(8):100366. doi: 10.1016/j.ejro.2021.100366
6. Beltsevich DG, Melnichenko GA, Kuznetsov NS, et al. Russian Association of Endocrinologists clinical practice guideline for adrenal incidentalomas differential diagnosis. *Endocrine Sur*. 2016;10(4):31–42. (In Russ). doi: 10.14341/serg2016431-42
7. Emphysema of the lungs. Clinical recommendations (approved by the Ministry of Health of the Russian Federation, 2021). (In Russ). Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402775957/>. Accessed: 25.08.2021.
8. Thoracic and thoracoabdominal aortic aneurysms. Clinical recommendations (approved by the Ministry of Health of the Russian Federation, 2023). (In Russ). Available from: https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2022/aneurysms_thoracic_thoracoabdominal_aorta/recommendation.pdf. Accessed: 25.08.2021.
9. Vasiliev YuA, Vladimirovsky AV, Arzamasov KM, et al. Computer vision in radiation diagnostics: the first stage of the Moscow experiment. Monograph. 2nd ed., revised and updated. Ed. by Yu.A. Vasiliev, A.V. Vladimirovsky. Moscow: Izdatel'skie resheniya; 2023. 376 p. (In Russ).
10. Zakharov A, Pisov M, Bukharaev A, et al. Interpretable vertebral fracture quantification via anchor-free landmarks localization. *Med Image Anal*. 2023;(83):102646. doi: 10.1016/j.media.2022.102646
11. Goncharov M, Pisov M, Shevtsov A, et al. CT-Based COVID-19 triage: Deep multitask learning improves joint identification and severity quantification. *Med Image Anal*. 2021;(71):102054. doi: 10.1016/j.media.2021.102054
12. Shirokikh B, Shevtsov A, Dalechina A, et al. Accelerating 3D medical image segmentation by adaptive small-scale target localization. *J Imaging*. 2021;7(2):35. doi: 10.3390/jimaging7020035
13. Goncharov M, Pisov M, Belyaev M, et al. Quantification of epicardial adipose tissue in low-dose computed tomography images. *Lecture Notes Electrical Engineering*. 2022;784(1):98–107. doi: 10.1007/978-981-16-3880-0_11
14. Husereau D, Drummond M, Augustovski F, et al.; CHEERS 2022 ISPOR Good Research Practices Task Force. Consolidated health

- economic evaluation reporting standards 2022 (cheers 2022) statement: Updated reporting guidance for health economic evaluations. *Value Health*. 2022;25(1):3–9. doi: 10.1016/j.jval.2021.11.1351
15. Morozov SP, Vladimirsky AV, Klyashorny VG, et al. Clinical trials of software based on intelligent technologies (radiology diagnostics). Preprint № CDT-2019-1. Best Practice in Radiation Oncology and Instrumental Diagnostics. Vol. 23. Moscow: Center for Diagnostics and Telemedicine; 2019. 33 p. (In Russ).
16. Gombolevskiy VA, Blokhin IA, Laipan AS, et al. Methodological guidelines for lung cancer screening. Best Practice in Radiation and Instrumental Diagnostics. Vol. 56. Moscow: Center for Diagnostics and Telemedicine; 2020. 57 p. (In Russ).
17. Morozov SP, Protsenko DN, Smetanina SV, et al. Radiation diagnosis of coronavirus disease (COVID-19): Organization, methodology, interpretation of results: Guidelines. Best Practices in Radiation and Instrumental Diagnostics Series. Vol. 65. Moscow: Center for Diagnostics and Telemedicine; 2020. 78 p. (In Russ).
18. Temporary methodological recommendations. Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Ministry of Health of the Russian Federation. Version 17 (12/14/2022). (In Russ). Available from: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attach/000/061/254/original/%D0%92%D0%9C%D0%A0_COVID-19_V17.pdf?1671088207. Accessed: 17.03.2023.
19. Lynch DA, Austin JH, Hogg JC, et al. CT-definable subtypes of chronic obstructive pulmonary disease: A statement of the Fleischner Society. *Radiology*. 2015;277(1):192–205. doi: 10.1148/radiol.2015141579
20. Hersh CP, Washko GR, Estépar RS, et al. Paired inspiratory-expiratory chest CT scans to assess for small airways disease in COPD. *Respir Res*. 2013;14(1):42. doi: 10.1186/1465-9921-14-42
21. Walker C, Chung JH. Muller's imaging of the chest e-book: Expert radiology series. Elsevier Health Sciences; 2018. 1104 p.
22. Erbel R, Aboyans V, Boileau C et al. ESC Committee for Practice Guidelines. 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):2873–2926. doi: 10.1093/eurheartj/ehu281
23. Wanhainen A, Verzini F, Van Herzele I, et al. Clinical practice guidelines on the management of abdominal aorto-iliac artery aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Sur*. 2019;57(1):8–93. doi: 10.1016/j.ejvs.2018.09.020
24. Jurgens PT, Carr JJ, Terry JG, et al. Association of abdominal aorta calcium and coronary artery calcium with incident cardiovascular and coronary heart disease events in black and white middle-aged people: The coronary artery risk development in young adults study. *J Am Heart Assoc*. 2021;10(24):23–37. doi: 10.1161/JAHA.121.023037
25. Galiè N, Humbert M, Vachiery JL, et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The joint task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European society of cardiology (ESC) and the European respiratory society (ERS): Endorsed by: Association for European paediatric and congenital cardiology (AEPC), international society for heart and lung transplantation (ISHLT). *Eur Respir J*. 2015;46(4):903–975. doi: 10.1183/13993003.01032-2015
26. Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 1990;15(4):827–832. doi: 10.1016/0735-1097(90)90282-t
27. Zhuravlev KN. Coronary CT angiography. Best practices in radiation and instrumental diagnostics series. Vol. 65. Moscow: Center for Diagnostics and Telemedicine; 2020. 35 p. (In Russ).
28. Mayo-Smith WW, Song JH, Boland GL, et al. Management of incidental adrenal masses: A white paper of the ACR incidental findings committee. *J Am Coll Radiol*. 2017;14(8):1038–1044. doi: 10.1016/j.jacr.2017.05.001
29. Belaya ZE, Belova KYu, Biryukova EV, et al. Federal clinical guidelines for diagnosis, treatment and prevention of osteoporosis. *Osteoporosis Bone Diseases*. 2021;24(2):4–47. (In Russ). doi: 10.14341/osteo12930
30. Genant HK, Jergas M. Assessment of prevalent and incident vertebral fractures in osteoporosis research. *Osteoporosis Int*. 2003;14(3):43–55. doi: 10.1007/S00198-002-1348-1
31. Pathological fractures complicating osteoporosis. Clinical recommendations. Moscow; 2018. 90 p. (In Russ). Available from: <https://neirodoc.ru/wp-content/uploads/2019/10/patologicheskiperelomy-oslozhnyayuschie-osteoporoz-2018.pdf>. Accessed: 17.03.2023.
32. Kolbin AS, Gomom YuM, Balykina YuE, et al. Socioeconomic and global burden of COVID-19. *Good Clin Pract*. 2021;(1):24–34. (In Russ). doi: 10.37489/2588-0519-2021-1-24-34
33. Pickhardt PJ, Corrales L, Hassan C. AI-based opportunistic CT screening of incidental cardiovascular disease, osteoporosis, and sarcopenia: Cost-effectiveness analysis. *Abdom Radiol (NY)*. 2023;(3):1181–1198. doi: 10.1007/s00261-023-03800-9
34. Behr CM, Koffijberg H, Degeling K, et al. Can we increase efficiency of CT lung cancer screening by combining with CVD and COPD screening? Results of an early economic evaluation. *Eur Radiol*. 2022;32(5):3067–3075. doi: 10.1007/s00330-021-08422-7
35. Chintanapakdee W, Mendoza DP, Zhang EW, et al. Detection of extrapulmonary malignancy during lung cancer screening: 5-year analysis at a tertiary hospital. *J Am Coll Radiol*. 2020;17(12):1609–1620. doi: 10.1016/j.jacr.2020.09.032
36. Girling A, Lilford R, Cole A, et al. Headroom approach to device development: Current and future directions. *Int J Technol Assess Health Care*. 2015;31(5):331–338. doi: 10.1017/S0266462315000501
37. Ijzerman MJ, Steuten LM. Early assessment of medical technologies to inform product development and market access: A review of methods and applications. *Appl Health Econ Health Policy*. 2011;9(5):331–347. doi: 10.2165/11593380-000000000-00000
38. Ijzerman MJ, Koffijberg H, Fenwick E, et al. Emerging use of early health technology assessment in medical product development: A scoping review of the literature. *Pharmacoeconomics*. 2017;35(7):727–740. doi: 10.1007/s40273-017-0509-1
39. Sahiner B, Pezeshk A, Hadjiiski LM, et al. Deep learning in medical imaging and radiation therapy. *Med Phys*. 2019;46(1):1–36. doi: 10.1002/mp.13264
40. Allen BJ, Seltzer SE, Langlotz CP, et al. A road map for translational research on artificial intelligence in medical imaging: From the 2018 national institutes of health/RSNA/ACR/The academy workshop. *J Am Coll Radiol*. 2019;16(9):1179–1189. doi: 10.1016/j.jacr.2019.04.014
41. Xia C, Rook M, Pelgrim GJ, et al. Early imaging biomarkers of lung cancer, COPD and coronary artery disease in the general population: rationale and design of the Imalife (Imaging in Lifelines) Study. *Eur J Epidemiol*. 2020;35(1):75–86. doi: 10.1007/s10654-019-00519-0
42. Ziegelmayer S, Graf M, Makowski M, et al. Cost-Effectiveness of artificial intelligence support in computed tomography-based lung cancer screening. *Cancers (Basel)*. 2022;14(7):1729. doi: 10.3390/cancers14071729

- 43.** McDonald RJ, Schwartz KM, Eckel LJ, et al. The effects of changes in utilization and technological advancements of cross-sectional imaging on radiologist workload. *Acad Radiol.* 2015;22(9):1191–1198. doi: 10.1016/j.acra.2015.05.007
- 44.** Sokolovskaya E, Shinde T, Ruchman RB, et al. The effect of faster reporting speed for imaging studies on the number of misses and interpretation errors: A pilot study. *J Am Coll Radiol.* 2015;12(7):683–688. doi: 10.1016/j.jacr.2015.03.040
- 45.** Geijer H, Geijer M. Added value of double reading in diagnostic radiology, a systematic review. *Insights Imaging.* 2018;9(3):287–301. doi: 10.1007/s13244-018-0599-0

AUTHORS' INFO

* Valeria Yu. Chernina;

address: 30/1 Bolshoy Boulevard, 121205 Moscow, Skolkovo, Russia;
ORCID: 0000-0002-0302-293X;
eLibrary SPIN: 8896-8051;
e-mail: v.chernina@ira-labs.com

Mikhail G. Belyaev, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Professor;

ORCID: 0000-0001-9906-6453;
eLibrary SPIN: 2406-1772;
e-mail: belyaevmichel@gmail.com

Anton Yu. Silin;

ORCID: 0000-0003-4952-2347;
eLibrary SPIN: 4411-8745;
e-mail: silin@yamed.ru

Ivan O. Avetisov;

ORCID: 0009-0007-3550-7556;
e-mail: avetisov@yamed.ru

Ilya A. Pyatnitskiy;

ORCID: 0000-0002-2827-1473;
eLibrary SPIN: 6150-4961;
e-mail: i.pyatnitskiy@ira-labs.com

Ekaterina A. Petrash, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0001-6572-5369;
eLibrary SPIN: 6910-8890;
e-mail: e.a.petrash@gmail.com

Maria V. Basova;

ORCID: 0009-0000-3325-8452;
e-mail: m.basova@ira-labs.com

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

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

Vitaly V. Omelyanovskiy, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: 0000-0003-1581-0703;
eLibrary SPIN: 1776-4270;
e-mail: vvo@rosmedex.ru

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

ORCID: 0000-0003-1816-1315;
eLibrary SPIN: 6810-3279;
e-mail: gombolevskii@gmail.com

- 46.** Lauritzen PM, Hurlen P, Sandbæk G, et al. Double reading rates and quality assurance practices in Norwegian hospital radiology departments: Two parallel national surveys. *Acta Radiol.* 2015;56(1):78–86. doi: 10.1177/0284185113519988

- 47.** Morozov SP, Chernina VYu, Andreychenko AE, et al. How does artificial intelligence effect on the assessment of lung damage in COVID-19 on chest CT scan? *Digital Diagnostics.* 2020;2(1):27–38. (In Russ). doi: 10.17816/DD60040

ОБ АВТОРАХ

* Чернина Валерия Юрьевна;

адрес: Россия, 121205, Москва, Сколково, Большой б-р, д. 30, стр. 1;
ORCID: 0000-0002-0302-293X;
eLibrary SPIN: 8896-8051;
e-mail: v.chernina@ira-labs.com

Беляев Михаил Геннадьевич, канд. физ.-мат. наук, профессор;

ORCID: 0000-0001-9906-6453;
eLibrary SPIN: 2406-1772;
e-mail: belyaevmichel@gmail.com

Силин Антон Юрьевич;

ORCID: 0000-0003-4952-2347;
eLibrary SPIN: 4411-8745;
e-mail: silin@yamed.ru

Аветисов Иван Олегович;

ORCID: 0009-0007-3550-7556;
e-mail: avetisov@yamed.ru

Пятницкий Илья Аркадьевич;

ORCID: 0000-0002-2827-1473;
eLibrary SPIN: 6150-4961;
e-mail: i.pyatnitskiy@ira-labs.com

Петраш Екатерина Александровна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0001-6572-5369;
eLibrary SPIN: 6910-8890;
e-mail: e.a.petrash@gmail.com

Басова Мария Васильевна;

ORCID: 0009-0000-3325-8452;
e-mail: m.basova@ira-labs.com

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

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

Омельяновский Виталий Владимирович, д-р мед. наук,

ORCID: 0000-0003-1581-0703;
eLibrary SPIN: 1776-4270;
e-mail: vvo@rosmedex.ru

Гомболевский Виктор Александрович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-1816-1315;
eLibrary SPIN: 6810-3279;
e-mail: gombolevskii@gmail.com

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

补充材料

表10. 关于其他检查方法的建议

病变	临床指南	咨询/后续检查/动态随访
肺结节	Gombolevisky V. A., Blokhin I. A., Laipan A. S. 等人 肺癌筛查的方法建议。《放射和 仪器诊断的最佳实践》系列。第56 卷。莫斯科：国家预算机构莫斯科 市卫生局诊断和远程医疗科学实践 临床中心，2020年。57页。	咨询：肿瘤科医生。 后续检查：活检、CT/超声支气管镜检查、细胞学检 查、验血（人类免疫缺陷病毒、梅毒、肝炎）、呼吸 功能检查、肺活量测定、血常规检查、心电图、PET/ CT、静脉注射造影剂的大脑MRI。 动态随访：根据肺结节的数量和大小，建议3-6个月后 进行胸部CT检查。
以病毒性肺炎特有 的肺部浸润性病变 （大流行条件下为 COVID-19）	临时方法建议。新型冠状病毒感 染（COVID-19）的预防、诊 断和治疗。俄罗斯联邦卫生 部。第17版（2022年12月14 日）。访问方式： https:// static-0.minzdrav.gov. ru/system/attachments/ attaches/000/061/254/ original/%D0%92%D0%9C%D0%A0_ COVID-19_V17.pdf?1671088207	咨询：内科医生。 后续检查：脉搏血氧测定；心电图；采用核酸扩增技 术检测SARS-CoV-2 RNA；采用免疫层析法检测SARS- CoV-2抗原；血常规检查，测定红细胞、血红蛋白、 血细胞比容、白细胞、血小板的水平，并白细胞计算 公式；血液检测（尿素、肌酐、电解质、葡萄糖、谷 丙转氨酶、谷草转氨酶、胆红素、白蛋白、乳酸、乳 酸脱氢酶；此外可测定作为心肌损伤标志物的肌钙蛋 白、作为急性炎症蛋白的铁蛋白，铁蛋白测定结果可 提供疾病严重程度和预后的信息），C反应蛋白；激素 检查（降钙原、NT-proBNP）；凝血时间图（活化部分 凝血活酶时间、凝血酶原时间、凝血酶原比率和/或凝 血酶原时间比值、纤维蛋白原、D-二聚体定量）。 动态随访：出院后8周，建议去看医生并进行仪器检 查（如有必要）：胸部X射线检查*、肺活量测定*、休 息和运动时的血氧饱和度测量（可能进行6分钟步行测 试，以确定测试前后的饱和度）*、超声心动图、其他 检查方法（扩散试验、动脉血气等）。 *如果发现病变，则进行肺部CT检查
肺气肿	肺气肿。临床指南（由俄罗斯 联邦卫生部批准，2021年）。访 问方式： https://www.garant. ru/products/ipo/prime/ doc/402775957/	咨询：肺科医生/内科医生。 后续检查：血气分析。对于疑似遗传性A1AT缺乏症的 病人，建议进行血清A1AT活性测定、伴有支气管舒张 试验的肺活量测定、身体体积描记和肺部扩散能力检 查。对于有A1AT缺乏症的临床症状和/或血清A1AT浓度 降低的所有病人，建议进行表型和基因型测定。 动态随访：对于有A1AT缺乏症的所有患者，建议每年 进行一次普通血液检测，测定白蛋白水平、血总胆 红素水平、血谷草转氨酶活性、血谷丙转氨酶活性、 血谷氨酰转移酶活性、血小板水平。 对于有肺部A1AT缺乏症的病人，最初建议每6-12个月进 行一次肺活量测定，以排除疾病的快速发展，之后可以 减少检查频率。对于有A1AT缺乏症的患者，建议每年进 行一次腹部超声检查，以排除疾病的肝脏表现。
胸膜腔内的游离液 体（渗液）	Maskell N., Butland R. 英国胸 科协会（BTS）单侧胸腔积液成人 患者的指南//肺病学。2006。№2。 页13-26。doi: 10.18093/0869- 0189-2006-2-13-26	咨询：肺科医生。如果发现患有结核病，应咨询结核治疗 医生；如果是恶性的，应咨询肿瘤科医生。 后续检查：考虑是否需要胸腔积液抽取（ASAP—— 尽快）；细胞学检查；蛋白测定；乳酸脱氢酶，pH值； 革兰氏染色；培养和敏感性试验；齐尔-尼尔森染色； 结核分枝杆菌的培养。进一步，如果有必要的话，进行 静脉注射造影剂的胸部CT检查；胸膜活检。 如果在所有检查后没有发现原因，考虑进行胸腔镜检查 的问题。

表10. 延长部分

病变	临床指南	咨询/后续检查/动态随访
主动脉瘤/主动脉扩张	临床指南。主动脉疾病的诊断和治疗建议（2017年）//心脏病学和心血管外科。2018年。№1。页7-67	咨询：心脏病医生/血管外科医生。 后续检查：静脉注射造影剂的CT主动脉造影。 动态随访：经胸超声心动图，腹部超声检查。
肺动脉干扩张	临床指南。肺动脉高压，包括慢性血栓栓塞性肺动脉高压，2020年（2021年6月3日）。由俄罗斯联邦卫生部批准。访问方式： http://disuria.ru/_1d/10/1026_kr20I27MZ.pdf	咨询：心脏病医生。 预先检查：超声心动图；心电图；血液毒剂；肺灌注闪烁显像与肺通气闪烁显像相结合；血常规检查，测定血红蛋白和血细胞比容的水平、红细胞、白细胞、血小板的数量、血沉率；血液检测（测定肌酐、钠、钾、葡萄糖、总蛋白、C反应蛋白、谷草转氨酶、谷丙转氨酶、总胆红素、尿酸的水平）；在疑似慢性血栓栓塞性肺动脉高压的情况下，测定血液中的心磷脂、磷脂、β2-糖蛋白的抗体，以确定危险因素；测定细胞核抗原和DNA的抗体，以排除与系统性结缔组织疾病的联想；NT-proBNP检测；测定血液中人类免疫缺陷病毒-1的M、G抗体，并血液中人类免疫缺陷病毒-2的M、G抗体；乙型肝炎病毒抗原测定，丙型肝炎病毒抗体测定，梅毒螺旋体抗体测定；尿常规检查；甲状腺功能检查（测定游离三碘甲状腺原氨酸、游离甲状腺素和促甲状腺激素的水平）；腹部超声检查（复合），以排除肝脏病变和/或门静脉高压症。
冠状动脉钙化	临床指南。稳定性缺血性心脏病，2020年（由俄罗斯联邦卫生部科学与实践委员会批准）。访问方式： https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/155_1	咨询：心脏病医生。 后续检查：血常规检查，测定血红蛋白水平、红细胞和白细胞的计数；测定血肌酐水平，根据计算的肾小球滤过率或肌酐清除率评估肾功能；血液检测，包括血液总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇和甘油三酯的水平测定；血液NT-proBNP水平测定；静息心电图；门诊心电图监测；超声心动图；如果超声心动图结果不详，可进行心脏MRI（包括造影剂增强）；颅外颈动脉双功扫描，以检测动脉粥样硬化斑块；冠状动脉CT检查；应激性心电图/应激性超声心动图/应激性MRI/单光子发射计算机断层扫描。 动态随访：对于被诊断为稳定性缺血性心脏病的所有患者，建议每年进行一次血常规检查、血液检测、评估血脂紊乱的血液检测；测定血肌酐水平；测定空腹血糖，以在必要时及时纠正治疗。
评估肾上腺厚度，以发现肿块和增生	临床指南。肾上腺皮质癌，2020年（由俄罗斯联邦卫生部科学与实践委员会批准）。访问方式： https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/341_1	咨询：内分泌科医生、肿瘤科医生。 后续检查：肾上腺肿瘤激素活性检查（皮质醇、促皮质素、血浆游离甲氧基肾上腺素或尿液游离去甲氧基肾上腺素；醛固酮、血浆肾素和血清钾），静脉注射造影剂的腹部CT检查（如果进行造影剂增强CT有禁忌症，需要进行腹部和腹膜后的MRI）。如果发现CT表型不确定的肾上腺肿块，且没有发现激素分泌过多，建议进行联合会诊，可能的解决方案有三种： （1）进行额外的影像检查（氟脱氧葡萄糖的PET/CT）； （2）3-6个月后进行重复CT（或MRI）的动态随访，不使用静脉性造影剂； （3）外科治疗。 动态随访：对于CT表征不确定的肿块，建议在3-6个月后进行重复CT/MRI检查，以动态评估肿瘤大小（如果根据最初的诊断选择随访）。如果在短期随访中，肿块的大小增加20%（或最大直径增加>5 mm），则应进行外科治疗。

表10. 延长部分

病变	临床指南	咨询/后续检查/动态随访
评估椎体骨松质密度，以发现骨质疏松症/骨质减少	临床指南。骨质疏松症，2021年（由俄罗斯联邦卫生部科学与实践委员会批准）。访问方式： https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/87_4	咨询：内分泌科医生。 后续检查：血常规检查；血液检测（总钙、肌酐与肾小球滤过率测定、无机磷、碱性磷酸酶活性测定、葡萄糖）；对于自己治疗骨质疏松症的患者，在本来和治疗开始3个月后，检查血液中的C末端肽，和/或检查血液中的I型原胶原N端前肽（PINP）水平（分别是抗吸收治疗中的骨吸收标志物和合成代谢治疗中的骨形成标志物），以早期评估治疗有效性和坚持治疗；进行腰椎和股骨近端的双能X线吸收法（DXA）；通过定量CT对最大耗氧量进行三维测量（可选）。
评估椎体压缩性骨折，以发现骨质疏松症	临床指南。骨质疏松症并发的病理性骨折，2022年（由俄罗斯联邦卫生部科学与实践委员会批准）。访问方式： https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/614_2	咨询：内分泌科医生。 后续检查：血常规检查；尿常规检查；血液检测（测定总钙和/或电离钙、无机磷、总碱性磷酸酶、血肌酐与肾小球滤过率测定；检查血液中的甲状旁腺激素水平，尿钙和尿磷；双能X线吸收法。在50岁以上的人中出现椎体低能量骨折时，需要进行血液和尿液中的副蛋白和M-gradient检测，以排除骨髓瘤疾病。

注：CT——电子计算机断层扫描；PET/CT——与X射线计算机断层成像相结合的正电子发射计算机断层扫描；MRI——磁共振成像；NT-proBNP——氨基端前脑钠素；A1AT——α 1-抗胰蛋白酶。

表11. 医生的工作年限

医生	工作年限			工资量	学位
	在放射科 (包括住院医师培训)	在胸部放射学 (不包括住院医师培训)	在CT		
医生-1	15	13	13	部分	有
医生-2	17	5	5	部分	没有
医生-3	7	5	5	完全	没有
医生-4	16	14	14	部分	没有
医生-5	7	5	5	部分	没有
医生-6	5	3	3	部分	有
医生-7	14	10	10	部分	没有

通用线性模型

通用线性模型假设每个观测值（ Y_i ）都线性地依赖于变量值（ X_{ip} ）， $p=1, 2, \dots, m$ ：

$$Y_i = b_{i0} + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_m X_{im} + \varepsilon_i$$

其中X变量既可以是分类的（考虑到小组、种类、类别），又可以是连续的。在通用线性模型中，估计Y参数对因素{ X_j ， $j=1, 2, \dots, m$ } 的依赖性模型的系数{ b_j ， $j=0, 1, 2, \dots, m$ }。对于这些系数，它们的统计学意义是确定的（为了检验假设，计算p值； H_{j0} ： $b_j=0$ ， $j=0, 1, 2, \dots, m$ ），这表明相关因素对目标参数产生影响的重要性。

在我们研究中，一些参数具有对数正态分布，所以对它们进行了对数转换。结果，该模型看起来像这样：

$$Y = \log(\text{Total number of protocols with critical and non-critical errors})$$
$$X_1 = \text{All protocols}$$

$$X_2 = \log(\text{Work experience in thoracic radiology (excluding residency)})$$

$$X_3 = \log(\text{Length of experience in CT})$$

$$\text{和分类参数 } X_4 = \text{Academic degree.}$$

如下表给出通用线性模型系数的估计结果及其统计学意义：

可以得出结论，协议书的总数在统计学上明显增加了错误的数量。放射科和胸部放射科的总工作年限会减少错误的数量，但由于医生的样本较少，并且存在优势病例，所以这些数据不具有代表性。

部分类似的结果（精确到统计学意义和一种试验的影响）反映在相关分析中：

- $\rho(\log(\text{Total number of protocols with critical and non-critical errors}), \text{All protocols}) = 0.88, 95\% \text{ CI}[0.39; 0.98]$ ，p值为0.008（相关性有统计学意义）；

	Estimate	Std. Error	t.value	Pr...t..
(Intercept)	0.132922	0.352989	0.37656	0.742697
bd_lr\$"All protocols"	0.037246	0.006111	6.094863	0.025879
log(bd_lr\$"Work experience in thoracic radiology/r/ n(excluding residency)/r/n")	-7.96969	1.009013	-7.8985	0.015654
factor(bd_lr\$"Academic degree")no	-0.92975	0.229399	-4.05297	0.055828

- ρ (log (Total number of protocols with critical and non-critical errors), log (Work experience in thoracic radiology (excluding residency)) = -0.45, 95% CI[-0.9; 0.46], p值为0.31 (相关性无统计学意义) ;
 - ρ (log (Total number of protocols with critical and non-critical errors),
- log (Work experience in thoracic radiology (excluding residency)) = -0.27, 95% CI[-0.85; 0.61], p值为0.56 (相关性无统计学意义) 。

然而，在缺乏统计学意义的相关性的情况下，不可能谈论任何趋势。

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD201870>

Создание набора данных с диспозицией и транспозицией наложения электрокардиографических электродов при записи электрокардиограммы в 12 отведениях

Т.М. Газашвили¹, Д.В. Дроздов², Д.В. Шутов³, А.С. Шкода¹¹ Городская клиническая больница № 67 имени Л.А. Ворохобова, Москва, Российская Федерация² Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова, Москва, Российская Федерация³ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Электрокардиография — одна из наиболее простых, широко распространённых, недорогих и информативных методик в функциональной диагностике, однако её диагностическая ценность резко снижается при неправильном проведении. Предпринимались попытки систематизировать ошибки и отклонения при наложении электродов, но все они касались наиболее частых вариантов (перестановка электродов красного и жёлтого, жёлтого и зелёного, грудных — выше или ниже стандартной схемы).

Цель — создать набор данных электрокардиограмм с разными вариантами транспозиций и диспозиций электродов при регистрации электрокардиограммы для обучения и тестирования систем машинного обучения.

Материалы и методы. В исследование включены пациенты в возрасте от 18 до 75 лет, 27 мужчин и 22 женщины. Все пациенты давали добровольное информированное согласие на проведение регистрации электрокардиограммы. Кардиограмму регистрировали на приборе «Модульная система для регистрации и дистанционной передачи электрокардиограммы «EASY ECG»». Каждому пациенту во время одного визита последовательно регистрировали электрокардиограммы с корректным наложением электродов и различными вариантами дис- и транспозиций.

Результаты. Всего зарегистрировано 488 электрокардиограмм у 49 пациентов. Полученные результаты свидетельствуют о значительной вариативности картины электрокардиограммы. При визуальном анализе зарегистрированных электрокардиограмм определение транспозиции, связанной с перестановкой отведений на руках и в грудных электродах C1–C2, не вызывало затруднений. Реже надёжно определялась установка грудных электродов в контакте друг с другом, диспозиции с переносом грудных отведений выше или ниже на 2 межреберья по сравнению со схемой Wilson. Транспозиции жёлтого и зелёного конечностных электродов, изменение положения грудных электродов, когда их «выстраивают» по прямой линии, «задирают» по межреберью, путают местами C5–C6, затруднительно определять даже при сопоставлении рядом двух кардиограмм — с правильным и транспозиционным наложением электродов. Вероятно, это зависит как от исходных изменений на электрокардиограмме, так и от типа телосложения, размеров молочной железы или наличия имплантата.

Заключение. Получен набор данных электрокардиограмм с различными вариантами дислокаций электродов. Набор данных состоит из серий электрокардиограмм, зарегистрированных у каждого пациента с различными вариантами наложения электродов (в наборе представлены не только нормальные электрокардиограммы, но и различные варианты электрокардиографических отклонений).

Ключевые слова: электрокардиограмма; ЭКГ; дефекты регистрации электрокардиограммы; искусственный интеллект; алгоритмы; функциональная диагностика.

Как цитировать

Газашвили Т.М., Дроздов Д.В., Шутов Д.В., Шкода А.С. Создание набора данных с диспозицией и транспозицией наложения электрокардиографических электродов при записи электрокардиограммы в 12 отведениях // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 133–141. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD201870>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD201870>

Creation of a training and test dataset with the disposition and transposition of overlaying electrocardiographic electrodes when recording electrocardiograms-12

Tamara M. Gazashvili¹, Dmitry V. Drozdov², Dmitry V. Shutov³, Andrey S. Shkoda¹

¹ City Clinical Hospital No. 67 named after L.A. Vorokhobov, Moscow, Russian Federation

² National Medical Research Centre of Cardiology Named After Academician E.I. Chazov, Moscow, Russian Federation

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

ABSTRACT

BACKGROUND: Electrocardiography is one of the simplest, most widely used, inexpensive, and informative methods in functional diagnostics; yet, if performed poorly, its diagnostic value is sharply reduced. Several attempts were made to systematize errors and deviations in electrode application, but all concerned the most common options (rearrangement of red and yellow electrodes, yellow and green electrodes, and chest electrodes — above or below the standard scheme).

AIM: To create an electrocardiogram dataset with different options for transpositions and dispositions of electrodes during electrocardiogram recording.

MATERIALS AND METHODS: The study included patients aged 18–75 years (27 males and 22 females). All patients provided informed consent for electrocardiogram registration. During one visit, the cardiogram was recorded on the device “Modular system for recording and remote transmission of electrocardiograms (EASY ECG)” for each patient.

RESULTS: In all, 488 electrocardiograms were recorded in 49 patients. The results obtained indicate a significant variability of the electrocardiogram pattern. Visual analysis of the electrocardiograms revealed no difficulties in determining the transposition associated with rearranging the leads on the arms (RY) in the thoracic C1–C2. The placement of thoracic electrodes in contact cheek-to-cheek dispositions with the transfer of thoracic leads above or below two intercostals was reliably determined compared with the Wilson scheme. The transpositions of the yellow and green limb electrodes and the change in the position of the thoracic ones when they are “lined up” in a straight line, “bullied” between the ribs (curved), and confused in places C5 and C6 are difficult to determine even when comparing two cardiograms next to each other, with the correct and transpositional superposition of the electrodes. The initial changes on the electrocardiograms, physique type, breast size, or the presence of an implant most likely determine it.

CONCLUSION: An electrocardiography dataset was obtained using various electrode dislocation variants. The dataset consists of a series of electrocardiograms obtained for each patient with several electrode placement options and contains both normal and pathological electrocardiograms.

Keywords: electrocardiogram; ECG; defects in the registration of the electrocardiogram; artificial intelligence; algorithms; functional diagnostics.

To cite this article

Gazashvili TM, Drozdov DV, Shutov DV, Shkoda AS. Creation of a training and test dataset with the disposition and transposition of overlaying electrocardiographic electrodes when recording electrocardiograms-12. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):133–141. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD201870>

Received: 04.04.2023

Accepted: 15.05.2023

Published: 15.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD201870>

在记录12导联心电图时，创建一个具有心电图电极应用配置和转置的数据集

Tamara M. Gazashvili¹, Dmitry V. Drozdov², Dmitry V. Shutov³, Andrey S. Shkoda¹

¹ City Clinical Hospital No. 67 named after L.A. Vorokhobov, Moscow, Russian Federation

² National Medical Research Centre of Cardiology Named After Academician E.I. Chazov, Moscow, Russian Federation

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

简评

论证。心电图是功能诊断中最简单、最常见、最便宜和最有信息量的技术之一，然而它的诊断价值在错误操作中急剧下降。试图使电极应用时的错误和偏差系统化，但这些错误和偏差都涉及到最常见的变体（把红色和黄色、黄色和绿色、胸腔的电极移动到高于或低于标准方案的位置）。

该研究的目的是在记录心电图时创建一个具有不同电极配置和转置的心电图数据集，以训练和测试机器学习系统。

材料和方法。年龄在18至75岁的患者被纳入本研究，其中男性27人，女性22人。所有患者都自愿知情同意记录心电图。心电图是在《记录和远程传输心电图的模块化系统“EASY ECG”》设备上记录的。每位患者在一次就诊中都依次接受心电图检查，其中有正确的电极应用及不同的配置和转置的变体。

结果。一共有49名患者，记录了488张心电图。研究结果表明，心电图模式有很大的变异性。在对记录的心电图进行目测分析时，发现与手臂导联和胸腔C1-C2电极移动有关的转置并不困难。很少有胸腔电极相互接触的情况，与Wilson方案相比，胸腔电极移高或移低2个肋间的配置被可靠地发现。黄色和绿色肢体电极的转置，当“排成”一条直线，沿肋间隙“乱”，以及混入C5-C6时，胸廓电极的改变，即使并排比较两张心电图，有正确和转置的电极应用，也很难确定。这可能既取决于基线心电图的变化，也取决于体型、乳房大小或是否有植入物。

结论。我们获得了一个具有不同电极脱位变体的心电图数据集。该数据集由一系列记录在每个病人身上的不同电极应用变体的心电图组成（数据集中不仅有正常的心电图，还有不同的心电图异常变体）。

关键词：心电图；ECG；心电图记录失误；人工智能；算法；功能诊断。

引用本文：

Gazashvili TM, Drozdov DV, Shutov DV, Shkoda AS. 在记录12导联心电图时，创建一个具有心电图电极应用配置和转置的数据集. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):133–141. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD201870>

收到: 04.04.2023

接受: 15.05.2023

发布日期: 15.06.2023

论证

心电图（ECG）是心脏病学中最简单、最常见、最便宜和最有信息量的技术之一，然而它的诊断价值在错误操作中急剧下降。电极移位（脱位）是最常见的登记技术的变化。应识别配置（电极位置的改变是有意识和必要的）和转置（与标准叠加图相比，电极位置的改变是错误的）。

试图使电极应用时的错误和偏差系统化，但这些错误和偏差都涉及到最常见的变体（把红色和黄色、黄色和绿色、胸腔的电极移动到高于或低于标准方案的位置）[1-7]。为了解释心电图记录时避免错误，特殊的算法被开发。它们能够检测出此类错误。机器算法可稳定识别RL（Right - Left——从右向左）转置。

为了评估质量并确定此类算法使用可能性的标准，有必要创建心电图数据集，被用于训练和测试对心电图的自动分析算法以及医疗专家（医生和护理人员）。

该研究的目的是在记录心电图时创建一个具有不同电极配置和转置的心电图数据集，以训练和测试机器学习系统。

材料和方法

纳入标准

该研究的对象包括18至75岁的患者，其中男性27人，女性22人。所有患者都自愿知情同意记录心电图。

进行研究的条件

这项研究是在莫斯科市卫生局国家预算机构“L. A. Vorokhobov第67市立临床医院”里进行的。

医疗干预描述

患者分为6组：

- 1) 有正常心电图的患者（以101, 102, 103, 104, 104, 105, 106, 107, 107, 108, 109, 110开头的记录）；
- 2) 心电图显示左心室肥厚或完全性左束支传导阻滞的患者（以201、202、203、203、204、205、206、206、207、208、209开头的记录）；
- 3) 心电图显示右束支传导阻滞的患者（以301、302、303、304、305、306开头的记录）；
- 4) 有ST(-)段压低记录的患者（以401、402、403、404、405、406、407、408、409开头的记录）；
- 5) ST(+)段抬高记录的患者，包括有早期复极综合征的患者（以501、502、503、504、505、506、507开头的记录）；
- 6) 任何非窦性心律的患者，主要表现为I、II、V1、V2导联的负P（以601、602、603、604、605、606、607、608开头的记录）。

心电图是在《根据TU 9441-001-42447560-2012标准的记录和远程传输心电图的模块化系统“EASY ECG”及附件》设备（LLC“ATES MEDICA SOFT”，俄罗斯；登记证为№RZN 2018/7062）上记录的。

使用了可用的银-氯化银电极来记录心电图。四肢电极板的尺寸为26×47毫米。胸部电极杯的直径为22毫米。

数字化心电信号以edf+格式（European Data Format，欧洲数据格式）[8]记录。在12个通用导联进行了记录，采样率为500 Hz，记录持续时间为10秒，信号幅度为10 mV。信号未经滤波，带宽为0.05至150 Hz。

伦理审查该研究由俄罗斯放射学会莫斯科地区分会独立伦理委员会批准。

结果

每位患者在一次就诊中都依次接受心电图检查，其中有正确的电极应用及不同的配置和转置的变体。表1给出叠加图的编码和描述。

一共有49名患者，记录了488张心电图。表2给出记录的心电图结构。

记录后，所有结果都被匿名和假名¹，并使用统一词库[9]在ECG.RU平台上发布和注释。每个心电图文件的命名原则如下：前三位数为患者分组号和序列号，后面的字母为电极位置编码。

例如，“101_dis_st”文件包含患者有无变化心电图的记录，电极应用是正确的。“203_trns_crv”文件包含患有左心室肥厚患者的心电图，电极C4、C5、C6沿肋间隙放置（不是沿水平线，而是向上变弯曲）。“602_trns_yg”文件包含有非窦性心律患者的心电图，黄色和绿色的电极是弄乱的。

图1-3给出记录的心电图实例（叠加方案和相应的心电图）。

讨论

该研究的结果表明，心电图模式的显著变异性取决于初始变化，可能还取决于患者的体型和乳房情况。如果说正常心电图变化的变异性已经得到了充分的研究[6-8]，那么初始“异常”心电图变化的变异性还有待研究。我们将在下一篇文章中进行研究。

在对记录的心电图进行目测分析时，发现与手臂（红色和黄色——RL）导联和胸部C1-C2电极移动有关的转置并不困难。与Wilson方案（upper2, lower2）相比，胸腔电极移高或移低2个肋间的配置（cheek-to-cheek）被可靠地发现。黄色和绿色肢体电极（LF）的转置，当“排成”一条直线（line），沿肋间隙（curved）

¹ GOST R 55036-2012/ISO/TS 25237:2008. P85组。俄罗斯联邦国家标准。卫生信息化。假名化。访问方式：<https://docs.cntd.ru/document/1200100339>。

表1。电极位置办法及其编码

俄语	英语	心电图文件名的一部分	注解	不正确显示的导联
标准电极位置	Standard electrodes' arrangement	dis_st	正确使用电极	所有导联都是规检和正确的
胸部电极：标准电极位置低于2个肋间	Precordial electrodes' misplacement: up to 2 intercostal spaces above the standard arrangement	dis_u2	根据临床指征偶尔需要，但一般来说，这是最常见的电极叠加紊乱	正确：I、II、III、aVR、aVL、aVF 移位：V1、V2、V3、V4、V5、V6
胸部电极：标准电极位置高于2个肋间	Precordial electrodes' misplacement: below to 2 intercostal spaces down the standard arrangement	dis_d2	根据临床指征上偶尔需要，但一般来说，这是最常见的电极叠加紊乱	正确：I、II、III、aVR、aVL、aVF 移位：V1、V2、V3、V4、V5、V6
红色(R)和黄色(L)的电极是弄乱的	Reversal of the two arm electrodes	trns_ry	叠加错误	错误：I、II、III、aVR、aVL、aVF 正确：V1、V2、V3、V4、V5、V6
黄色(L)和绿色(F)的电极是弄乱的	Reversal of the left arm and left leg electrodes	trns_yg	叠加错误	错误：I、II、III、aVR、aVL、aVF 正确：V1、V2、V3、V4、V5、V6
所有胸部电极从C1-C6成一直线	All chest electrodes are placed at the same line	trns_ln	叠加错误	正确：I、II、III、aVR、aVL、aVF、V1 错误：V2、V3、V4、V5、V6
C1-C2是弄乱的	Reversal of the C1 and C2 electrodes	trns_12c	叠加错误	正确：I、II、III、aVR、aVL、aVF、V3、V4、V5、V6 错误：V1、V2
C5-C6是弄乱的	Reversal of the C5 and C6 electrodes	trns-56c	叠加错误	正确：I、II、III、aVR、aVL、aVF、V1、V2、V3、V4 错误：V5、V6
电极C4、C5、C6非常靠近（接触）	The C4, C5, C6 electrodes are placed too close to each other (cheek to cheek)	trns_cls	叠加错误	正确：I、II、III、aVR、aVL、aVF、V1、V2、V3 错误：V4、V5、V6
电极C4、C5、C6沿肋间隙线放置（不是沿水平线，而是向上变弯曲）	The C4, C5, C6 electrodes are misplaced along the intercostal space (not at a horizontal line, but curved upwards)	trns_crv	叠加错误	正确：I、II、III、aVR、aVL、aVF、V1、V2、V3 错误：V4、V5、V6

表2。患者心电图记录的分布情况

位置类型 心电图变化的分组	标准电极位置	胸部电极脱位	四肢电极转置	胸部电极转置	总计
正常心电图	10	20	20	49	99
左心室肥厚或完全性左束支传导阻滞的心电图	9	18	18	45	90
右束支传导阻滞的心电图	6	12	12	30	60
ST(-)段压低的心电图	9	18	18	43	88
ST(+)段抬高的心电图	7	14	14	35	70
任何非窦性心律的心电图	8	15	16	40	79
总计	49	97	98	242	486

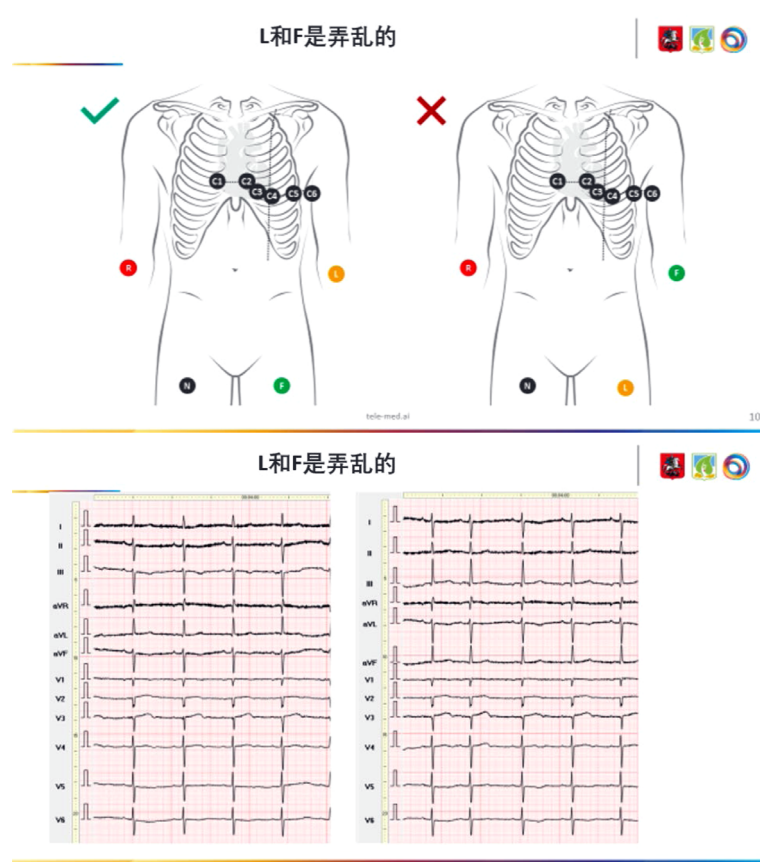


图1。电极L和F的叠加紊乱。

“乱”或混入C5-C6时，胸廓电极的改变，即使并排比较两张心电图，有正确和转置的电极应用，也很难确定。这可能既取决于基线心电图的变化，也取决于体质类型（正常质、湿热质、虚弱质）、乳房大小或是否植入物。当然，诸如考虑体质类型、是否存在移植物、根据弱化词库对初始心电图的变化进行可能的详细描述，以及比较专家识别与自动分析算法的效率等问题需要进一步研究。

尽管存在已知的缺点，但考虑到问题的重要性

以及获得定性登记数据和注释心电图的劳动密集性质，决定了以开放许可证的方式公布所获得的心电图集，并将其用于验证自动心电图分析的算法以及培训医生和护理人员。

该研究的局限性

在对患者进行检查时，并不总是考虑到他们的身高、体重和体质（体型）。考虑到这些因素可能会提高确定电极脱位类型的准确性。

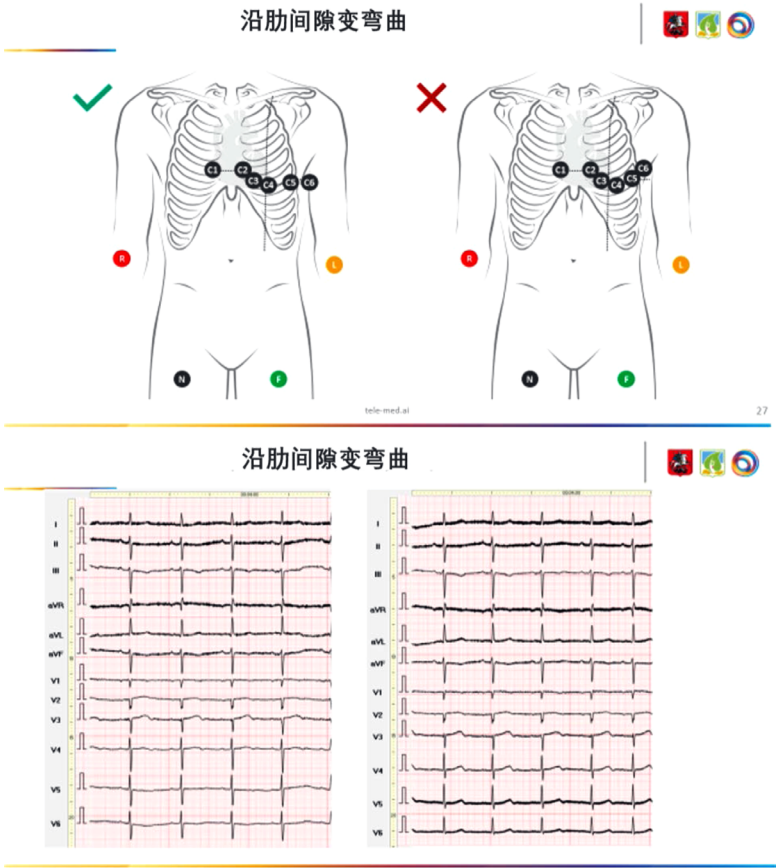


图2。电极C4-C6的叠加紊乱。

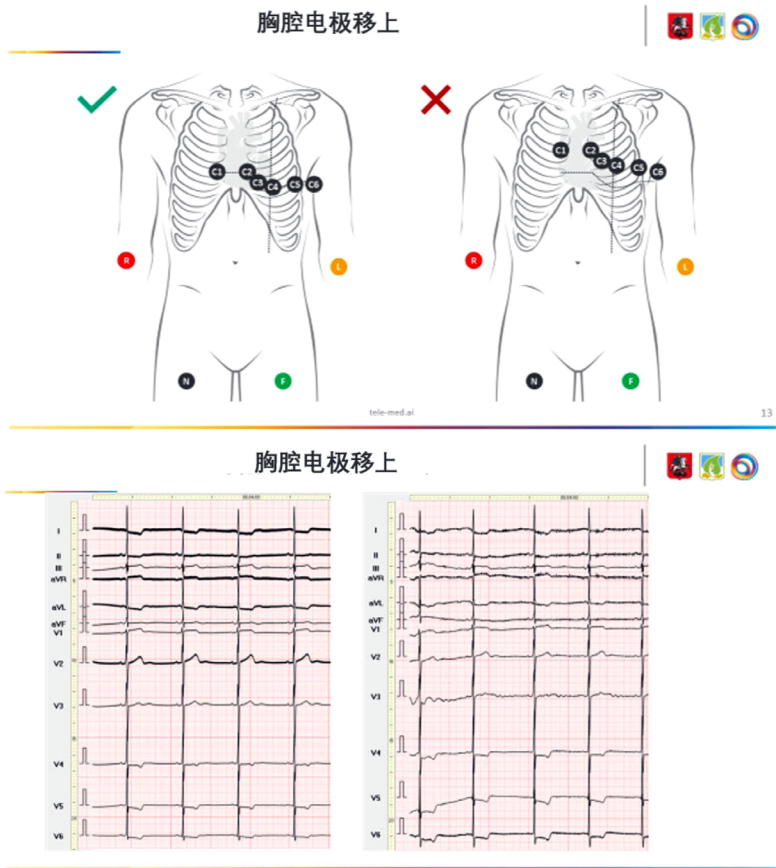


图3。电极C4-C6的移位。

结论

获得了不同电极脱位变体的心电图数据集。该数据集由每位患者记录的不同电极脱位变体的心电图系列组成。该数据集不仅包括正常心电图，还包括心电图脱位的不同变体。

ADDITIONAL INFORMATION

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

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

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis,

interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. D.V. Drozdov — concept development, organization of annotation process, thesaurus development, author supervision; T.M. Gazashvili — organization of ECG registration, depersonalization and transfer of records; D.V. Shutov — concept development, organization of depersonalization, transfer, annotation, author supervision; A.S. Skoda — general management, organization of the work of the center for instrumental diagnostics.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to Medical Computer Systems LLC, personally to the director of the company Prilutsky Dmitry Anatolyevich and all employees of the platform ECG.ru. Meshcherina Tatiana Evgenievna and Shalmonova Elena Gennadievna for highly qualified ECG registration.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rosen A.V., Koppikar S., Shaw C., Baranchuk A. Common ECG lead placement errors. Part I: Limb lead reversals // *Int J Med Students*. 2014. Vol. 2, N 3. P. 92–98. doi: 10.5195/ijms.2014.95
2. Rosen A.V., Koppikar S., Shaw C., Baranchuk A. Common ECG lead placement errors. Part II: precordial misplacements // *Int J Med Students*. 2014. Vol. 2, N 3. P. 99–103. doi: 10.5195/ijms.2014.96
3. Jekova I., Krasteva V., Leberet R., et al. Inter-lead correlation analysis for automated detection of cable reversals in 12/16-lead ECG // *Comput Methods Programs Biomed*. 2016. N 134. P. 31–41. doi: 10.1016/j.cmpb.2016.06.003
4. Kania M., Rix H., Fereniec M., et al. The effect of precordial lead displacement on ECG morphology // *Med Biological Engineering Computing*. 2014. Vol. 52, N 2. P. 109–119. doi: 10.1007/s11517-013-1115-9
5. Wenger W., Kligfield P. Variability of precordial electrode placement during routine electrocardiography // *J Electrocardiol*. 1996. Vol. 29, N 3. P. 179–184. doi: 10.1016/s0022-0736(96)80080-x
6. García-Niebla J., Llontop-García P., Valle-Racero J.I., et al. Technical mistakes during the acquisition of the electrocardiogram // *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2009. Vol. 14, N 4. P. 389–403. doi: 10.1111/j.1542-474X.2009.00328.x
7. Peberdy M.A., Ornato J.P. Recognition of electrocardiographic lead misplacements // *Am J Emergency Med*. 1993. Vol. 11, N 4. P. 403–405. doi: 10.1016/0735-6757(93)90177-d
8. Kemp B., Olivan J. European data format 'plus' (EDF+), an EDF alike standard format for the exchange of physiological data // *Clin Neurophysiol*. 2003. Vol. 114, N 9. P. 1755–1761. doi: 10.1016/s1388-2457(03)00123-8
9. Дроздов Д.В., Шутов Д.В., Газашвили Т.М., и др. Согласование врачебных описаний ЭКГ с применением тезауруса (списка типовых фраз) заключений // *Медицинский алфавит*. 2022. № 10. С. 19–26. doi: 10.33667/2078-5631-2022-11-19-26
10. Rosen AV, Koppikar S, Shaw C, Baranchuk A. Common ECG lead placement errors. Part I: Limb lead reversals. *Int J Med Students*. 2014;2(3):92–98. doi: 10.5195/ijms.2014.95
11. Rosen AV, Koppikar S, Shaw C, Baranchuk A. Common ECG lead placement errors. Part II: precordial misplacements. *Int J Med Students*. 2014;2(3):99–103. doi: 10.5195/ijms.2014.96
12. Jekova I, Krasteva V, Leberet R, et al. Inter-lead correlation analysis for automated detection of cable reversals in 12/16-lead ECG. *Comput Methods Programs Biomed*. 2016;(134):31–41. doi: 10.1016/j.cmpb.2016.06.003
13. Kania M, Rix H, Fereniec M, et al. The effect of precordial lead displacement on ECG morphology. *Med Biological Engineering Computing*. 2014;52(2):109–119. doi: 10.1007/s11517-013-1115-9.
14. Wenger W, Kligfield P. Variability of precordial electrode placement during routine electrocardiography. *J Electrocardiol*. 1996;29(3):179–184. doi: 10.1016/s0022-0736(96)80080-x
15. García-Niebla J, Llontop-García P, Valle-Racero JI, et al. Technical mistakes during the acquisition of the electrocardiogram. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2009;14(4):389–403. doi: 10.1111/j.1542-474X.2009.00328.x
16. Peberdy MA, Ornato JP. Recognition of electrocardiographic lead misplacements. *Am J Emergency Med*. 1993;11(4):403–405. doi: 10.1016/0735-6757(93)90177-d
17. Kemp B, Olivan J. European data format 'plus' (EDF+), an EDF alike standard format for the exchange of physiological data. *Clin Neurophysiol*. 2003;114(9):1755–1761. doi: 10.1016/s1388-2457(03)00123-8
18. Drozdov DV, Shutov DV, Gazashvili TM, et al. Coordination of medical ECG descriptions using a thesaurus (list of standard phrases) of conclusions. *Medical Alphabet*. 2022;(10):19–26. (In Russ). doi: 10.33667/2078-5631-2022-11-19-26

AUTHORS' INFO

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

Dmitry V. Drozdov, MD, Cand. Sci. (Med);
ORCID: 0000-0001-7374-3604;
eLibrary SPIN: 2279-9657;
e-mail: cardioexp@gmail.com

Tamara M. Gazashvili;
ORCID: 0000-0002-5875-9699;
eLibrary SPIN: 4208-2303;
e-mail: Tamaradoc24@gmail.com

Andrey S. Shkoda, MD, Dr. Sci. (Med);
ORCID: 0000-0002-9783-1796;
eLibrary SPIN: 4520-2141;
e-mail: a.shkoda@67gkb.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Шутов Дмитрий Валерьевич**, д-р мед. наук;
адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: 0000-0003-1836-3689;
eLibrary SPIN: 9381-2456;
e-mail: ShutovDV@zdrav.mos.ru

Дроздов Дмитрий Владимирович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-7374-3604;
eLibrary SPIN: 2279-9657;
e-mail: cardioexp@gmail.com

Газашвили Тамара Михайловна;
ORCID: 0000-0002-5875-9699;
eLibrary SPIN: 4208-2303;
e-mail: Tamaradoc24@gmail.com

Шкода Андрей Сергеевич, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-9783-1796;
eLibrary SPIN: 4520-2141;
e-mail: a.shkoda@67gkb.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

Проблемы облучения персонала в современных медицинских технологиях

С.А. Рыжкин^{1, 7}, Ю.В. Дружинина^{1, 2}, З.А. Лантух², И.В. Солдатов², В.Н. Лесняк³,
Д.П. Лебедев³, Д.Н. Самочатов⁴, М.П. Семенова⁵, В.А. Сухов⁶, С.Е. Охрименко¹

¹ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация

² Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

³ Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий, Москва, Российская Федерация

⁴ Городская клиническая больница № 67 имени Л.А. Ворохобова, Москва, Российская Федерация

⁵ Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Российская Федерация

⁶ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

⁷ Казанский государственный медицинский университет, Казань, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Широкое применение источников ионизирующего излучения в медицинской практике (кардиоэндоваскулярной хирургии, эндоскопии, травматологии, урологии, нейрохирургии, стоматологии, отделениях радиоизотопной диагностики) приводит к облучению хрусталика глаза и кожи рук рассеянным излучением низкой интенсивности. Введение МАГАТЭ новых рекомендаций по снижению предела годовой эквивалентной дозы на хрусталик (20 мЗв) привело к тому, что оценка дозы по хрусталику на основе эффективной дозы стала некорректной.

Цель — анализ подходов и оценка эквивалентных доз облучения хрусталика глаза и кожи рук медицинского персонала при проведении различных диагностических исследований под воздействием рентгеновского излучения и гамма-излучения радиофармпрепарата, а также сравнение полученных результатов с ранее опубликованными данными.

Материалы и методы. Применялся метод термолюминесцентной дозиметрии. Оценка доз проводилась у персонала кардиоэндоваскулярной хирургии, эндоскопии, изотопной диагностики, стоматологии, урологии.

Результаты. Расчётные годовые эквивалентные дозы на хрусталик глаза у врачей отделений кардиоэндоваскулярной хирургии находились в диапазоне от 35 до 90 мЗв, среднего медицинского персонала — от 6 до 19 мЗв (в отдельных случаях у врача — до 225 мЗв, у медицинской сестры — до 180 мЗв); персонала отделения радиоизотопной диагностики — от 4,5 до 9 мЗв. Годовые расчётные эквивалентные дозы на кожу рук у персонала кардиоэндоваскулярной хирургии составили от 17 до 100 мЗв, а при работе с радиофармпрепаратами — от 24 до 220 мЗв. Показано, что использование оценки усреднённой дозы за одну операцию у врачей кардиоэндоваскулярной хирургии, как правило, неизбежно приводит к превышению эквивалентной дозы на хрусталик глаза через определённое количество операций.

Заключение. При превышении определённого количества операций (от 100 до 200) у врачей кардиоэндоваскулярной хирургии могут формироваться эквивалентные дозы на хрусталик глаза более 20 мЗв в год. Установлено поражение хрусталика глаза при существующих уровнях облучения у врача кардиоэндоваскулярной хирургии. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейших дозиметрических измерений и эпидемиологических исследований, на основании которых могут быть разработаны рекомендации по радиационной защите хрусталика глаза и кожи рук медицинского персонала, осуществляющего работу в поле рассеянного, гамма- и рентгеновского излучения низкой интенсивности.

Ключевые слова: источники ионизирующего излучения; персонал; кардиоэндоваскулярная хирургия; отделение радиоизотопной диагностики; хрусталик глаза; кожа рук; рассеянное излучение низкой интенсивности; годовая эквивалентная доза; термолюминесцентная дозиметрия; профессиональное поведение.

Как цитировать

Рыжкин С.А., Дружинина Ю.В., Лантух З.А., Солдатов И.В., Лесняк В.Н., Лебедев Д.П., Самочатов Д.Н., Семенова М.П., Сухов В.А., Охрименко С.Е. Проблемы облучения персонала в современных медицинских технологиях // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 142–155. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

Problems of personnel irradiation in modern medical technologies

Sergey A. Ryzhkin^{1, 7}, Yuliya V. Druzhinina^{1, 2}, Zoya A. Lantuh², Ilya V. Soldatov², Viktor N. Lesnyak³, Dmitriy P. Lebedev³, Denis N. Samochatov⁴, Maria P. Semenova⁵, Vitaly A. Sukhov⁶, Sergey E. Okhrimenko¹

¹ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

² Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

³ Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies, Moscow, Russian Federation

⁴ City Clinical Hospital No. 67 named after L.A. Vorokhobov, Moscow, Russian Federation

⁵ State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russian Federation

⁶ The First Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

⁷ Kazan State Medical University, Kazan, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The widespread use of radiation sources in medical practice (cardio-endovascular surgery, endoscopy, traumatology, urology, neurosurgery, dentistry, and radioisotope diagnostics departments) leads to irradiation of the lens of the eye and the skin of the hands. The introduction of new recommendations by the IAEA to reduce the limit of the annual equivalent dose to the lens (20 mSv) has led to an inaccurate dose assessment based on the effective dose.

AIM: To analyze approaches and assess equivalent doses of irradiation of the lens of the eye and skin of the hands of medical personnel during various diagnostic studies under the influence of X-rays and radiopharmaceuticals studies and to compare the results obtained with previously published data.

MATERIALS AND METHODS: Thermo-luminescent dosimetry was used. Dose assessment was performed by cardio-endovascular surgery, endoscopy, isotope diagnostics, dentistry, and urology personnel.

RESULTS: The estimated annual equivalent doses to the lens of the eye for doctors of cardio-endovascular surgery departments, in most cases, ranging 35–90 mSv, 6–19 mSv for the average medical staff (in some cases, the doctor [≤ 225 mSv] and the nurse [≤ 180 mSv]) and 4.5–9 mSv for the staff of the department of radioisotope diagnostics. The annual calculated equivalent doses to the skin of the hands for cardio-endovascular surgery personnel were 17–100 and 24–220 mSv for the staff working with radiopharmaceuticals. It is shown that the use of an estimate of the average dose per operation by cardio-endovascular surgery doctors, as a rule, inevitably leads to an excess of the equivalent dose to the lens of the eye after a certain number of operations.

CONCLUSION: When a certain number of operations are exceeded (100–200), equivalent doses to the eye's lens in cardio-endovascular surgery doctors above 20 mSv per year can be formed. At current radiation levels, a lesion of the eye's lens was found in a cardio-endovascular surgery doctor. The results indicate the need for further dosimetric measurements and epidemiological studies, based on which recommendations for radiation protection of the eye's lens and the skin of the hands of medical personnel working in low-intensity, scattered, gamma X-ray radiation can be developed.

Keywords: annual equivalent dose; cardio-endovascular surgery; eye lens; hand skin; low-intensity scattered radiation; professional behavior; radiation sources; radioisotope diagnostics department; staff; thermo-luminescent dosimetry.

To cite this article

Ryzhkin SA, Druzhinina YuV, Lantuh ZA, Soldatov IV, Lesnyak VN, Lebedev DP, Samochatov DN, Semenova MP, Sukhov VA, Okhrimenko SE. Problems of personnel irradiation in modern medical technologies. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):142–155. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

Received: 03.05.2023

Accepted: 25.05.2023

Published: 15.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

使用现代医疗技术时医务人员受到辐射的问题

Sergey A. Ryzhkin^{1,7}, Yuliya V. Druzhinina^{1,2}, Zoya A. Lantuh², Ilya V. Soldatov², Viktor N. Lesnyak³, Dmitriy P. Lebedev³, Denis N. Samochatov⁴, Maria P. Semenova⁵, Vitaly A. Sukhov⁶, Sergey E. Okhrimenko¹

¹ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

² Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

³ Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies, Moscow, Russian Federation

⁴ City Clinical Hospital No. 67 named after L.A. Vorokhobov, Moscow, Russian Federation

⁵ State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russian Federation

⁶ The First Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

⁷ Kazan State Medical University, Kazan, Russian Federation

简评

论证。电离辐射源在医疗实践（心血管内外科、内窥镜检查、创伤科、泌尿科、神经外科、牙科、放射性同位素诊断部门）中的广泛使用导致眼球晶状体和手部皮肤受到低强度散射辐射。国际原子能机构引入的关于减少晶状体的年度等效剂量限制（20毫西弗）的新建议导致基于有效剂量的晶状体剂量评估是不正确的。

该研究的目的是分析方法和评估医务人员在X射线辐射和放射性药物的伽马射线影响下进行各种诊断检查时眼球晶状体和手部皮肤的等效辐射剂量，并对所得结果与以前公布的数据进行比较。

材料和方法。采用了热释光剂量测定法。评估了心血管内外科、内窥镜、同位素诊断、牙科和泌尿科人员的剂量。

结果。心血管外科医生眼球晶状体的计算年度等效剂量为35至90毫西弗，护理人员的为6至19毫西弗（在某些情况下，医生的高达225毫西弗，护士的高达180毫西弗），放射性同位素诊断部门人员的为4.5至9毫西弗。心血管内外科人员手部皮肤的计算年度等效剂量为17至100毫西弗，而在使用放射性药物的工作中，则为24至220毫西弗。事实证明，使用心脑血管外科医生每次手术时的平均剂量估算，通常不可避免地会在一定数量的手术后导致晶状体的超标等效剂量。

结论。超过一定数量的手术（100至200），心血管内外科医生每年接受的眼球晶状体的等效剂量可能超过20毫西弗。在现有辐射水平下，心血管内外科医生眼球晶状体的病变已经是确定的。所得结果证明，有必要进行进一步的剂量测定和流行病学调查，在此基础上可以制定在散射、伽马和X射线的低强度辐射影响下工作的医务人员的眼球晶状体和手部皮肤的辐射防护建议。

关键词：电离辐射源；工作人员；心血管内外科；放射性同位素诊断部门；眼球晶状体；手部皮肤；低强度散射辐射；年度等效剂量；热释光剂量测定法；职业行为。

引用本文：

Ryzhkin SA, Druzhinina YuV, Lantuh ZA, Soldatov IV, Lesnyak VN, Lebedev DP, Samochatov DN, Semenova MP, Sukhov VA, Okhrimenko SE. 使用现代医疗技术时医务人员受到辐射的问题. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):142–155. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

收到: 03.05.2023

接受: 25.05.2023

发布日期: 15.06.2023

论证

电离辐射源在今天的现代医疗实践中得到广泛应用。在使用电离辐射源时，心血管内外科、创伤科、泌尿科、神经外科、牙科的医生和护士，以及在普通外科手术室和重症监护室工作的人员都会接触到这些辐射。

护理人员和放射师在放射性同位素诊断部门接触到的辐射量最大。护理人员负责准备和注射放射性药物。放射师用伽玛照相机以及通过单光子发射断层扫描或与X射线计算机断层成像相结合的正电子发射计算机断层扫描（PET/CT）对病人进行检查。在这些情况下，人员会直接和永久地暴露在低强度的散射伽马射线和X射线辐射下。辐射被病人的身体散射，从外部物体反射，及影响工作人员的眼睛和皮肤。现有的数据允许计算出眼球晶状体的等效剂量与有效剂量的比率（在0.01至10 MeV的光子辐射能范围内）。得到的结果显示，在0.06至10 MeV的伽马射线能量范围内，眼球晶状体的等效剂量在数值上超过有效剂量约20%。在低于0.05 MeV的范围内，这一超出部分是几倍到几十倍。

因此，在眼球晶状体接受照射时，遵守有效剂量的基本剂量限制将不再确保遵守剂量限制。强穿透性的辐射类型对有效剂量有主要贡献，而弱穿透性辐射（ β 粒子、能量<15 keV的光子）在敏感性皮肤层和眼球晶状体中产生最大剂量[1, 2]。在国际放射防护委员会和国际原子能机构（IAEA）引入与减少晶状体的年度等效剂量限制（从150 mSv降低到20 mSv）并考虑到ALARA（As Low As Reasonably Achievable）原则，优化工作人员的辐射防护有关的建议之后，这一问题变得尤为重要[3-9]。

该研究的目的是评估医务人员在X射线辐射和放射性药物的伽马射线影响下进行各种诊断检查时眼球晶状体和手部皮肤的等效辐射剂量，并对所得结果与以前公布的关于工作人员的眼球晶状体和手部皮肤的辐射剂量数据进行比较。

材料和方法

作为我们研究的一部分，已经评估了医务人员在X射线辐射和放射性药物的伽马射线影响下进行各种诊断检查时眼球晶状体和手部皮肤的等效辐射剂量。热释光剂量测定法（TLD）被用来评估剂量。使用了带有TLD-1011T（科技中心“Praktika”，俄罗斯）和TLD-100（美国）检测器的个人剂量当量Hp(3)剂量计。测量范围：30 μ Sv至12 Sv，能量0.005 MeV至10 MeV不等。剂量计被安装在工作人员的医疗帽的前额表面的中央部分，以进行曝光。暴露的日历时间为

3-6周，但记录了使用剂量计的总操作次数，这在评估和计算剂量时被考虑在内。

检测器是在莫斯科国立罗蒙诺索夫大学放射化学系的HARSHAW TLD system 4000（Thermo Scientific Ltd, 美国）上测量的。在获取热释光发光曲线和对检测器进行退火处理之后，使用了伽马射线源 ^{137}Cs （ $E\gamma=661\text{ keV}$ ），型号为C2-5，以在空气中对检测器进行单独校准。在置信度为0.95的情况下，基本测量误差不超过10%。一些剂量计被暴露作为对照，以评估辐射背景的贡献。这些研究是在2014-2021年在莫斯科和喀山进行的。在莫斯科，研究是在三家城市医院的四个心血管内外科部门、一个泌尿科部门、一个内窥镜检查部门、俄罗斯联邦生物医药署系统医疗中心的心血管内外科部门、一家私人医疗中心的PET中心和牙科部门，以及RMANPO诊所的放射性核素诊断部门中进行的。在喀山，研究是在四个医疗机构的四个心血管内外科部门中进行的。在研究中，有61例眼球晶状体的等效剂量，包括46例心血管内外科人员（22名医生，24名护士），2例内镜检查人员，4例牙科人员，1例泌尿科人员，6例放射性同位素诊断部门的（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F ）人员。

工作人员的临床检查是采用眼科检查进行的：视形测定法（有矫正和无矫正）；屈光检查、眼球结膜和玻璃体的生物显微镜检查；泪膜破裂时间检查；眼睛B超检查。

该研究设计的一个特点是评估个人的辐射剂量，由于每个受检者的辐射条件的特殊性，这些剂量没有被合并成一个统计总量。然而，这使我们有可能获得辐射剂量水平的范围和可能影响剂量形成的因素。

结果

有几种方法，以检查医护人员眼球晶状体的等效剂量。一种方法是佩戴热释光剂量计。这种剂量计被固定在医务人员头部的一个特定位置上，并持续一段预定的时间。在佩戴时间结束后，对眼球晶状体的个人剂量当量Hp(3)进行测量。这种方法在方法建议MU 2.6.1.3747-22¹中有所描述。2014年在莫斯科医疗机构的工作人员中进行了类似的测量眼球晶状体等效剂量的研究，对象是不同专业的员工。这项研究是与莫斯科国立罗蒙诺索夫大学放射化学系的辐射控制实验室联合进行的。TLD Hp(3)的曝光时间为一个日历月。表1给出结果。

对于心血管内外科医生来说，记录的数值最高。佩戴个人剂量计的责任完全由工作人员承担。这种方法的缺点是失去了一些关于剂量计操作次数的信息，而且关于剂量计实际操作次数的

¹ 方法规则MU 2.6.1.3747-22《控制工作人员眼球晶状体的个人外部辐射等效剂量》（2022年5月17日由俄罗斯联邦消费者权益保护和公益监督局批准）。访问方式：<https://base.garant.ru/405781929/>。

信息也不可靠。因此，测量个别时段的剂量，然后重新计算为年度剂量，并不是评估辐射效应的一个好选择。

评估工作人员眼球晶状体等效剂量的第二种方法是在一定数量的操作中测量累积剂量，同时进行个人剂量测定。这种方法允许估算出一个假定的干预性研究的平均剂量。根据操作的类型，干预性研究分为“诊断性”和“治疗性”的研究。诊断性干预研究一般持续20至30分钟，总辐照时间约为3-7分钟。治疗性干预研究持续时间更长（时间取决于手术的复杂性）。在一次观察中，手术时间为2.5小时，高压开机时间为28分钟。

表2-4给出我们研究的结果。

可以看出来，每次手术（操作）的剂量在不同的技术之间和同一专业内都有很大的差异。值得注意的是，心血管内外科护士的剂量非常高。特定专家的工作方法可能是一个重要因素。这些因素包括拍摄的次数和拍摄/检查的比例，等等。非常重要的人员（主要的外科医生和他的助手或护士）到直接辐射区的距离。后者可以被

定义为“专业行为”。在机构“A”中，心血管内外科医生的计算年度剂量为35至90 mSv，护士的达到180 mSv，放射性同位素诊断部门的护士的达到8 mSv。

表3给出在机构“B”中的眼球晶状体剂量的评估结果。因此，在机构“B”中，医生眼球晶状体的计算年度等效剂量为60 mSv，而护理人员的在6至18 mSv之间。对于“专业行为”指标，发现了，第二名护士（指标“护士-2”）由于其工作性质，与第一名护士（指标“护士-1”）相比，工作时间往往更长，更接近医生（指标“医生-操作者”）的工作场所。

在机构“C”中发现了晶状体剂量形成的某些特殊性。手术次数最少的医生所记录的剂量最高。医生的计算年度剂量从53 mSv到225 mSv不等，护士的约为19 mSv。表4给出测量结果。

我们评估了可能影响剂量形成的因素：“高剂量”操作的数量、操作者与助手的功能比、操作期间的累积剂量、操作者的身高（表5）。该表显示，上述因素中没有一个是剂量测定结果有

表1. 不同专业的医护人员的Hp (3) 测量结果和对晶状体的计算年度等效剂量 (H) [10, 11]

专业领域	受试者人数, n	H p (3), mSv	H年, mSv
护理人员（从事放射性药物工作， ^{99m} Tc）	2	0.37 - 0.40	4.4 - 4.8
血管造影操作者	6	0.31 - 2.20	3.7 - 26.4
护理人员(血管造影)	5	0.15 - 0.42	1.8 - 5.0
泌尿科医生	1	0.72	8.6
牙医	4	0.13 - 0.18	1.6 - 2.2

表2. 机构“A”中的心血管内外科、内窥镜、放射性同位素诊断部门的医生和护士的眼球晶状体的等效剂量[12, 13]

专业领域	一次曝光的剂量, mSv	剂量计操作的数量	一次手术的剂量, mSv	每年允许的操作次数	每年大约有多少次手术
心血管内外科护士 [CVS nurse]	12.6	31	0.4	50	450
心血管内外科医生-1 [CVS Physician -1]	1.28	13	0.1	200	350
心血管内外科医生-2 [CVS Physician-2]	1.69	20	0.085	235	450
心血管内外科医生-3 [CVS医师-3]	1.05	5	0.2	100	450
内窥镜医生 [Endoscopic Physician]	2.82	58	0.05	400	380
内窥镜护士 [Endoscopic nurse]	2.79	58	0.05	400	380
护士 ^{99m} Tc [Nurse ^{99m} Tc]	0.7	134*	0.005	4000	1600

注：*患者。

表3。机构“B”中的心血管内外科部门医生和护士的眼球晶状体的等效剂量

专业领域	一次曝光的剂量, mSv	剂量计操作的数量	一次手术的剂量, mSv	每年允许的操作次数	每年大约有多少次手术
医生	5.7	64	0.1	200	600
护士-1	1.5	68	0.02	1000	300
护士2	2.4	41	0.06	340	300

表4。机构“C”中的心血管内外科部门医生和护士的眼球晶状体的等效剂量

专业领域	一次曝光的剂量, mSv	剂量计操作的数量	一次手术的剂量, mSv	每年允许的操作次数	每年大约有多少次手术
医生-12	3.86	35	0.11	180	750
医师生-16	3.5	51	0.07	285	750
医生-18	3.4	12	0.3	>70	750
护士	1.74	68	0.025	800	750

直接影响。显然，最重要的辐照因素不是操作次数，而是操作的特点和“专业行为”、“医生-操作者”从工作场所到管的距离。从这个意义上来说，影响人员相对于直接辐射区的位置的人体测量特征（如身高）可能具有一定的重要性。

许多组织没有充分配备集体和个人的眼睛劳保用品。一般的劳保用品显然是不够的：狭窄的悬吊式遮盖板；没有吊挂式透明遮盖板或其不够。悬挂式透明遮盖板的存在也可能大大降低个人劳保用品的防护要求（例如，身体防护为0.15毫米Pb，眼睛的为0.1毫米Pb）。这可以普遍改善和提高医护人员的工作条件。

将放射诊断各部门医务人员的眼球晶状体等效剂量与PET中心诊断实验室人员的剂量数据进行了比较。在研究[14]中，评估了PET中心医务人员的眼球晶状体的等效剂量。PET中心的工作人员使用基

于¹⁸F的制剂工作。在这篇文章中，研究了工作人员在使用¹⁸F工作时的时间成本（工作量）（表6）。

PET中心放射性同位素诊断部门人员的注射/分装操作时的等效有效剂量为4.2-4.9 μSv/GBq（4.2-4.9 μSv/病人），PET/CT放射师的为6 μSv/GBq（2.3 μSv/病人），以及眼球晶状体的等效剂量分别为5.4-5.8 μSv/GBq（2.1-2.2 μSv/病人）和5.9 μSv/GBq（2.3 μSv/病人）。辐照水平与所使用的总活性（或作为活性“等效”的患者人数）直接相关。评估剂量-活动/剂量-病人的关系，允许计算出所需的最低人员人数。在分装/注射操作中，最大的剂量与“注射”操作有关。“注射”操作是这项技术的主要剂量形成因素。考虑到工作量，最高的眼球晶状体的辐射剂量是在PET/CT放射师身上记录的。这是由于医生与整个活性的接触。在这种情况下，护士和分

表5。可能影响人员剂量形成的因素

医生	手术与对病人的剂量的之比 >1 Gy / >2 Gy	累积剂量, Gy	操作者/助手的之比	身度, cm
医生-12	19/5	39	24/11	183
医生-16	17/5	49	29/22	185
医生-18	3/1	9.4	12/0	170

表6。根据放射性药物的活性和病人的数量，PET中心诊断实验室工作人员眼球晶状体的辐照剂量（H_{lens}）和有效剂量（E）[14]

人员	操作	A, GBq	病人的数量	H _{lens} , mSv H _p (3)	E, mSv H _p (10)
A	护士，注射超过分装	109.2	283	0.63	0.53
B	分装工，分装超过注射	124.5	324	0.67	0.52
C	PET/CT放射师，扫描	135.2	354	0.8	0.81

注：PET/CT——与X射线计算机断层成像相结合的正电子发射计算机断层扫描。

装工互相“分享”这项活性。值得注意的是，在使用放射性药物时，剂量Hp(10)和Hp(3)的数值几乎相似。表7给出眼球晶状体年度等效剂量的初步估计数，减少到11个月（减去假期）。

CT放射师有规律地接受最高剂量。然而，对于CT放射师来说，观察到的是一种非常谨慎的“工作行为”（保持最大距离，尽量减少接触）。工作人员的工作量是每班14小时的26个病人。还要注意的，随着病人接收过程的加强（取消长时间的签到程序），剂量也将按比例增加。此外，显然，在工作人员（a和b）之间没有活性分享的情况下，每年对眼球晶状体的等效剂量可能至少为15 mSv。获得的数据与研究 [15, 16] 中的数据有令人满意的一致性。这些研究中的中值和最大值分别为4至14 mSv和16至23 mSv。评价这些结果，可以说病人数量与工作人员数量的比例是确定特定技术中放射性同位素诊断部门护理人员辐照水平的重要因素。

除了评估眼球晶状体的剂量外，还评估了心血管内外科和放射性同位素诊断部门的人员手部皮肤的剂量。表8给出研究的结果见。从表中可以看出，上述研究中的等效剂量没有超过皮肤的等效剂量限制（500 mSv）。所示的测量结果说明一个单独的局部性皮肤面积。这通常是中指的背面。这些测量结果不能完全说明整个手部表面（包括背部和手掌）的剂量。作者知道有两例心血管内外科医生的手上出现了明显的病理变化，即双手掌外侧边有持续的局部性干性皮炎病灶，以及手术后手背表面发红。

作为这项研究的一部分，作者使用心血管内外科医生手部模型对皮肤辐照剂量进行了研究。获得的数据表明，手部皮肤辐照可能达到每年1 Gy或更高的水平[13]。表9给出PET中心放射性同位素诊断部门专家皮肤的年度等效剂量的估计，该估计是按11个工作月计算的[15]。

给病人注射放射性药物的操作对护士在皮肤上的剂量的贡献最大。值得注意的是，护士-1和“分装工”（或护士-2）之间剂量的分享。显然，如果护士-1进行100%的注射，一年中手部皮肤的等效剂量可以达到约450 mSv。这些数据与研究[17]中的数据一致，后者的范围是3至512 mSv。

为了澄清这些数据，对心血管内外科部门的手部皮肤模型的等效剂量进行了评估。结果表明，一次操作对手部模型的等效剂量为0.5-2.5 mSv，对患者身体模型的平均输入剂量为500 mGy。考虑到某位外科医生每年的手术总数（300-600例），局部性手部皮肤面积的等效剂量可能超过500 mSv的既定剂量限制。在一项关于用剂量计平行照射皮肤成纤维细胞的DNA双链断裂的研究中， γ H2AX和53BP1焦点的数量在照射后30分钟和24小时内明显超过对照值的2倍以上（ $p<0.05$ ），甚至在72小时后对照值也没有减少[13, 18]。

讨论

这个问题在科学文献中已经报道了相当长的时间[19-24]。在每次操作的干预研究中，对眼球

表7. PET中心同位素实验室工作人员的眼球晶状体的计算年度等效剂量[12, 14]

人员	工作职能	H, mSv/年
A	注射~60%，分装40%	6.9
B	分装~60%，注射40%	7.4
C	PET/CT放射师	8.8

注：PET/CT——与X射线计算机断层成像相结合的正电子发射计算机断层扫描。

表8. 心血管内外科中手部皮肤年度等效剂量的近似估计[12, 14]

人员	一次曝光的H _{skin**} , mSv	操作次数	每年的操作次数	H _{skin} 年度/计算
心血管内外科护士	1.2	31	450	17
心血管内外科医生-1	0.7	13	350	19
心血管内外科医生-2	4.5	20	450	100
心血管内外科医生-3	1.1	5	450	100

表9. PET中心同位素实验室工作人员的皮肤（Hp, 0.07）、手指（中指）的计算年度等效剂量

人员	工作职能	Hp(0.07), mSv/年
a	注射~60%，分装40%	220
b	分装~60%，注射40%	132
c	PET/CT放射师	24

注：PET/CT——与X射线计算机断层成像相结合的正电子发射计算机断层扫描。

晶状体和皮肤的等效剂量进行了评估。眼球晶状体的剂量从0.05 mSv到0.4 mSv不等, 手部皮肤的剂量从0.3 mSv到1.1 mSv不等。眼球晶状体的数据分散高达约8倍, 手部皮肤的数据分散高达约4倍。在研究[19]中, 在一次操作中, 皮肤的剂量等于眼球晶状体的剂量。在每次操作的干预程序中, 眼球晶状体的等效剂量值有很大的不同, 这取决于操作的类型和个人或集体劳保用品的有无[2]。由于现有数据有很大的不准确性, 对眼球晶状体的辐射剂量的研究仍然有意义。在研究[25]中, 报告了使用电离辐射源的医护人员中, 白内障的发病率增加。白内障在心血管内外科人员中特别普遍。

该研究进行了17个月的时间。三位放射疗法医师进行了儿科和成人的治疗干预。这一年中进行了276至338次手术, 其中20%是儿科。左眼的年度剂量超过20 mSv, 范围在21至61 mSv之间。即使使用特殊眼镜保护眼睛, 双眼的剂量也超过了6 mSv, 剂量13 mSv至48 mSv不等。儿科和成人的治疗干预之间, 每次操作的对眼球晶状体的剂量没有显著差异[26]。

在9名干预放射疗法医师中进行了为期6个月的眼球晶状体等效剂量的研究。评估了眼睛晶状体和颈部皮肤的等效剂量。每个工作日眼球晶状体的剂量为 0.18 ± 0.11 mSv, 每200个工作日的为 35.3 ± 6.6 mSv。在5名(56%)心血管内外科医生中, 剂量超过了年度限制(20 mSv)。按研究人员的意见, 如果全职工作, 心血管内外科的医生可能会在眼球晶状体上受到确定性辐射, 尤其是在左侧。研究也表明, 可以通过颈部皮肤剂量测定来评估眼球晶状体辐射剂量 $[D_{\text{晶状体}} = 0.0179 + (0.5971 \times D_{\text{颈部}})]$ [27]。

本文介绍了在44名心血管内外科医生和22个人的对照组中进行的实验结果。在所有受试者中, 26名心血管内外科医生和对照组的参与者接受了特殊的眼睛检查。眼球晶状体的剂量是通过热释光剂量测定法测量的。每月外科医生左眼的平均等效剂量为 0.83 ± 0.59 mSv, 右眼的为 0.35 ± 0.38 mSv。年度剂量估计为0.7至11 mSv。关于核素或皮质晶状体浑浊的流行率数据在两组之间没有显著差异。对于四名心血管内外科医生来说, 被发现了有早期囊下硬化, 不过没有观察到两组之间的统计差异。研究人员认为, 这些数据表明心血管内外科医生有可能受到相当大的眼球晶状体剂量, 并建议使用眼睛劳保用品[28]。

在研究[29]中, 参与者组包括69名干预心脏病学家和78个人的对照组, 他们在工作性质上没有接触电离辐射。使用了缝隙摄影机来检查眼球晶状体浑浊。使用调查问卷对眼球晶状体的平均累积剂量进行了回顾性评估。调查问卷包括职业史和眼球晶状体辐射剂量的数据。左眼和右眼晶状体的平均累积剂量分别为224和85 mSv。对于47%的心血管内外科医生和42%的对照组受试者来说, 被发现了有左眼的核仁蛋白光和晶状体核浑浊。对于25%的心血管内外科医生和29%的对照组受试

者来说, 被发现了有皮质浑浊。对于7%的心血管内外科医生和6%的对照组受试者来说, 被发现了有后囊下浑浊。在对年龄、性别、吸烟状况和医疗接触进行调整后, 与对照组相比, 心血管内外科医生组中出现浑浊的风险略有统计学意义的增加。然而, 与对照组相比, 白内障病例没有明显增加。没有证据表明随着剂量的增加, 白内障的风险会增加。按作者的意见, 由于该研究的样本量较小, 不能排除电离辐射的不良影响。

对圣彼得堡医疗机构人员的剂量评估研究给出了以下对眼球晶状体的等效剂量的结果: 放射科医生1个月的剂量为0.29至2.9 mSv, 心血管内外科的医生和护士的为0.44至1.49 mSv, 放射师为0.1至8.54 mSv, 外科医生的为0.89 mSv, 手术护士的为0.11至4.6 mSv。眼球晶状体辐射水平的评估是基于对个人剂量当量 $H_p(3)$ 和 $H_p(10)$ 的比率评估。根据 $H_p(3)$ 和 $H_p(10)$ 年值近似对数正态分布的参数, 显示了超过1 mSv的概率为13%, 超过6 mSv的概率为10%, 20 mSv的概率小于1%。同时, 考虑到在医学上放射外科团队的人员是辐射最多的群体, 我们做了一个假设, 一年中超过20 mSv的数量可以达到病例的10%, 对晶状体的损害可能是随机性的[30, 31]。观察到这些结果与欧洲ORAMED (Optimization of Radiation Protection Medical Staff) 项目所获得的结果有很大不同[32-34]。ORAMED项目对30多个欧洲医疗中心的干预专家对眼睛晶状体的辐射剂量进行了研究。几乎50%的心血管内外科医生每年的辐射剂量超过20 mSv。

同时, 在生产企业“Mayak”工人中注意到慢性辐照对白内障发展的影响。在15 000个人中, 老年性白内障的发病率与外部伽玛辐射总剂量之间存在着有统计学意义的显著线性关系。这些人受到的伽玛辐射剂量从 <0.25 Gy到 >1 Gy不等。进一步的研究显示了, 在长期接受辐照的工人中, 所有类型的白内障(后皮质、核仁和囊下)发生的风险都增加。女性的白内障发病风险明显更高[35]。由于南乌拉尔地区的辐射事故, 793个人的剂量达到了5 mSv, 517个人的剂从5 mSv到100 mSv不等, 67个人的超过100 mSv。因此, 有可能谈及辐照后的遥远时期。研究表明了, 辐射剂量的影响很大。已经观察到晶状体核和后囊的浑浊[36]。

在所考虑的医疗技术中, 人员也会长期受到辐射。根据在喀山获得的数据[37], 11名心血管内外科医生和15名护士的眼睛晶状体的等效剂量在3个月内从 <2 mSv到16.92 mSv不等。在被调查的21名医生中, 有7名医生的眼球晶状体等效剂量超过或接近每年20 mSv。对7名30至70岁的医生中的5名医生进行了临床检查, 发现了玻璃体腔内有高渗性包涵体, 没有老年人特有的血管变化。有一些变化是干眼症的特征。这些变化包括眼睛不舒服, 结膜腔内有少量粘液分泌, 晚上眼睛发红, 左眼有“苍蝇”, 发痒, 有异物感, 结膜在边缘外折叠, 泪流变细。发现了泪膜破裂

时间检查中的泪膜破裂时间缩短。在5名受试者中,对于4名来说,被发现了有结膜表层注射。对于1名医生来说,被发现了有结膜色素沉着。对于2名医生(45岁和70岁)来说,被发现了有角膜衰老弧或老年人的角膜变化(根据世界卫生组织,老年人是60岁或以上的)。对一名心血管内外科医生(34岁,眼球晶状体的年度等效剂量为18.7 mSv)进行的临床检查显示了,眼睛有以下病变:结膜损伤、干眼症、玻璃体损伤、晶状体核实变。作者认为,这些变化可能与接触电离辐射源有关。作者指出,在低剂量照射下,有可能出现病理过程。这是由于氧化压力的发展和自由基的释放[38, 39]。

该研究的局限性

时间间隔的限制,从一个月到几个月;收集医务人员的辐射量数据;收集数据的组织范围有限。

结论

考虑到所做手术的数量,对眼球晶状体的年度等效剂量进行了评估。在这些案例中,心血管内外科医生的计算年度剂量超过了20 mSv的水平,从35 mSv到90 mSv不等。护士的计算年度剂量从6 mSv到19 mSv不等。在两次观察中,眼球晶状体的计算剂量超过150 mSv(机构“A”的护士为185mSv,机构“C”的“医生-操作者”为225mSv)。

结果表明,如果心血管内外科的医生进行200多例手术,就可以达到眼球晶状体的剂量极限。然而,在一些观察中,医生的手术不到70次,护士的手术不到50次就达到了这个极限。

在心血管内外科中,辐照剂量形成的一个主要因素是从工作场所到X射线束区的距离。这在一定程度上与工作人员的专业行为有关。

根据现有的数据,可以假定在考察的剂量范围内眼睛损害的随机性质。

即使对比组没有统计差异,与非辐照的人们相比,辐照可能会在更早的年龄显示出病理的发展。

不同专业人员手部皮肤的剂量可能接近年限或甚至超过年限(500 mSv)的2倍或以上。

在这个阶段,除了监测现代医疗技术中人员的个别器官和组织的辐照水平外,还需要进行流行病学研究,并考虑到影响辐照剂量形成的因素,制定关于使用个人和集体劳保用品的保护实用建议。

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled "Scientific advances in medical, technological and organizational aspects of radiation safety in health care" (USIS No.:№123031500006-9) in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 "On approval of state assignments funded by means of allocations from the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025" issued by the Moscow Health Care Department.

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

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. S.A. Ryzhkin — idea of the article, experimental research, collection of material, preparation of the article; Y.V. Druzhinina, Z.A. Lantuh — search for relevant publications, article preparation and editing; I.V. Soldatov — article preparation and editing; V.N. Lesnyak, D.P. Lebedev, D.N. Samochatov — article preparation and editing; M.P. Semenova — preparation and editing, translation into English; V.A. Suhov — search for relevant publications, article preparation and editing; S.E. Okhrimenko — search for relevant publications, idea of the article, experimental research, collection of material, preparation of the article.

Acknowledgements. The authors express their sincere gratitude to RAS academician Leonid A. Ilyin for his recommendations in the field of eye lens monitoring and development of measures to protect the visual organ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов С.И., Логинова С.В., Аكوпова Н.А., и др. Проблемы дозиметрии хрусталика глаза // Радиобиология и радиационная безопасность. 2014. Т. 59, № 4. С. 67–72.
2. International Commission on Radiological Protection [интернет]. ICRP, 1996. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3-4). Режим доступа: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP+Publication+74>. Дата обращения: 15.04.2023.
3. International Atomic Energy Agency [интернет]. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. Interim edition. IAEA, 2011. 329 p.
4. International Atomic Energy Agency [интернет]. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety

standards. No. GSR Part 3. Vienna, IAEA, 2015. 436 p. Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>. Дата обращения: 15.04.2023.

5. International Commission on Radiological Protection [интернет]. ICRP, 2007. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). Режим доступа: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. Дата обращения: 15.04.2023.

6. International Commission on Radiological Protection [интернет]. ICRP statement on tissue reactions. Ref. 4825-3093-1464, April 21, 2011. Режим доступа: <https://icrp.org/docs/2011%20Seoul.pdf>. Дата обращения: 15.04.2023.

7. International Commission on Radiological Protection [интернет]. Implications for occupational radiation protection of the new dose limit for the lens of the eye. Interim guidance for use and comment. Draft 1. ICRP, 2013. 110 p. Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/10628/implications-for-occupational-radiation-protection-of-the-new-dose-limit-for-the-lens-of-the-eye>. Дата обращения: 15.04.2023.
8. International Commission on Radiological Protection [интернет]. ICRP, 2012 ICRP statement on tissue reactions / early and late effects of radiation in normal tissues and organs: threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2). Режим доступа: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20118>. Дата обращения: 15.04.2023.
9. UNSCEAR 2010 Report [интернет]. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010. Summary of low-dose radiation effects on health. United Nations, New York, 2011. P. 51–64. Режим доступа: https://www.unscear.org/docs/reports/2010/UNSCEAR_2010_Report_M.pdf. Дата обращения: 15.04.2023.
10. Карпов Н.А., Охрименко С.Е., Иванов С.И., и др. Доза в хрусталике глаза: ближайшие перспективы // Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 85-летию со дня рождения В.А. Кухтина: сборник материалов. Чебоксары, 3–4 апреля. Чебоксары, 2014. С. 235–236.
11. Nuclear Energy Agency [интернет]. NEA Expert Group on the Dose Limit for the lens of the eye launches survey. nuclear energy agency [cite 2020 April 8]. Режим доступа: https://oecd-neo.org/jcms/pl_40031/nea-expert-group-on-the-dose-limit-for-the-lens-of-the-eye-launches-survey. Дата обращения: 15.04.2023.
12. Коренков И.П., Охрименко С.Е., Шандала Н.К., и др. Оценка доз облучения хрусталика глаза и кожи персонала в современных медицинских технологиях // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т. 67, № 1. С. 44–49. doi: 10.12737/1024-6177-2022-67-1-44-49
13. Охрименко С.Е., Осипов А.Н., Коренков И.П., и др. Оценка доз облучения кожи рук в кардиоэндоваскулярной хирургии и количества двунитевых разрывов ДНК в культуре фибробластов кожи на фантоме кистей рук // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Радиационная гигиена и непрерывное профессиональное образование: новые вызовы и пути развития», посвященная 65-летию кафедры радиационной гигиены и радиационной безопасности имени академика Ф.Г. Кроткова»: сборник тезисов, 27 октября 2022 года. Москва, 2022. С. 64–68.
14. Охрименко С.Е., Коренков И.П., Прохоров Н.И., и др. Радиационно-гигиеническая оценка современных медицинских технологий // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99, № 9. С. 939–946. doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-9-939-946
15. Шлеенкова Е.Н., Бажин С.Ю., Кайдановский Г.Н., и др. О необходимости проведения регулярного контроля доз облучения хрусталиков глаз у персонала, занятого на работах с использованием радиофармацевтических препаратов // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. doi: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-101-111
16. Wrzesień M. 18F-FDG production procedures as a source of eye lens exposure to radiation // J Radiol. 2018. Vol. 38, N 1. P. 382–393. doi: 10.1088/1361-6498/aaa287
17. Wrzesień M. The effect of work system on the hand exposure of workers in 18F-FDG production centers // Australasian Physical Engineering Sci Med. 2018. Vol. 41. P. 541–548. doi: 10.1007/s13246-018-0644-9
18. Охрименко С.Е., Коренков И.П., Яшкина Е.И., и др. Облучение кожи кистей рук в интервенционной кардиохирургии (доклад) // III Национальный конгресс с международным участием «Сысинские чтения», 16–18 ноября 2022 г. Москва, 2022.
19. McParland B.J., Nosil J., Barry B. A survey of radiation exposure received by the staff at two cardiac catheterization laboratories // Br J Radiol. 1990. Vol. 63, N 755. P. 885–888. doi: 10.1259/0007-1285-63-755-885
20. Steffano G., Rossetti V., Rubichini F., et al. Short communication: Staff dose reduction during coronary angiography using low framing speed // Br J Radiol. 1996. Vol. 69, N 825. P. 860–864. doi: 10.1259/0007-1285-69-825-860
21. Li I.B., Kai M., Takano K., et al. Occupational exposure in pediatric cardiac cauterization // Health Phys. 1995. Vol. 69, N 2. P. 261–264. doi: 10.1097/00004032-199508000-00011
22. Medeiros R.D., Mennucci T.A. [Evolution of X-ray exposure dosage during coronary cineangiography. (In Portuguese)] // Arg Bras Cardiol. 1990. Vol. 55, N 1. P. 31–33.
23. Karppinen J., Parviainen T., Servomaa A., Komppa T. Radiation risk and exposure of radiologists and patients during coronary angiography and percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA) // Radiation Protection Dosimetry. 1995. Vol. 57, N 1–4. P. 481–485.
24. David E.F., Andrew K., Christopher O., et al. The risk of radiation exposure to the eyes of the interventional pain // Physician Radiology Research and Practice. 2011. Vol. 2011. P. 609537. doi: 10.1155/2011/609537
25. Vecchia E.D., Modenese A., Loney T. Risk of cataract in health care workers exposed to ionizing radiation: A systematic review // Med Lav. 2020. Vol. 111, N 4. P. 269–284. doi: 10.23749/mdl.v111i4.9045
26. Morcillo A.B., Alejo L., Huerca C., et al. Occupational doses to the eye lens in pediatric and adult noncardiac interventional radiology procedures // Medical Physics. 2021. Vol. 48, N 4. P. 1956–1966. doi: 10.1002/mp.14753
27. Merrachi N.A., Bouchard-Bellavance R., Perreault P. Eye lens dosimetry in interventional radiology: Assessment with dedicated Hp(3) dosimeters // Can Assoc Radiol J. 2021. Vol. 72, N 2. P. 317–323. doi: 10.1177/0846537120911755
28. Thrapsanioti Z., Askounis P., Datseris I. Eye lens radiation exposure in Greek interventional cardiology article // Radiat Prot Dosimetry. 2017. Vol. 175, N 3. P. 344–356. doi: 10.1093/rpd/ncw356
29. Domienik-Andrzejewska J., Kałużny P., Piernik G. Occupational exposure to ionizing radiation and lens opacity in interventional cardiologists // International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. 2019. Vol. 32, N 5. P. 663–675. doi: 10.13075/ijomeh.1896.01456
30. Кайдановский Г.Н., Шлеенкова Е.Н. On problems of the lens of the eye radiation dose monitoring // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 3. С. 75–80. doi: 10.21514/1998-426X-2016-9-3-75-80
31. Шлеенкова Е.Н., Голиков В.Ю., Кайдановский Г.Н., и др. Результаты контроля доз облучения хрусталиков глаз у медицинского персонала г. Санкт-Петербурга // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 4. С. 29–36. doi: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36
32. UPCommons. Global access to UPC knowledge [интернет]. Ginjaume M., Carnicer A. Oramed: Optimization of radiation protection

of medical staff. 2012. EURADOS Report 2012-02. Режим доступа: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/17229>. Дата обращения: 15.04.2023.

33. Vanhavere F., Carinou E., Domienik J., et al. Measurements of eye lens doses in interventional radiology and cardiology: Final results of the ORAMED project // *Radiation Measurements*. 2011. Vol. 46, N 11. P. 1243–1247. doi: 10.1016/j.radmeas.2011.08.013

34. EUR-Lex [интернет]. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 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. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>. Дата обращения: 15.04.2023.

35. Азизова Т.В., Хамада Н., Григорьева Е.С., и др. Риск катаракты различных типов в когорте работников, подвергшихся профессиональному хроническому облучению // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2020. Т. 65, № 4. С. 48–57. doi: 10.12737/1024-6177-2020-65-4-48-57

36. Микрюкова Л.Д., Крестинина Л.Ю., Епифанова С.Б. Изучение послынных изменений хрусталика в процессе формирования катаракты у лиц, подвергшихся облучению в результате радиационных инцидентов на Южном Урале // *Радиационная гигиена*. 2018. Т. 11, № 4. С. 51–63. doi: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-51-63

37. Рыжкин С.А., Слесарева А.Н., Галеева Г.З., и др. Клиническое изучение органа зрения и дозиметрия хрусталика глаза персонала, выполняющего хирургические вмешательства под контролем рентгеновского излучения // *Радиация и риск*. 2017. Т. 26, № 3. С. 90–99. doi: 10.21870/0131-3878-2017-26-3-90-99

38. Галеева Г.З., Рыжкин С.А., Сергеева С.Ю. Воздействие ионизирующего излучения на человека и орган зрения // *Практическая медицина*. 2016. Т. 99, № 7. С. 37–41.

39. Рыжкин С.А. Галеева Г.З., Сергеева С.Ю. Лучевая катаракта в свете современных научно-исследовательских достижений в офтальмологии (обзор) // *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: реабилитация, врач и здоровье*. 2016. Т. 24, № 4. С. 37–42.

REFERENCES

1. Ivanov SI, Loginova SV, Akopova NA, et al. Problems of dosimetry of the eye lens. *Med Radiol Radiation Safety*. 2014;59(4):67–72. (In Russ).
2. International Commission on Radiological Protection [Internet]. ICRP, 1996. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3–4). Available from: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP+Publication+74>. Accessed: 15.04.2023.
3. International Atomic Energy Agency [Internet]. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. Interim edition. IAEA; 2011. 329 p.
4. International Atomic Energy Agency [Internet]. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. No. GSR Part 3. Vienna, IAEA; 2015. Available from: <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>. Accessed: 15.04.2023.
5. International Commission on Radiological Protection [Internet]. CRP, 2007. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4). Available from: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. Accessed: 15.04.2023.
6. International Commission on Radiological Protection [Internet]. ICRP statement on tissue reactions. Ref. 4825-3093-1464, April 21, 2011. Available from: <https://icrp.org/docs/2011%20Seoul.pdf>. Accessed: 15.04.2023.
7. International Commission on Radiological Protection [Internet]. Implications for occupational radiation protection of the new dose limit for the lens of the eye. Interim guidance for use and comment. Draft 1. ICRP; 2013. Available from: <https://www.iaea.org/publications/10628/implications-for-occupational-radiation-protection-of-the-new-dose-limit-for-the-lens-of-the-eye>. Accessed: 15.04.2023.
8. International Commission on Radiological Protection [Internet]. ICRP, 2012 ICRP statement on tissue reactions / early and late

effects of radiation in normal tissues and organs: threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2). Available from: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20118>. Accessed: 15.04.2023.

9. UNSCEAR 2010 Report [Internet]. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010. Summary of low-dose radiation effects on health. United Nations, New York; 2011. Available from: https://www.unscear.org/docs/reports/2010/UNSCEAR_2010_Report_M.pdf. Accessed: 15.04.2023.

10. Karpov NA, Okhrimenko SE, Ivanov SI, et al. Dose in the lens of the eye. In: All-Russian conference with international participation dedicated to the 85th anniversary of the birth V.A. Kuhtina: Collection of materials, 3–4 April. Cheboksary, 2014. P. 235–236. (In Russ).

11. Nuclear Energy Agency [Internet]. NEA Expert Group on the Dose Limit for the lens of the eye launches survey. nuclear energy agency [cite 2020 April 8]. Available from: https://oecd-nea.org/jcms/pl_40031/nea-expert-group-on-the-dose-limit-for-the-lens-of-the-eye-launches-survey. Accessed: 15.04.2023.

12. Okhrimenko SE, Korenkov IP, Shandala NK, et al. Dose assessment to the lens of the eye and skin of the personnel in advanced medical technologies. *Med Radiol Radiation Safety*. 2022;67(1):44–49. (In Russ).

13. Okhrimenko SE, Osipov AN, Korenkov IP, et al. Assessment of doses of irradiation of the skin of the hands in cardioendovascular surgery and the number of double-strand DNA breaks in the culture of skin fibroblasts on the phantom of the hands. In: Collection of abstracts of the All-Russian scientific and practical conference with international participation “Radiation hygiene and continuing professional education: New challenges and ways of development” dedicated to the 65th anniversary of the Department of Radiation Hygiene and Radiation Safety named after Academician F.G. Krotkov”, October 27, 2022. Moscow; 2022. P. 64–68. (In Russ).

14. Okhrimenko SE, Korenkov IP, Prokhorov NI, et al. Radiation-hygienic assessment of modern medical technologies. *Hygiene Sanitation*. 2020;99(9):939–946. (In Russ). doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-9-939-946
15. Shleenkova EN, Bazhin SY, Kaidanovsky GN, et al. The necessity of regular dose monitoring for the eye lens of the staff working with radiopharmaceuticals. *Radiation Hygiene*. 2021;14(3):101–111. (In Russ). doi: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-101-111
16. Wrzesień M. 18F-FDG production procedures as a source of eye lens exposure to radiation. *J Radiol*. 2018;(38):382–393. doi: 10.1088/1361-6498/aaa287
17. Wrzesień M. The effect of work system on the hand exposure of workers in 18F-FDG production centers. *Australasian Physical Engineering Sciences Med*. 2018;41(2):541–548. doi: 10.1007/s13246-018-0644-9
18. Okhrimenko SE, Korenkov IP, Yashkina EI, et al. Irradiation of the skin of the hands in interventional cardiac surgery (report). In: III National Congress with international participation “Sysin readings”, November 16–18, 2022. Moscow; 2022. (In Russ).
19. McParland BJ, Nosil J, Barry B. A survey of radiation exposure received by the staff at two cardiac catheterization laboratories. *Br J Radiol*. 1990;63(755):885–888. doi: 10.1259/0007-1285-63-755-885
20. Steffanino G, Rossetti V, Rubichini F, et al. Short communication: Staff dose reduction during coronary angiography using low framing speed. *Br J Radiol*. 1996;69(825):860–864. doi: 10.1259/0007-1285-69-825-860
21. Li IB, Kai M, Takano K, et al. Occupational exposure in pediatric cardiac cauterization. *Health Phys*. 1995;69(2):261–264. doi: 10.1097/00004032-199508000-00011
22. Medeiros RD, Mennucci TA. [Evolution of X-ray exposure dosage during coronary cineangiography. (In Portuguese)] *Arg Bras Cardiol*. 1990;55(1):31–33.
23. Karppinen J, Parviainen T, Servomaa A, Komppa T. Radiation risk and exposure of radiologists and patients during coronary angiography and percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA). *Radiation Protection Dosimetry*. 1995;57(1-4):481–484.
24. David EF, Andrew K, Christopher O, Sanjog P. The risk of radiation exposure to the eyes of the interventional pain. *Physician Radiol Res Practice*. 2011;2011:609537. doi: 10.1155/2011/609537
25. Vecchia ED, Modenese A, Loney T. Risk of cataract in health care workers exposed to ionizing radiation: A systematic review. *Med Lav*. 2020;111(4):269–284. doi: 10.23749/mdl.v111i4.9045
26. Morcillo AB, Alejo L, Huerga C, et al. Occupational doses to the eye lens in pediatric and adult noncardiac interventional radiology procedures. *Med Physics*. 2021;48(4):1956–1966. doi: 10.1002/mp.14753
27. Merrachi NA, Bouchard-Bellavance R, Perreault P. Eye lens dosimetry in interventional radiology: Assessment with dedicated Hp(3) dosimeters. *Can Assoc Radiol J*. 2021;72(2):317–323. doi: 10.1177/0846537120911755
28. Thrapsanioti Z, Askounis P, Datseris I, et al. Eye lens radiation exposure in Greek interventional cardiology article. *Radiation Protection Dosimetry*. 2017;175(3):344–356. doi: 10.1093/rpd/ncw356
29. Domienik-Andrzejewska J, Kałużny P, Piernik G. Occupational exposure to ionizing radiation and lens opacity in interventional cardiologists. *Int J Occupational Med Environmental Health*. 2019;32(5):663–675. doi: 10.13075/ijomeh.1896.01456
30. Kaydanovsky GN, Shleenkova EN. On problems of the lens of the eye radiation dose monitoring. *Radiation Hygiene*. 2016;9(3):75–80. (In Russ). doi: 10.21514/1998-426X-2016-9-3-75-80
31. Shleenkova EN, Golikov VY, Kaidanovsky GN, et al. Results of eye lens doses control of medical personnel in St. Petersburg. *Radiation Hygiene*. 2019;12(4):29–36. (In Russ). doi: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36
32. UPCommons. Global access to UPC knowledge [Internet]. Ginjaume M, Carnicer A. Oramed: Optimization of radiation protection of medical staff. 2012. EURADOS Report 2012-02. Available from: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/17229>. Accessed: 15.04.2023.
33. Vanhavere F, Carinou E, Domienik JL, et al. Measurements of eye lens doses in interventional radiology and cardiology: Final results of the ORAMED project. *Radiation Measurements*. 2011;46(11):1243–1244. doi: 10.1016/j.radmeas.2011.08.013
34. EUR-Lex [Internet]. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 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. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>. Accessed: 15.04.2023.
35. Azizova TV, Hamada N, Grigorieva ES, Bragin EV. Risk of various types of cataracts in the cohort of workers exposed to occupational chronic radiation. *Med Radiology Radiation Safety*. 2020;65(4):48–57. (In Russ). doi: 10.12737/1024-6177-2020-65-4-48-57
36. Mikryukova LD, Krestinina LY, Epiphanova SB. A study of layered lens change in the process of cataract formation in persons exposed to radiation as a result of radiation accidents in the Southern Urals. *Radiation Hygiene*. 2018;11(4):51–63. (In Russ). doi: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-51-63
37. Ryzhkin SA, Slesareva AN, Galeeva GZ, Ivanov SI. Clinical examination of the eyes functional status and assessment of equivalent dose to eye lens in medical staff performing endovascular interventions under X-ray guidance. *Radiation Risks*. 2017;26(3):90–99. (In Russ). doi: 10.21870/0131-3878-2017-26-3-90-99
38. Galeeva GZ, Ryzhkin SA, Sergeeva SU. The effect of ionizing radiation on a person and the organ of vision. *Practical Med*. 2016; 99(7): 37–41. (In Russ).
39. Ryzhkin SA, Galeeva GZ, Sergeeva SU. Radiation cataract in the light of modern research achievements in ophthalmology (review). *Bulletin Medical Institute REAVIZ: Rehabilitation Doctor Health*. 2016;24(4):37–42. (In Russ).

AUTHORS' INFO

*** Yuliya V. Druzhinina;**

address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-3230-3722;
eLibrary SPIN: 1973-2848;
e-mail: druzhininaYV2@zdrav.mos.ru

Sergey A. Ryzhkin;

ORCID: 0000-0003-2595-353X;
eLibrary SPIN: 5955-5712;
e-mail: rsa777@inbox.ru

Zoya A. Lantukh;

ORCID: 0000-0001-6623-9610;
eLibrary SPIN: 5486-6496;
e-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru

Ilya V. Soldatov;

ORCID: 0000-0002-4867-0746;
eLibrary SPIN: 4065-6048;
e-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru

Viktor N. Lesnyak;

ORCID: 0000-0002-2739-0649;
eLibrary SPIN: 5483-3113;
e-mail: lesnyak_kb83@mail.ru

Dmitriy P. Lebedev;

ORCID: 0000-0003-1551-3127;
eLibrary SPIN: 4770-5722;
e-mail: lebedevdp@gmail.com

Denis N. Samochatov;

ORCID: 0000-0002-5230-2006;
eLibrary SPIN: 3340-2715;
e-mail: dnsamochatov@gmail.com

Maria P. Semenova;

ORCID: 0000-0003-0904-0415;
eLibrary SPIN: 7205-0062;
e-mail: mps-fmbc@yandex.ru

Vitaly A. Sukhov;

ORCID: 0000-0003-2993-0108;
e-mail: cyxowv@gmail.com>

Sergey E. Okhrimenko;

ORCID: 0000-0002-8282-1798;
eLibrary SPIN: 6595-4011;
e-mail: ooniii@mail.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Дружинина Юлия Владимировна;**

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: 0000-0002-3230-3722;
eLibrary SPIN: 1973-2848;
e-mail: druzhininaYV2@zdrav.mos.ru

Рыжкин Сергей Александрович;

ORCID: 0000-0003-2595-353X;
eLibrary SPIN: 5955-5712;
e-mail: rsa777@inbox.ru

Лантух Зоя Александровна;

ORCID: 0000-0001-6623-9610;
eLibrary SPIN: 5486-6496;
e-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru

Солдатов Илья Владимирович;

ORCID: 0000-0002-4867-0746;
eLibrary SPIN: 4065-6048;
e-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru

Лесняк Виктор Николаевич;

ORCID: 0000-0002-2739-0649;
eLibrary SPIN: 5483-3113;
e-mail: lesnyak_kb83@mail.ru

Лебедев Дмитрий Петрович;

ORCID: 0000-0003-1551-3127;
eLibrary SPIN: 4770-5722;
e-mail: lebedevdp@gmail.com

Самочатов Денис Николаевич;

ORCID: 0000-0002-5230-2006;
eLibrary SPIN: 3340-2715;
e-mail: dnsamochatov@gmail.com

Семенова Мария Петровна;

ORCID: 0000-0003-0904-0415;
eLibrary SPIN: 7205-0062;
e-mail: mps-fmbc@yandex.ru

Сухов Виталий Александрович;

ORCID: 0000-0003-2993-0108;
e-mail: cyxowv@gmail.com>

Охрименко Сергей Евгеньевич;

ORCID: 0000-0002-8282-1798;
eLibrary SPIN: 6595-4011;
e-mail: ooniii@mail.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD284706>

Поражение сердца при COVID-19: вопросы патогенеза и диагностики

Д.А. Филатова¹, Е.А. Мершина^{1, 2}, В.Е. Синицын^{1, 2}¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет фундаментальной медицины, Москва, Российская Федерация² Медицинский научно-образовательный центр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Тема коронавирусной инфекции до настоящего времени не теряет своей актуальности в медицинской среде. Среди гетерогенных клинических проявлений этого заболевания выделяют поражение структур сердца, главным образом воспалительного характера. Помимо миокардита, при коронавирусной инфекции возможен целый спектр острых или отсроченных поражений сердца, в частности острый коронарный синдром, тромбозмимические события, сердечная недостаточность, нарушения ритма сердца. Известно, что прогноз для пациентов с поражением сердца значительно ухудшается. Своевременная постановка диагноза и начало лечения играют принципиально важную роль для предотвращения тяжёлых осложнений.

В обзоре приводятся современные литературные данные о патогенезе поражения сердца при COVID-19, обсуждаются вопросы рациональной диагностики данной патологии с помощью современных методик (лабораторных, функциональных, визуализирующих), в том числе инвазивных. Главную роль среди визуализирующих методов играет магнитно-резонансная томография сердца с контрастированием. В настоящее время признано, что диагностика миокардита, ассоциированного с коронавирусной инфекцией, имеет ряд принципиальных отличий от диагностики миокардита другой природы. Кроме того, отражены основные аспекты воспалительного поражения сердца, ассоциированного с вакцинацией против COVID-19, поскольку такое осложнение возникает чаще, чем принято считать. Нередко оно является поводом для отказа от вакцинации, что может повлечь за собой тяжёлые последствия как для отдельного человека, так и популяции в целом.

Ключевые слова: COVID-19; миокардит; острый коронарный синдром; нарушения ритма сердца; магнитно-резонансная томография; вакцинация.

Как цитировать

Филатова Д.А., Мершина Е.А., Синицын В.Е. Поражение сердца при COVID-19: вопросы патогенеза и диагностики // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 156–169. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD284706>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD284706>

COVID-19-related cardiac lesion: The questions of pathogenesis and diagnostics

Daria A. Filatova¹, Elena A. Mershina^{1, 2}, Valentin E. Sinitsyn^{1, 2}

¹ Faculty of Fundamental Medicine of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

² Medical Research and Education Center of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Coronavirus infection is still a topic of interest in the medical community today. Among the heterogeneous clinical manifestations of this disease, lesions of cardiac structures often occur. They are mainly inflammatory in nature and can be acute or delayed. Aside from myocarditis, coronavirus infection can induce cardiac injuries, including acute coronary syndrome, thromboembolic events, heart failure, and heart rhythm disturbances. It is well known that the prognosis for patients with cardiac lesions significantly worsens; timely diagnosis and treatment initiation play an important role in preventing severe complications. This review presents the most recent literature data on the pathogenesis of cardiac lesions in COVID-19 patients and discusses the rational diagnosis of this pathology using modern techniques, such as laboratory, functional imaging (cardiac magnetic resonance is the most important of these), and invasive ones. It is now established that diagnosing myocarditis caused by coronavirus infection differs fundamentally from diagnosing other types of myocarditis. Furthermore, the main aspects of inflammatory heart lesions associated with COVID-19 vaccination are discussed, as this complication occurs more frequently than is commonly believed. It is often used as a rationale for refusing vaccination; however, this decision may severely affect the individual and the population.

Keywords: acute coronary syndrome; COVID-19; heart rhythm disturbances; magnetic resonance imaging; myocarditis; vaccination.

To cite this article

Filatova DA, Mershina EA, Sinitsyn VE. COVID-19-related cardiac lesion: The questions of pathogenesis and diagnostics. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):156–169.
DOI: <https://doi.org/10.17816/DD284706>

Received: 25.02.2023

Accepted: 31.03.2023

Published: 14.04.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD284706>

COVID-19的心脏受损： 发病机制和诊断的问题（科学综述）

Daria A. Filatova¹, Elena A. Mershina^{1,2}, Valentin E. Sinitsyn^{1,2}

¹ Faculty of Fundamental Medicine of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

² Medical Research and Education Center of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

简评

冠状病毒感染仍然是医学界的一个热门话题。心脏结构受损从该病的异质性临床表现中脱颖而出，主要是炎性的。除心肌炎外，冠状病毒感染还可导致一系列急性或迟发性的心脏受损，如急性冠状动脉综合征、血栓栓塞性事件、心力衰竭和心律失常。众所周知，有心脏受损的病人的预后大幅度恶化。及时诊断和启动治疗对于严重并发症的预防至关重要。

本综述介绍了与COVID-19心脏受损发病机制有关的现代文献资料，讨论了利用现代技术（实验室、功能、影像学），包括侵入性技术，对这种病理进行合理诊断的问题。在影像技术中起主要作用的是心脏超影磁共振成像。现在专家认为，与冠状病毒感染有关的心肌炎诊断，与其他心肌炎诊断相比，有一些根本区别。此外，还反映了与COVID-19疫苗接种相关的炎症性心脏受损的主要方面，因为这种并发症的发生率比通常认为的高。它往往是不打疫苗的一个理由，这对个人和整个人群都会产生严重的后果。

关键词：COVID-19；心肌炎；急性冠状动脉综合征；心律失常；磁共振成像；疫苗接种。

引用本文：

Filatova DA, Mershina EA, Sinitsyn VE. COVID-19的心脏受损：发病机制和诊断的问题（科学综述）. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):156-169.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD284706>

收到: 25.02.2023

接受: 31.03.2023

发布日期: 14.04.2023

绪论

由SARS-CoV-2病毒引起的冠状病毒感染于2019年12月首次被发现。这种病毒感染在短时间内在全球迅速蔓延。该疾病的临床表现范围涵盖流感综合征的所有症状,包括咳嗽、寒热、乏力、呼吸困难、嗅觉丧失、味觉缺失和咽痛。这些症状可能发展为急性呼吸窘迫综合征和多器官衰竭。此外,心脏结构(主要是心肌)的急性受损也可能是该病的后果之一。许多研究表明了,高肌钙蛋白水平与冠状病毒感染患者的死亡率增加有关。及时准确地诊断这种疾病对患者的生存至关重要。但迄今为止,这种诊断仍是一项挑战。

本综述旨在批判性地总结COVID-19相关心肌炎的现代数据,以及研究其发病机制和鉴别诊断的主要方面。

集合了来自科学文章数据库PubMed的文章来撰写手稿。检索词为“COVID-19/SARS-CoV-2 and myocardit*”的句子组合。这些组合必须出现在文章的标题中。为此,[ti]被添加到检索标准中。作者只选择了全文文章:荟萃分析、系统综述和评论。这些条件是用适当的筛选器指定的。在上述表述中添加“and vaccin*”,以选择关于接种疫苗后引发的心肌炎的文献。其余检索参数与上述参数类似。

经过筛选后,126篇文章被纳入文献综述的初始样本,其中67篇文章讨论了冠状病毒疫苗接种的问题。

COVID-19的心脏受损

冠状病毒感染(COVID-19)是一种由SARS-CoV-2病毒引起的疾病。该病毒于2019年底在中国武汉市首次发现,并迅速蔓延到了世界各地,引起大流行。

该病的症状多种多样,可能包括寒热、咳嗽、呼吸困难、嗅觉丧失、味觉缺失、咽痛。最严重的并发症是急性呼吸窘迫综合征和多器官衰竭。临床表现还包括心脏结构(主要是心肌)的急性受损。据报道,约有20%的住院病人的特异性肌钙蛋白水平升高[1]。然而,这并不总是与心肌损伤的其他迹象相关。另一项研究中,对COVID-19患者住院后24小时内的肌钙蛋白I水平进行了检查。发现了36%的病例肌钙蛋白I水平升高。并且,即使是很小的心肌病损体积也会导致死亡率显著增加[2]。然而,COVID-19中心肌损伤的许多方面仍不清楚。

发病机制和临床表现

详细了解心脏受损的发病机制是一个至关重要的问题。这样才能及时治疗,避免严重后果,包括死亡。

迄今为止,SARS-CoV-2可渗透到心肌细胞并对其造成直接受损的理论越来越少得到证实。在

COVID-19患者中经常可以观察到伴发的淋巴细胞性心肌炎。但它的发生被归因于由细胞因子介导的全身炎症反应。一些研究[3-5]中,心肌活检显示了淋巴细胞浸润、间质水肿和局限性坏死病灶。但未发现细胞内病毒物质。D.Lindner等人[3]研究了COVID-19患者的尸检材料。这些患者没有暴发性心肌炎的临床表现。D.Lindner等人描述了COVID-19病原体在心肌中的存在。但COVID-19病原体主要不是存在于心肌细胞中,而是存在于浸润心肌组织的间质细胞和巨噬细胞中。病毒的存在与心肌增强单核浸润无关。没有发现心肌炎的组织学迹象(没有大量细胞浸润物或坏死区域的记录)[6]。其他作者也描述了类似的数据[7,8]。S.E.Fox等人[9]研究了10名死于COVID-19的非裔美国人的尸检结果。在他们的心肌中发现了单个细胞坏死,但没有发现明显的淋巴细胞性心肌炎。没有发现大面积的心肌细胞坏死。这表明了,心脏巨噬细胞中的病毒颗粒存在是病毒血症阶段或浸润的肺泡巨噬细胞向肺外组织迁移的结果。还有人指出,在炎症性心肌损伤(COVID-19患者尸检)的成因中,不能忽视药物治疗的潜在心脏毒性[10]。

病毒直接渗入心脏内皮细胞是心脏受损的另一种潜在机制。内皮受损会导致微血管功能失调,血管稳态转向血管收缩。这会导致器官和组织缺血、炎症和水肿以及血栓形成。SARS-CoV-2通过血管紧张素转换酶2型(ACE2)受体穿透内皮细胞,引起活跃的炎症。一些作者描述了弥漫性血管炎。SARS-CoV-2被认为是弥漫性血管炎的直接病因。据推测,由于微血管功能失调,内皮炎可能会引起具有COVID-19特征的多器官功能失调[11]。但这些数据仍然很少,需要进一步证实。

另一种观点认为,心脏受损可能是由于免疫系统过度激活,释放多种炎症介质造成的。“细胞因子风暴”一词经常被用来描述这种受损。由于血小板、中性粒细胞和炎症反应的其他成分激活,微循环和大循环通道的血管中出现血栓。这会导致血管闭塞和细胞死亡。COVID-19的血栓形成常见于动脉和静脉通道[12]。在一项观察性研究中,与没有发生心肌梗死的COVID-19患者相比,COVID-19和ST段抬高型心肌梗死患者的肌钙蛋白水平更高,血栓形成也更多[13]。没有冠状动脉闭塞迹象的急性冠状动脉综合征病例也很常见。因此,S.Bangalore等人的研究[14]中,对18例COVID-19和心电图ST段抬高的患者进行了研究。44%的患者被诊断为导致心肌梗死的急性冠状动脉血栓形成。56%的病例种发现了非冠状动脉心肌损伤。心肌炎的非特异性症状以及乏力、呼吸困难、心动过速和胸部不舒服等表现导致诊断困难。

在冠状病毒感染引起的炎性心肌损伤中,尤其值得注意的是暴发性心肌炎。在暴发性心肌炎中,左心室的收缩功能会迅速下降。通常,这种情况是在双侧肺受损的背景下发生的。可能发生心包积液,甚至导致心脏填塞。约有三分之一的

患者中会发生心源性休克。死亡率约为26%。据报道,接种冠状病毒感染疫苗后曾出现过单例暴发性心肌炎病例。但接种疫苗后,该病的病程较轻。研究表明了,罹患暴发性心肌炎的可能性并不取决于冠状病毒感染或接种疫苗,而主要取决于是否存在易感性[15]。

心律失常是心脏受损最危险的临床表现之一。这种疾病的实际发生率仍然未知。但有证据表明,在44.4%的病例中,心律失常是病人转入重症监护室的原因[16]。COVID-19中的心律失常可能是电解质失衡的结果,可能是原有心律紊乱的表现,也可能是心肌炎引起的[17]。各类病例所占的比例很难确定。根据G. Peretto等人数据[18],在78.7%的确诊心肌炎患者中观察到一种或另一种形式的心室节律紊乱。我们有理由相信,心律失常的病理生理学还取决于心肌损伤的阶段,因为急性心肌炎和已治愈的心肌炎患者的心律失常特征各不相同。

COVID-19导致心律失常的可能机制包括:心肌细胞直接受损,质膜完整性和电导率受到破坏;心包感染和大量水肿;周细胞感染导致的微血管病变引起的缺血;心肌纤维化导致的心律失常;促炎细胞因子的作用[19, 20]。后一种机制的基础是炎细胞因子,尤其是白细胞介素-6 (IL-6),使桥粒蛋白盘状球蛋白从心肌细胞膜上移位[21]。这可能会导致心律失常,因为人们认为,在细胞间的粘附力不足的情况下,会破坏细胞膜,并导致细胞死亡和随后的纤维化。桥粒蛋白表面表达减少被认为是心律失常性心肌病的主要机制之一[22]。有证据表明,COVID-19患者的血清IL-6浓度升高[23]。IL-6水平与患者病情的严重程度相关。因此,COVID-19可能会导致患者的心律紊乱。尤其是当患者有遗传倾向时。值得强调的是,前三种情况可能是在活动性心肌炎的情况下发生的。而后两种情况则可能发生在慢性或已治愈的心肌炎患者身上。

重要的是,冠状病毒感染易导致一组职业运动员患上心肌炎。这一点已被研究证实。反过来,心肌炎在运动员心脏性猝死的发病机制中也起着重要作用。运动负荷可能会引发危及生命的心律紊乱。运动负荷对免疫功能有影响。中等强度的运动可以改善免疫反应。相反,剧烈运动则会大大降低免疫反应[24]。急性心肌炎患者猝死的原因是心脏肌肉内膜受损。受影响的心肌是导致室性心律失常的基质。在慢性心肌炎中,心肌纤维化会在邻近区域形成re-entry点,从而导致室性心律失常。因此,现代指南建议在确诊心肌炎后的3到6个月内限制体力活动[25]。

冠状病毒感染后心肌梗死的病例已有描述。这种并发症的发生有几种可能的机制,包括病毒包膜糖蛋白与卟啉和血红蛋白 β 链结合,导致缺氧,进而因心肌需氧量和供氧量失衡而引起2型心肌梗死。也有人认为,与冠状病毒感染相关的促血栓形成状态也是心肌梗死的发病机理之一,这可能会导致与动脉粥样硬化斑块不稳定相关的

1型心肌梗死的发生[26]。尽管如此,有证据表明,与其他病因导致的重症肺炎住院患者相比,冠状病毒感染患者的易栓症水平较高,这表明其他机制也可能起作用[27]。

心力衰竭的发生通常是冠状病毒感染导致心脏受损的结果。可能的原因包括病毒对心肌的直接受损、炎性病变、供氧和需氧之间的失衡,以及斑块不稳定导致的动脉粥样硬化血栓形成增加。如果患者原有心脏病,临床表现会更严重,死亡率也会更高[28]。

在冠状病毒感染的罕见心脏表现中,心碎综合征的病例已被描述:肌钙蛋白、NT-proBNP (脑钠肽素) 升高,心电图出现T波倒置和ST段抬高,成像技术显示心肌中段和心尖出现气囊。重要的是,诱发Takotsubo心肌病的因素通常是导致儿茶酚胺释放的精神压力,这在大流行的情况下并不少见[17]。

图1总结了心脏结构受损的主要机制及其引起的临床表现。

诊断心肌炎, 包括COVID-19相关的心肌炎

在临床实践中,心肌炎的诊断是一项复杂的任务。2013年,欧洲心脏病学会(European Society of Cardiology, ESC)心肌和心包疾病工作组确定了心肌炎的推定和明确诊断标准。疑似心肌炎取决于临床表现(心脏部位疼痛)、心电图数据(ST段抬高)、实验室数据(如肌钙蛋白水平升高)和成像技术(超声心动图和磁共振成像(MRI)) [29]。俄罗斯心肌炎诊断临床指南也强调了后者的有效性[30]。

根据Lake Louise标准,磁共振成像是诊断心肌炎的重要方法。这些标准最初发布于2009年。当时的标准包括评估T2加权像(T2-WI)和短T1反转恢复序列上的信号高强度、非冠状动脉型造影剂的延迟聚集[31]。由于对上述特征进行定性评估的主观性,限制了使用原始Lake Louise标准的有效性,因此,2018年对该标准进行了修订,并辅以参数成像技术。这种成像技术允许对心肌T1和T2的区域和整体松弛时间以及细胞外容积(extracellular volume, ECV)进行定量估计。2018年的Lake Louise标准具有更高的灵敏度和特异性(分别为88%和96%) [32]。如果以下两类中每一类至少有一项标准存在,则可在MRI上确认心脏结构的炎性病变: T2-WI上的心肌水肿迹象(T2-WI上的心肌高密度或高T2值) [33]和T1-WI上的心肌损伤迹象(非缺血性延迟增强模式或高T1和/或ECV值) [34]。在只有一种标记物的情况下,如果有适当的临床和/或实验室表现,仍可考虑诊断为心肌炎性病变。然而,在这种情况下磁共振成像的特异性较低。额外的(但不是必须的)迹象是收缩功能障碍(表现为运动功能减退或动作不能)和心包炎迹象(表现为心包叶增强)。要记住,只有在临床怀疑有炎症心脏受损的情况下才可以使用这些标准,而不能将其作为无症状人群的筛查技术。此外,磁共振成像允许

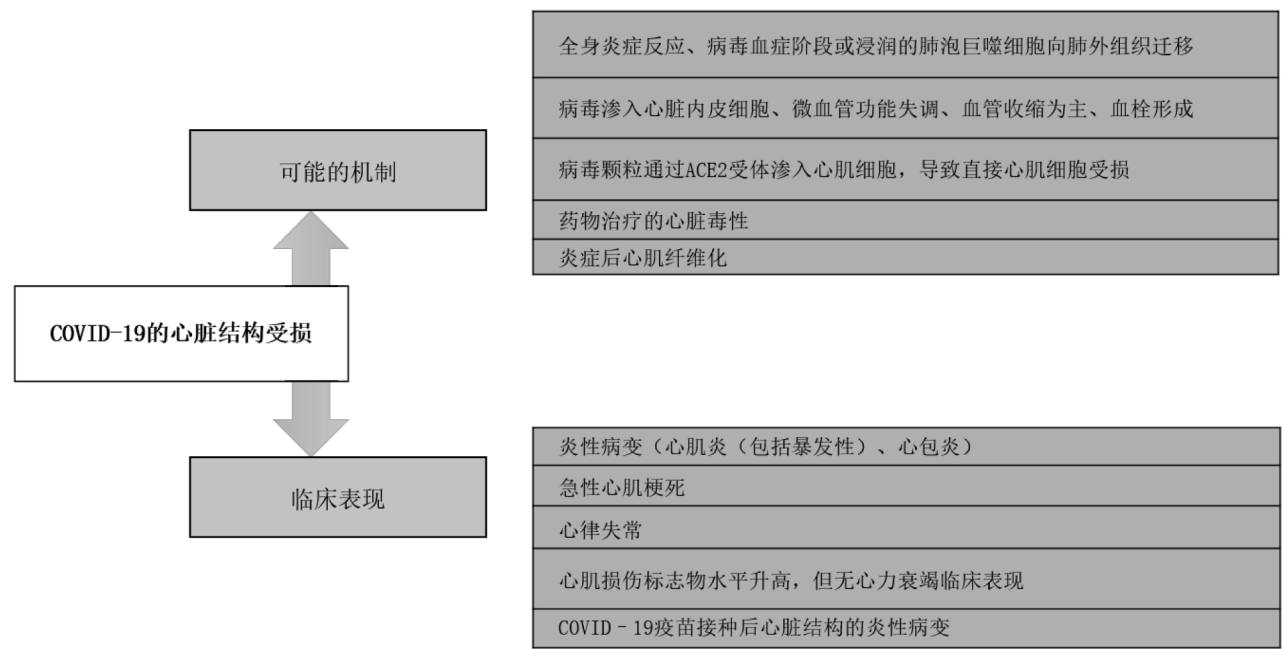


图1。冠状病毒导致的心脏结构受损的主要机制及其引起的临床表现。

发现伴有心肌炎的重要因素，如心肌病的迹象。这些合并症可能会使患者的预后恶化[35]。

诊断的一个重要方面是需要排除冠状动脉损伤。当临床表现不能排除冠状动脉疾病时，这一点尤为重要[36]。不过，即使排除了冠状动脉损伤，我们也不能明确指出临床症状是由心肌炎引起的。此外，还有许多非冠心病心肌损害的类型。患者的病情通常需要进行心内膜心肌活检。这也有助于确定病变的病因。但是，对于没有心力衰竭和/或心律失常威胁的患者来说，很少进行活检。活检是一项侵入性检查。活检过程中会面临许多挑战。根据美国心脏协会（American Heart Association, AHA）目前的临床指南，对于首次出现心力衰竭且血流动力学不稳定的患者来说，必须进行活组织检查，以排除巨细胞或嗜酸性粒细胞浸润的存在，这种病变需要特殊治疗；如果不进行治疗，预后通常不佳[37]。

根据达拉斯标准（Dallas, 1985年），心脏活检和尸检获得的心肌炎组织学数据被定义为心肌中与非缺血性心肌细胞变性或坏死相关的炎症浸润的组织学证据[38]。如果有淋巴细胞浸润且无坏死，则为活动性心肌炎。然而，在病毒性心肌炎的病例中，达拉斯标准并不总是有效：平均而言，在50%已证实存在病原体的此类病例中，心肌炎的标准并不存在[39]。最近，免疫组化特征也被纳入达拉斯标准。免疫组化特征允许将异常炎症浸润的存在考虑在内[36]。此外，还必须存在非缺血性心肌细胞变性和坏死的迹象。

在没有心肌细胞坏死的情况下，正常心肌也可能出现炎症浸润[40]。心肌炎主要由炎症浸润的性质（炎症细胞在肌细胞周围聚集，淋巴细胞多于巨噬细胞）和心肌坏死的存在决定。根据最

近的文献数据，将心肌炎分为感染性（存在实验室确证的病原体）和非感染性（不存在实验室确证的病原体）是有道理的。由于非感染性心肌炎的存在，人们对是否使用心肌活检来诊断心肌炎提出了质疑。目前，这种诊断方法不用于诊断心肌炎，包括与COVID-19相关的心肌炎；诊断的依据是间接征象，如超声心动图或磁共振成像的异常[41]。

一般来说，COVID-19的心肌炎诊断标准保持不变。不过，诊断的途径可能与其他病因引起的心肌炎有所不同。这主要是由于需要保护医护人员免受感染。

与COVID-19相关的心肌炎的诊断可能是通过一些实验室指标来确定的：通常可发现淋巴细胞减少（多达83%的病例），在侵袭性较强的病例中，炎症指标值（D-二聚体、铁蛋白、C反应蛋白）会升高[42]。肌钙蛋白水平升高表明可能的心肌损伤，并可能预示急性心肌炎。肌钙蛋白浓度高，同时炎症指标水平升高，表明存在高炎症状态和多器官功能衰竭[43]。此外，NT-proBNP水平升高可能预示着血流动力学负荷过重[44]。

心肌损伤的心电图指标物并不是心肌炎的病理标志：从窦性心动过速到ST段抬高和T波倒置等各种模式都有描述[44]。

无论是病情稳定还是不稳定的患者，如果临床怀疑患有心肌炎，超声心动图检查是首选的成像技术；但是，该方法在诊断心肌炎方面也有局限性：例如，心室功能失调可能由多种其他缺血性或非缺血性病因引起，并非心肌炎的特定症状；左心室分数正常也不能排除心肌炎的存在[45]。

一般来说，心肌肌钙蛋白水平升高可定义为心脏受损：文献报道，COVID-19患者中有18-28%出

现这种情况[28]。如上所述, COVID-19患者中很少发现心肌炎。一项对因COVID-19而死亡的患者心肌尸检的277份报告(22项研究)的大型综述显示了, 此类病例约占7.8%。然而, 与该疾病相关的其他组织病理学也是已知的: 12.6%的病例中发现了无心肌炎症状的炎症浸润, 13.7%的病例中发现了单个心肌细胞缺血性损伤, 4.7%的病例中发现了急性心肌梗死[46]。尸检时心肌炎的发生率较低, 这与文献中COVID-19康复患者磁共振成像心肌炎的发生率约60%形成鲜明对比。在一项对15名具有特征性症状的 COVID-19康复患者的研究中, 58%的病例在磁共振成像扫描中显示出心肌损伤(水肿、纤维化、心室功能失调)的迹象[47]。另一项设计类似的研究显示了, 78%的康复者在磁共振成像中发现心肌损伤迹象, 75%的病例肌钙蛋白水平升高[48]。这些研究表明了, 即使在康复一段时间后, 心脏受损并随后心室功能失调的风险依然存在。

目前, 心脏磁共振成像并不总能提供心肌炎的信息, 因为该方法的分辨率在这方面存在局限性。由于无法发现心肌细胞中的病毒, 因此不建议进行心肌活检。在这种情况下, 科学家们正在积极寻找诊断心肌炎的新方法。其中之一就是发现辅助性T细胞17产生的微小核糖核酸(microRNA)的方法。它们是急性期心肌损伤的积极参与者, 也是心肌炎和扩张型心肌病发展的结果因素。研究人员在小鼠模型上(使用了实验性自身免疫性心肌炎和病毒性心肌炎)已经发现了一种作为心肌炎标志物的新microRNA及其人类同源物。确定的是, 使用这种标记物可以区分心肌炎和心肌梗塞。然而, 问题仍然多于答案。例如, 目前还不清楚如何解释这种microRNA水平的更大变异性, 以及它是否反映患者病情的严重程度; 它是否能区分心肌炎和扩张型心肌病等病症[49]。在这一方面上的进一步研究将使我们能够开发出一种无创诊断心肌炎的技术。

要考虑到, 在以前的冠状病毒变种引起的流行病中, 要么没有发现心肌炎病例(在SARS中), 要么被分离出来(在MERS中)[50, 51]。由于心肌细胞表面ACE2受体表达有限, COVID-19病原体对心肌细胞的嗜性程度平均较低。这些数据和其他数据表明, COVID-19导致心肌损伤的直接原因可能是内皮细胞活化、细胞因子风暴、电解质失衡和其他可能的免疫机制[46]。此外, 还应考虑到, 如果心电图异常、肌钙蛋白阳性而冠状动脉正常, 则心碎综合征可能是心肌损伤的潜在原因之一[52]。还应将心肌炎与败血症相关心肌病和急性冠状动脉综合征(尤其是暴发性心肌炎)等疾病进行鉴别诊断。

COVID-19疫苗接种引起的心肌炎

由于目前还没有针对COVID-19的病因治疗方法, 疫苗接种仍是控制大流行的主要手段; 有

效的疫苗可显著降低死亡率。迄今为止, 全球公认的疫苗有: AstraZeneca/Oxford、Johnson and Johnson、Moderna、Pfizer/BioNTech、Sinopharm、Sinovac、Sputnik V。目前已开发出几种疫苗开发原则, 包括基于RNA和DNA的制剂(一种使用转基因RNA或DNA来产生可引起免疫反应的蛋白的方法)和基于运载体的制剂(使用一种不会致病但可作为产生冠状病毒蛋白质平台的安全病毒, 以引起免疫反应); 灭活疫苗(使用一种弱化的病毒来产生免疫反应); 基于蛋白的疫苗(使用模拟COVID-19病原体的安全蛋白或蛋白片段, 以产生免疫反应)。通过非复制重组腺病毒载体系统递送的DNA是 AstraZeneca/Oxford、Johnson and Johnson和Sputnik V疫苗的基础。Moderna和Pfizer/BioNTech疫苗的基础是mRNA技术和脂质纳米颗粒递送系统[53-56]。与基于mRNA的疫苗一样, 基于运载体的疫苗可刺激S蛋白SARS-CoV-2的产生, 而S蛋白是自然感染或接种疫苗产生的中和抗体的主要靶标。

在接种计划过程中, 偶尔会有文献报道疫苗的副作用。据认为, 在某些情况下, 这些反应可能会导致血小板聚集增强、血栓形成和炎症。一种潜在的机制可能是疫苗所针对的体细胞形成了游离循环的刺突蛋白, 这些蛋白能够与ACE2受体相互作用[57]。

据报道, 接种COVID-19疫苗后(大多发生在6小时至4天后)出现了心肌炎和心包炎病例[58, 59], 主要发生在接种基于mRNA的疫苗(Pfizer和Moderna)的人群中。以色列对接种Pfizer疫苗的人群进行了两项大型回顾性研究。其中一项研究在510多万名参与者中发现了136例心肌炎病例(第一剂疫苗接种21天后, 第二剂疫苗接种30天后); 95%的病例症状轻微, 一例病例死亡[60]。研究指出了, 这些症状最常发生在年轻男性身上。另一项同样在以色列进行的研究检查了250多万Pfizer疫苗接种者的记录, 发现心肌炎的发病率为十万分之2.3, 其中16至29岁的年轻男性发病率为十万分之10[61]。还有证据表明, COVID-19病原体感染者患心肌炎的总风险度是未感染者的18.28倍, 即患心肌炎的风险明显高于接种疫苗后(平均是未接种者的3.24倍)[62]。尽管上述所有研究中的心肌炎症状都出现在接种疫苗的时间附近, 且作者排除了其他可能的原因(即接种疫苗被认为是心肌炎的原因), 但这一现象的病理生理学仍不完全清楚。现有的假说认为这可能是由于非特异性炎症反应或分子模拟引起的抗体交叉反应所致, 这与患者在接受抗炎治疗后病情好转的事实相关[58]。

结论

COVID-19可导致很高的死亡率, 包括伴有心脏病的患者。然而, 人们对其发病机制仍知之甚

少。与SARS-CoV-2相关的心肌炎被认为是主要原因。然而，根据文献，在确诊冠状病毒感染患者的组织学研究中很少看到心肌炎性病变。病毒本身是很少在心脏组织中发现的，不是集中在心肌细胞中，而是集中在免疫细胞中。在心肌中发现的大多是非特异性炎症浸润。考虑到这些事实，心内膜心肌活检似乎不应被广泛用于COVID-19的心肌炎诊断。

接种疫苗（主要是基于mRNA的疫苗）也可能导致心肌炎性病变。这种并发症在年轻人中更为常见。大多数情况下症状较轻。疫苗接种导致心肌炎的这种发病率并不能成为避免接种疫苗的合理理由，对年轻人也是如此。

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shi S., Qin M., Shen B., et al. Association of cardiac injury with mortality in hospitalized patients with COVID-19 in Wuhan, China // *JAMA Cardiol.* 2020. Vol. 5, N 7. P. 802–810. doi: 10.1001/jamacardio.2020.0950
2. Lala A., Johnson K.W., Januzzi J.L., et al. Prevalence and impact of myocardial injury in patients hospitalized with COVID-19 infection // *J Am Coll Cardiol.* 2020. Vol. 76, N 5. P. 533–546. doi: 10.1016/j.jacc.2020.06.007
3. Lindner D., Fitzek A., Bräuninger H., et al. Association of cardiac infection with SARS-CoV-2 in confirmed COVID-19 autopsy cases // *JAMA Cardiol.* 2020. Vol. 5, N 11. P. 1–5. doi: 10.1001/jamacardio.2020.3551
4. Sala S., Peretto G., Gramegna M., et al. Acute myocarditis presenting as a reverse Tako-Tsubo syndrome in a patient with SARS-CoV-2 respiratory infection // *Eur Heart J.* 2020. Vol. 41, N 19. P. 1861–1862. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa286
5. Escher F., Pietsch G., Aleshcheva G., et al. Detection of viral SARS-CoV-2 genomes and histopathological changes in endomyocardial biopsies // *ESC Heart Fail.* 2020. Vol. 7, N 5. P. 2440–2447. doi: 10.1002/ehf2.12805
6. Tavazzi G., Pellegrini C., Maurelli M., et al. Myocardial localization of coronavirus in COVID-19 cardiogenic shock // *Eur J Heart Fail.* 2020. Vol. 22, N 5. P. 911–915. doi: 10.1002/ehf.1828
7. Wichmann D. Autopsy findings and venous thromboembolism in patients with COVID-19 // *Ann Intern Med.* 2020. Vol. 173, N 12. P. 1030. doi: 10.7326/L20-1206
8. Buja L.M., Wolf D.A., Zhao B., et al. The emerging spectrum of cardiopulmonary pathology of the coronavirus disease 2019 (COVID-19): Report of 3 autopsies from Houston, Texas, and review of autopsy findings from other United States cities // *Cardiovasc Pathol.* 2020. N 48. P. 107233. doi: 10.1016/j.carpath.2020.107233
9. Fox S.E., Akmatbekov A., Harbert J.L., et al. Pulmonary and cardiac pathology in African American patients with COVID-19: An autopsy series from New Orleans // *Lancet Respir Med.* 2020. Vol. 8, N 7. P. 681–686. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30243-5
10. Alijotas-Reig J., Esteve-Valverde E., Belizna C., et al. Immunomodulatory therapy for the management of severe COVID-19. Beyond the anti-viral therapy: A comprehensive review // *Autoimmun Rev.* 2020. Vol. 19, N 7. P. 102569. doi: 10.1016/j.autrev.2020.102569
11. Varga Z., Flammer A.J., Steiger P., et al. Endothelial cell infection and endotheliitis in COVID-19 // *Lancet Lond Engl.* 2020. Vol. 395, N 10234. P. 1417–1418. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30937-5
12. Bikdeli B., Madhavan M.V., Jimenez D., et al. COVID-19 and thrombotic or thromboembolic disease: Implications for prevention,

ADDITIONAL INFORMATION

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

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

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. D.A. Filatova — collection and processing of materials, writing the text of the manuscript; E.A. Mershina — concept and design of the work; V.E. Sinitsyn — concept and design of the work, approval of the final text of the manuscript.

antithrombotic therapy, and follow-up: JACC state-of-the-art review // *J Am Coll Cardiol.* 2020. Vol. 75, N 23. P. 2950–2973. doi: 10.1016/j.jacc.2020.04.031

13. Choudry F.A., Hamshire S.M., Rathod K.S., et al. High thrombus burden in patients with COVID-19 presenting with ST-segment elevation myocardial infarction // *J Am Coll Cardiol.* 2020. Vol. 76, N 10. P. 1168–1176. doi: 10.1016/j.jacc.2020.07.022

14. Bangalore S., Sharma D., Slotwiner A., et al. ST-Segment elevation in patients with Covid-19: A case series // *N Engl J Med.* 2020. Vol. 382, N 25. P. 2478–2480. doi: 10.1056/NEJMc2009020

15. Guglin M.E., Etuk A., Shah C., et al. Fulminant myocarditis and cardiogenic shock following COVID-19 infection versus COVID-19 vaccination: A systematic literature review // *J Clin Med.* 2023. Vol. 12, N 5. P. 1849. doi: 10.3390/jcm12051849

16. Wang D., Hu B., Hu C., et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China // *JAMA.* 2020. Vol. 323, N 11. P. 1061–1069. doi: 10.1001/jama.2020.1585

17. Siripanthong B., Nazarian S., Muser D., et al. Recognizing COVID-19-related myocarditis: The possible pathophysiology and proposed guideline for diagnosis and management // *Heart Rhythm.* 2020. Vol. 17, N 9. P. 1463–1471. doi: 10.1016/j.hrthm.2020.05.001

18. Peretto G., Sala S., Rizzo S., et al. Ventricular arrhythmias in myocarditis: Characterization and relationships with myocardial inflammation // *J Am Coll Cardiol.* 2020. Vol. 75, N 9. P. 1046–1057. doi: 10.1016/j.jacc.2020.01.036

19. Peretto G., Sala S., Rizzo S., et al. Arrhythmias in myocarditis: State of the art // *Heart Rhythm.* 2019. Vol. 16, N 5. P. 793–801. doi: 10.1016/j.hrthm.2018.11.024

20. Chen L., Li X., Chen M., et al. The ACE2 expression in human heart indicates new potential mechanism of heart injury among patients infected with SARS-CoV-2 // *Cardiovasc Res.* 2020. Vol. 116, N 6. P. 1097–1100P. doi: 10.1093/cvr/cvaa078

21. Asimaki A., Tandri H., Duffi E.R., et al. Altered desmosomal proteins in granulomatous myocarditis and potential pathogenic links to arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy // *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2011. Vol. 4, N 5. P. 743–752. doi: 10.1161/CIRCEP.111.964890

22. Gemayel C., Pelliccia A., Thompson P.D. Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy // *J Am Coll Cardiol.* 2001. Vol. 38, N 7. P. 1773–1781. doi: 10.1016/s0735-1097(01)01654-0

23. Coomes E.A., Haghighbayan H. Interleukin-6 in Covid-19: A systematic review and meta-analysis // *Rev Med Virol.* 2020. Vol. 30, N 6. P. 1–9. doi: 10.1002/rmv.2141
24. Modica G., Bianco M., Sollazzo F., et al. Myocarditis in athletes recovering from COVID-19: A systematic review and meta-analysis // *Int J Environ Res Public Health.* 2022. Vol. 19, N 7. P. 4279. doi: 10.3390/ijerph19074279
25. Eichhorn C., Biere L., Schnell F., et al. Myocarditis in athletes is a challenge: Diagnosis, risk stratification, and uncertainties // *JACC Cardiovasc Imaging.* 2020. Vol. 13, N 2, Pt. 1. P. 494–507. doi: 10.1016/j.jcmg.2019.01.039
26. Azevedo R.B., Botelho B.G., de Hollanda G., et al. Covid-19 and the cardiovascular system: A comprehensive review: 1 // *J Hum Hypertens.* 2021. Vol. 35, N 1. P. 4–11. doi: 10.1038/s41371-020-0387-4
27. Klok F.A., Kruip M.J., van der Meer H.J., et al. Incidence of thrombotic complications in critically ill ICU patients with COVID-19 // *Thromb Res.* 2020. N 191. P. 145–147. doi: 10.1016/j.thromres.2020.04.013
28. Guo T., Fan Y., Chen M., et al. Cardiovascular Implications of fatal outcomes of patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) // *JAMA Cardiol.* 2020. Vol. 5, N 7. P. 811–818. doi: 10.1001/jamacardio.2020.1017
29. Ларина О.М. Магнитно-резонансная томография сердца в диагностике острого миокардита: клинический случай и обзор литературы // *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2014. № 5. С. 54–59.
30. Арутюнов Г.Б., Палеев Ф.Н., Моисеева О.М. Миокардиты у взрослых. Клинические рекомендации 2020 // *Российский кардиологический журнал.* 2021. Т. 26, № 11. С. 47–90. doi: 10.15829/1560-4071-2021-4790
31. Friedrich M.G., Sechtem U., Schulz-Menger J., et al. Cardiovascular magnetic resonance in myocarditis: A JACC white paper // *J Am Coll Cardiol.* 2009. Vol. 53, N 17. P. 1475–1487. doi: 10.1016/j.jacc.2009.02.007
32. Tijmes S.F., Thavendiranathan P., Udell J.A., et al. Cardiac MRI assessment of nonischemic myocardial inflammation: State of the art review and update on myocarditis associated with COVID-19 vaccination // *Radiol Cardiothorac Imaging.* 2021. Vol. 3, N 6. P. e210252. doi: 10.1148/ryct.210252
33. Srichai M.B., Lim R.P., Lath N., et al. Diagnostic performance of dark-blood T2-weighted CMR for evaluation of acute myocardial injury // *Invest Radiol.* 2013. Vol. 48, N 1. P. 24–31. doi: 10.1097/RLI.0b013e3182718672
34. Galán-Arriola C., Lobo M., Vilchez-Tschischke J.P., et al. Serial magnetic resonance imaging to identify early stages of anthracycline-induced cardiotoxicity // *J Am Coll Cardiol.* 2019. Vol. 73, N 7. P. 779–791. doi: 10.1016/j.jacc.2018.11.046
35. Благова О.В., Павленко Е.В., Вариончик Н.В., и др. Миокардит как закономерный феномен у больных с первичным некомпактным миокардом: диагностика, лечение и влияние на исходы // *Российский кардиологический журнал.* 2018. N 2. С. 44–52. doi: 10.15829/1560-4071-2018-2-44-52
36. Caforio A.L., Pankuweit S., Arbustini E., et al. Current state of knowledge on aetiology, diagnosis, management, and therapy of myocarditis: A position statement of the European Society of Cardiology Working Group on Myocardial and Pericardial Diseases // *Eur Heart J.* 2013. Vol. 34, N 33. P. 2636–2648, 2648a–2648d. doi: 10.1093/eurheartj/ehd210
37. Cooper L.T., Baughman K.L., Feldman A.M., et al. The role of endomyocardial biopsy in the management of cardiovascular disease: A scientific statement from the American Heart Association, the American College of Cardiology, and the European Society of Cardiology // *Circulation.* 2007. Vol. 116, N 19. P. 2216–2233. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.186093
38. Aretz H.T. Myocarditis: The Dallas criteria // *Hum Pathol.* 1987. Vol. 18, N 6. P. 619–624. doi: 10.1016/s0046-8177(87)80363-5
39. Dennert R., Crijns H.J., Heymans S. Acute viral myocarditis // *Eur Heart J.* 2008. Vol. 29, N 17. P. 2073–2082. doi: 10.1093/eurheartj/ehn296
40. Zhang M., Tavora F., Zhang Y., et al. The role of focal myocardial inflammation in sudden unexpected cardiac and noncardiac deaths: A clinicopathological study // *Int J Legal Med.* 2013. Vol. 127, N 1. P. 131–138. doi: 10.1007/s00414-011-0634-x
41. Титов В.А., Игнатъева В.С., Митрофанова Л.Б. Сравнительное исследование информативности неинвазивных методов диагностики воспалительных заболеваний миокарда // *Российский кардиологический журнал.* 2018. Т. 23, N 2. С. 53–59.
42. Zhou F., Yu T., Fan R., et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: A retrospective cohort study // *Lancet Lond Engl.* 2020. Vol. 395, N 10229. P. 10541062. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30566-3
43. Mehta P., McAuley D.F., Brown M., et al. COVID-19: Consider cytokine storm syndromes and immunosuppression // *Lancet Lond Engl.* 2020. Vol. 395, N 10229. P. 1033–1034. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30628-0
44. Castiello T., Georgiopoulos G., Finocchiaro G., et al. COVID-19 and myocarditis: A systematic review and overview of current challenges // *Heart Fail Rev.* 2022. Vol. 27, N 1. P. 251–261. doi: 10.1007/s10741-021-10087-9
45. Mele D., Flamigni F., Rapezzi C., et al. Myocarditis in COVID-19 patients: Current problems // *Intern Emerg Med.* 2021. Vol. 16, N 5. P. 1123–1129. doi: 10.1007/s11739-021-02635-w
46. Halushka M.K., Vander Heide R.S. Myocarditis is rare in COVID-19 autopsies: Cardiovascular findings across 277 postmortem examinations // *Cardiovasc Pathol.* 2021. N 50. P. 107300. doi: 10.1016/j.carpath.2020.107300
47. Huang L., Zhao P., Tang D., et al. Cardiac involvement in patients recovered from COVID-2019 identified using magnetic resonance imaging // *JACC Cardiovasc Imaging.* 2020. Vol. 13, N 11. P. 2330–2339. doi: 10.1016/j.jcmg.2020.05.004
48. Puntmann V.O., Carerj M.L., Wieters I., et al. Outcomes of cardiovascular magnetic resonance imaging in patients recently recovered from coronavirus disease 2019 (COVID-19) // *JAMA Cardiol.* 2020. Vol. 5, N 11. P. 1265–1273. doi: 10.1001/jamacardio.2020.3557
49. Blanco-Domínguez R., Sánchez-Díaz R., de la Fuente H., et al. A novel circulating MicroRNA for the detection of acute myocarditis // *N Engl J Med.* 2021. Vol. 384, N 21. P. 2014–2027. doi: 10.1056/NEJMoa2003608
50. Tan L., Wang Q., Zhang D., et al. Lymphopenia predicts disease severity of COVID-19: A descriptive and predictive study // *Signal Transduct Target Ther.* 2020. Vol. 5, N 1. P. 33. doi: 10.1038/s41392-020-0148-4
51. Xu Z., Shi L., Zhang J., et al. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome // *Lancet Respir Med.* 2020. Vol. 8, N 4. P. 420–422. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30076-X
52. Kawakami R., Sakamoto A., Kawai K., et al. Pathological evidence for SARS-CoV-2 as a cause of myocarditis // *J Am Coll Cardiol.* 2021. Vol. 77, N 3. P. 314–325. doi: 10.1016/j.jacc.2020.11.031

53. Baden L.R., Sahly H.M., Essink B., et al. Efficacy and Safety of the mRNA-1273 SARS-CoV-2 Vaccine // *N Engl J Med*. 2021. Vol. 384, N 5. P. 403–416. doi: 10.1056/NEJMoa2035389

54. Logunov D.Y., Dolzhikova I.V., Shcheblyakov D.V., et al. Safety and efficacy of an rAd26 and rAd5 vector-based heterologous prime-boost COVID-19 vaccine: An interim analysis of a randomised controlled phase 3 trial in Russia // *Lancet*. 2021. Vol. 397, N 10275. P. 671–681. doi: 10.1016/S0140-6736(21)00234-8

55. Polack F.P., Thomas S.J., Kitchin N., et al. Safety and efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 vaccine // *N Engl J Med*. 2020. Vol. 383, N 27. P. 2603–2615. doi: 10.1056/NEJMoa2034577

56. Voysey M., Costa Clemens S.A., Madhi S.A., et al. Safety and efficacy of the ChAdOx1 nCoV-19 vaccine (AZD1222) against SARS-CoV-2: An interim analysis of four randomised controlled trials in Brazil, South Africa, and the UK // *Lancet*. 2021. Vol. 397, N 10269. P. 99–111. doi: 10.1016/S0140-6736(20)32661-1

57. Shiravi A.A., Ardekani A., Sheikhbahaei E., et al. Cardiovascular complications of SARS-CoV-2 vaccines: An overview // *Cardiol Ther*. 2021. Vol. 11, N 1. P. 13–21 doi: 10.1007/s40119-021-00248-0

58. Watad A., De Marco G., Mahajna H., et al. Immune-Mediated disease flares or new-onset disease in 27 subjects following mRNA/DNA SARS-CoV-2 Vaccination: 5 // *Vaccines*. 2021. Vol. 9, N 5. P. 435. doi: 10.3390/vaccines9050435

59. Albert E., Aurigemma G., Saucedo J., et al. Myocarditis following COVID-19 vaccination // *Radiol Case Rep*. 2021. Vol. 16, N 8. P. 2142–2145. doi: 10.1016/j.radcr.2021.05.033

60. Mevorach D., Anis E., Cedar N., et al. Myocarditis after BNT162b2 mRNA Vaccine against Covid-19 in Israel // *N Engl J Med*. 2021. Vol. 385, N 23. P. 2140–2149. doi: 10.1056/NEJMoa2109730

61. Witberg G., Barda N., Hoss S., et al. Myocarditis after Covid-19 vaccination in a large health care organization // *N Engl J Med*. 2021. Vol. 385, N 23. P. 2132–2139. doi: 10.1056/NEJMoa2110737

62. Barda N., Dagan N., Ben-Shlomo Y., et al. Safety of the BNT162b2 mRNA Covid-19 vaccine in a nationwide setting // *N Engl J Med*. 2021. Vol. 385, N 12. P. 1078–1090. doi: 10.1056/NEJMoa2110475

REFERENCES

1. Shi S, Qin M, Shen B, et al. Association of cardiac injury with mortality in hospitalized patients with COVID-19 in Wuhan, China. *JAMA Cardiol*. 2020;5(7):802–810. doi: 10.1001/jamacardio.2020.0950

2. Lala A, Johnson KW, Januzzi JL, et al. Prevalence and impact of myocardial injury in patients hospitalized with COVID-19 infection. *J Am Coll Cardiol*. 2020;76(5):533–546. doi: 10.1016/j.jacc.2020.06.007

3. Lindner D, Fitzek A, Bräuninger H, et al. Association of cardiac infection with SARS-CoV-2 in confirmed COVID-19 autopsy cases. *JAMA Cardiol*. 2020;5(11):1–5. doi: 10.1001/jamacardio.2020.3551

4. Sala S, Peretto G, Gramegna M, et al. Acute myocarditis presenting as a reverse Tako-Tsubo syndrome in a patient with SARS-CoV-2 respiratory infection. *Eur Heart J*. 2020;41(19):1861–1862. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa286

5. Escher F, Pietsch H, Aleshcheva G, et al. Detection of viral SARS-CoV-2 genomes and histopathological changes in endomyocardial biopsies. *ESC Heart Fail*. 2020;7(5):2440–2447. doi: 10.1002/ehf2.12805

6. Tavazzi G, Pellegrini C, Maurelli M, et al. Myocardial localization of coronavirus in COVID-19 cardiogenic shock. *Eur J Heart Fail*. 2020;22(5):911–915. doi: 10.1002/ejhf.1828

7. Wichmann D. Autopsy findings and venous thromboembolism in patients with COVID-19. *Ann Intern Med*. 2020;173(12):1030. doi: 10.7326/L20-1206

8. Buja LM, Wolf DA, Zhao B, et al. The emerging spectrum of cardiopulmonary pathology of the coronavirus disease 2019 (COVID-19): Report of 3 autopsies from Houston, Texas, and review of autopsy findings from other United States cities. *Cardiovasc Pathol*. 2020;48(4):107233. doi: 10.1016/j.carpath.2020.107233

9. Fox SE, Akmatbekov A, Harbert JL, et al. Pulmonary and cardiac pathology in African American patients with COVID-19: An autopsy series from New Orleans. *Lancet Respir Med*. 2020;10(7):681–686. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30243-5

10. Alijotas-Reig J, Esteve-Valverde E, Belizna C, et al. Immunomodulatory therapy for the management of severe COVID-19. Beyond the anti-viral therapy:

A comprehensive review. *Autoimmun Rev*. 2020;19(7):102569. doi: 10.1016/j.autrev.2020.102569

11. Varga Z, Flammer AJ, Steiger P, et al. Endothelial cell infection and endotheliitis in COVID-19. *Lancet Lond Engl*. 2020;395(10234):1417–1418. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30937-5

12. Bikdeli B, Madhavan MV, Jimenez D, et al. COVID-19 and thrombotic or thromboembolic disease: Implications for prevention, antithrombotic therapy, and follow-up: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol*. 2020;75(23):2950–2973. doi: 10.1016/j.jacc.2020.04.031

13. Choudry FA, Hamshire SM, Rathod KS, et al. High thrombus burden in patients with Covid-19 presenting with ST-segment elevation myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol*. 2020;76(10):1168–1176. doi: 10.1016/j.jacc.2020.07.022

14. Bangalore S, Hamshire SM, Rathod KS, et al. ST-Segment elevation in patients with Covid-19: A case series. *N Engl J Med*. 2020;382(25):2478–2480. doi: 10.1056/NEJMc2009020

15. Guglin ME, Etuk A, Shah C, et al. Fulminant myocarditis and cardiogenic shock following COVID-19 infection versus COVID-19 vaccination: A systematic literature review. *J Clin Med*. 2023;12(5):1849. doi: 10.3390/jcm12051849

16. Wang D, Hu B, Hu C, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*. 2020;323(11):1061–1069. doi: 10.1001/jama.2020.1585

17. Siripanthong B, Nazarian S, Muser D, et al. Recognizing COVID-19-related myocarditis: The possible pathophysiology and proposed guideline for diagnosis and management. *Heart Rhythm*. 2020;17(9):1463–1471. doi: 10.1016/j.hrthm.2020.05.001

18. Peretto G, Sala S, Rizzo S, et al. Ventricular arrhythmias in myocarditis: Characterization and relationships with myocardial inflammation. *J Am Coll Cardiol*. 2020;75(9):1046–1057. doi: 10.1016/j.jacc.2020.01.036

19. Peretto G, Sala S, Rizzo S, et al. Arrhythmias in myocarditis: State of the art. *Heart Rhythm*. 2019;16(5):793–801. doi: 10.1016/j.hrthm.2018.11.024

20. Chen L, Li X, Chen M, et al. The ACE2 expression in human heart indicates new potential mechanism of heart injury among patients

- infected with SARS-CoV-2. *Cardiovasc Res.* 2020;116(6):1097–1100. doi: 10.1093/cvr/cvaa078
21. Asimaki A, Tandri H, Duffy ER, et al. Altered desmosomal proteins in granulomatous myocarditis and potential pathogenic links to arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2011;4(5):743–752. doi: 10.1161/CIRCEP.111.964890
22. Gemayel C, Pelliccia A, Thompson PD. Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol.* 2001;38(7):1773–1781. doi: 10.1016/s0735-1097(01)01654-0
23. Coomes EA, Haghighyan H. Interleukin-6 in Covid-19: A systematic review and meta-analysis. *Rev Med Virol.* 2020;30(6):1–9. doi: 10.1002/rmv.2141
24. Modica G, Bianco M, Sollazzo F, et al. Myocarditis in athletes recovering from COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(7):4279. doi: 10.3390/ijerph19074279
25. Eichhorn C, Biere L, Schnell F, et al. Myocarditis in athletes is a challenge: Diagnosis, risk stratification, and uncertainties. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2020;13(2):494–507. doi: 10.1016/j.jcmg.2019.01.039
26. Azevedo RB, Botelho BG, de Hollanda G, et al. Covid-19 and the cardiovascular system: A comprehensive review. *J Hum Hypertens.* 2021;35(1):4–11. doi: 10.1038/s41371-020-0387-4
27. Klok FA, Kruip MJ, van der Meer HJ, et al. Incidence of thrombotic complications in critically ill ICU patients with COVID-19. *Thromb Res.* 2020;(191):145–147. doi: 10.1016/j.thromres.2020.04.013
28. Guo T, Fan Y, Chen M, et al. Cardiovascular implications of fatal outcomes of patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19). *JAMA Cardiol.* 2020;5(7):811–818. doi: 10.1001/jamacardio.2020.1017
29. Larina OM. Cardiac magnetic resonance imaging in the diagnosis of acute myocarditis: A clinical case and review of the literature. *Bulletin Radiol Radiol.* 2014;(5):54–59. (In Russ).
30. Arutyunov GB, Paleev FN, Moiseeva OM. Myocarditis in adults. Clinical recommendations 2020. *Russ Cardiol J.* 2021;26(11):4790. (In Russ). doi: 10.15829/1560-4071-2021-4790
31. Friedrich MG, Sechtem U, Schulz-Menger J, et al. Cardiovascular magnetic resonance in myocarditis: A JACC white paper. *J Am Coll Cardiol.* 2009;53(17):1475–1487. doi: 10.1016/j.jacc.2009.02.007
32. Tijmes SF, Thavendiranathan P, Udel J, et al. Cardiac MRI assessment of nonischemic myocardial inflammation: State of the art review and update on myocarditis associated with COVID-19. *Vaccination Radiol Cardiothorac Imaging.* 2021;3(6):e210252. doi: 10.1148/ryct.210252
33. Srichai MB, Lim RP, Lath N, et al. Diagnostic performance of dark-blood T2-weighted CMR for evaluation of acute myocardial injury. *Invest Radiol.* 2013;48(1):24–31. doi: 10.1097/RLI.0b013e3182718672
34. Galán-Arriola C, Lim RP, Lath N, et al. Serial magnetic resonance imaging to identify early stages of anthracycline-induced cardiotoxicity. *J Am Coll Cardiol.* 2019;73(7):779–791. doi: 10.1016/j.jacc.2018.11.046
35. Blagova OV, Pavlenko EV, Varionchik NV, et al. Myocarditis as a natural phenomenon in patients with primary non-compact myocardium: Diagnosis, treatment and impact on outcomes // *Russ J Cardiol.* 2018;(2):44–52. (In Russ). doi: 10.15829/1560-4071-2018-2-44-52
36. Caforio AL, Pankuweit S, Arbustini E, et al. Current state of knowledge on aetiology, diagnosis, management, and therapy of myocarditis: A position statement of the European Society of Cardiology Working Group on Myocardial and Pericardial Diseases. *Eur Heart J.* 2013;34(33):2636–2648, 2648a–2648d. doi: 10.1093/eurheartj/ehd210
37. Cooper LT, Baughman KL, Feldman AM, et al. The role of endomyocardial biopsy in the management of cardiovascular disease: A scientific statement from the American Heart Association, the American College of Cardiology, and the European Society of Cardiology. *Circulation.* 2007;116(19):2216–2233. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.186093
38. Aretz HT. Myocarditis: The Dallas criteria. *Hum Pathol.* 1987;18(6):619–624. doi: 10.1016/s0046-8177(87)80363-5
39. Dennert R, Crijns HJ, Heymans S. Acute viral myocarditis. *Eur Heart J.* 2008;29(17):2073–2082. doi: 10.1093/eurheartj/ehn296
40. Zhang M, Tavora F, Zhang Y, et al. The role of focal myocardial inflammation in sudden unexpected cardiac and noncardiac deaths: A clinicopathological study. *Int J Legal Med.* 2013;127(1):131–138. doi: 10.1007/s00414-011-0634-x
41. Titov VA, Ignatyeva VS, Mitrofanova LB. Comparative study of informativeness of noninvasive methods for diagnosis of myocardial inflammatory diseases. *Russ J Cardiol.* 2018;23(2):53–59. (In Russ).
42. Zhou F, Yu T, Du R, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: A retrospective cohort study. *Lancet Lond Engl.* 2020;395(10229):1054–1062. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30566-3
43. Mehta P, McAuley DF, Brown M, et al. COVID-19: Consider cytokine storm syndromes and immunosuppression. *Lancet Lond Engl.* 2020;395(10229):1033–1034. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30628-0
44. Castiello T, Georgiopoulos G, Finocchiaro G, et al. COVID-19 and myocarditis: A systematic review and overview of current challenges. *Heart Fail Rev.* 2022;27(1):251–261. doi: 10.1007/s10741-021-10087-9
45. Mele D, Flamigni F, Rapezzi C, et al. Myocarditis in COVID-19 patients: Current problems. *Intern Emerg Med.* 2021;16(5):1123–1129. doi: 10.1007/s11739-021-02635-w
46. Halushka MK, Vander Heide RS. Myocarditis is rare in COVID-19 autopsies: Cardiovascular findings across 277 postmortem examinations. *Cardiovasc Pathol.* 2021;(50):107300. doi: 10.1016/j.carpath.2020.107300
47. Huang L, Zhao P, Tang D, et al. Cardiac involvement in patients recovered from COVID-2019 identified using magnetic resonance imaging. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2020;13(11):2330–2339. doi: 10.1016/j.jcmg.2020.05.004
48. Puntmann VO, Carerj ML, Wieters I, et al. Outcomes of cardiovascular magnetic resonance imaging in patients recently recovered from coronavirus disease 2019 (COVID-19). *JAMA Cardiol.* 2020;5(11):1265–1273. doi: 10.1001/jamacardio.2020.3557
49. Blanco-Domínguez R, Sánchez-Díaz R, de la Fuente H, et al. A novel circulating MicroRNA for the detection of acute myocarditis. *N Engl J Med.* 2021;384(21):2014–2027. doi: 10.1056/NEJMoa2003608
50. Tan L, Wang Q, Zhang D, et al. Lymphopenia predicts disease severity of COVID-19: A descriptive and predictive study. *Signal Transduct Target Ther.* 2020;5(1):33. doi: 10.1038/s41392-020-0148-4
51. Xu Z, Shi L, Wang Y, et al. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome. *Lancet Respir Med.* 2020;8(4):420–422. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30076-X
52. Kawakami R, Sakamoto A, Kawai K, et al. Pathological evidence for SARS-CoV-2 as a cause of myocarditis. *J Am Coll Cardiol.* 2021;77(3):314–325. doi: 10.1016/j.jacc.2020.11.031
53. Baden LR, El Sahly HM, Essink B, et al. Efficacy and safety of the mRNA-1273 SARS-CoV-2 vaccine. *N Engl J Med.* 2021;384(5):403–416. doi: 10.1056/NEJMoa2035389

- 54.** Logunov DY, Dolzhikova IV, Shcheblyakov DV, et al. Safety and efficacy of an rAd26 and rAd5 vector-based heterologous prime-boost COVID-19 vaccine: An interim analysis of a randomised controlled phase 3 trial in Russia. *Lancet*. 2021;397(10275):671–681. doi: 10.1016/S0140-6736(21)00234-8
- 55.** Polack FP, Thomas SJ, Kitchin N, et al. Safety and efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 vaccine. *N Engl J Med*. 2020;383(27):2603–2615. doi: 10.1056/NEJMoa2034577
- 56.** Voysey M, Clemens SA, Madhi SA, et al. Safety and efficacy of the ChAdOx1 nCoV-19 vaccine (AZD1222) against SARS-CoV-2: An interim analysis of four randomised controlled trials in Brazil, South Africa, and the UK. *Lancet*. 2021;397(10269):99–111. doi: 10.1016/S0140-6736(20)32661-1
- 57.** Shiravi AA, Ardekani A, Sheikhabaei E, et al. Cardiovascular complications of SARS-CoV-2 vaccines: An overview. *Cardiol Ther*. 2021;11(1):13–21. doi: 10.1007/s40119-021-00248-0

- 58.** Watad A, De Marco G, Mahajna H, et al. Immune-Mediated disease flares or new-onset disease in 27 subjects following mRNA/DNA SARS-CoV-2 Vaccination: 5. *Vaccines*. 2021;9(5):435. doi: 10.3390/vaccines9050435
- 59.** Albert E, Aurigemma G, Saucedo J, et al. Myocarditis following COVID-19 vaccination. *Radiol Case Rep*. 2021;16(8):2142–2145. doi: 10.1016/j.radcr.2021.05.033
- 60.** Mevorach D, Anis E, Cedar N, et al. Myocarditis after BNT162b2 mRNA vaccine against Covid-19 in Israel. *N Engl J Med*. 2021;385(23):2140–2149. doi: 10.1056/NEJMoa2109730
- 61.** Witberg G, Barda N, Hoss S, et al. Myocarditis after Covid-19 vaccination in a large health care organization. *N Engl J Med*. 2021;385(23):2132–2139. doi: 10.1056/NEJMoa2110737
- 62.** Barda N, Dagan N, Ben-Shlomo Y, et al. Safety of the BNT162b2 mRNA Covid-19 vaccine in a nationwide setting. *N Engl J Med*. 2021;385(12):1078–1090. doi: 10.1056/NEJMoa2110475

AUTHORS' INFO

* Daria A. Filatova;

address: 27/10 Lomonosovsky prospekt, 119991 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-0894-1994;
eLibrary SPIN: 2665-5973;
e-mail: dariafilatova.msu@mail.ru

Elena A. Merzhina, MD, Cand. Sci. (Med), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-1266-4926;
eLibrary SPIN: 6897-9641;
e-mail: elena_mershina@mail.ru

Valentin E. Sinitsyn, MD, Dr. Sci. (Med), Professor;
ORCID: 0000-0002-5649-2193;
eLibrary SPIN: 8449-6590;
e-mail: vsini@mail.ru

ОБ АВТОРАХ

* Филатова Дарья Андреевна;

адрес: Россия, 119991, Москва, Ломоносовский пр-т, д. 27/10;
ORCID: 0000-0002-0894-1994;
eLibrary SPIN: 2665-5973;
e-mail: dariafilatova.msu@mail.ru

Мершина Елена Александровна, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-1266-4926;
eLibrary SPIN: 6897-9641;
e-mail: elena_mershina@mail.ru

Синицын Валентин Евгеньевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-5649-2193;
eLibrary SPIN: 8449-6590;
e-mail: vsini@mail.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

Оценка поглощённых доз в плоде у беременных при компьютерной томографии: систематический обзор

А.В. Водоватов¹, О.А. Гольченко², И.А. Машенко³, Д.В. Алексеева³,
Л.А. Чипига^{1, 3}, И.В. Хуторной⁴, П.В. Козлова³, Г.Е. Труфанов³, П.С. Дружинина¹,
С.А. Рыжов⁵, И.В. Солдатов⁵

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Городская поликлиника № 19, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

⁵ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Отсутствие в отечественной практике утверждённых методик расчёта и систематизированных данных в отношении доз облучения плода при рентгенорадиологических исследованиях у беременных затрудняет их практическое применение. Данная проблема особенно актуальна для компьютерной томографии как широко распространённого высокоинформативного метода лучевой диагностики, ассоциированного со значительными уровнями облучения пациентов.

Цель — систематизировать существующие данные о поглощённых дозах в плоде при проведении компьютерной томографии.

Материалы и методы. Проведены поиск и анализ публикаций на русском и английском языках. Поиск осуществлялся в системах PubMed/Medline, Google Scholar и eLibrary. В окончательный анализ включено 12 публикаций, в том числе 8 исследований с использованием антропоморфных фантомов, 3 ретроспективных и 1 проспективное клиническое исследование.

Результаты. Наиболее высокие значения поглощённых доз в плоде получены при проведении компьютерных сканирований брюшной полости и малого таза, а также сканировании всего тела. Во включённых в обзор публикациях не зафиксировано превышения предельно допустимой дозы облучения плода.

Заключение. При проведении однократных однофазных компьютерных сканирований у беременных превышение допустимого порога поглощённой дозы 100 мГр в плоде маловероятно независимо от зоны сканирования, что позволяет назначать исследование при наличии клинических показаний. Однако этот порог может быть превышен при многократных или многофазных исследованиях методом компьютерной томографии брюшной полости и малого таза, а также всего тела при травме. В таких случаях мультидисциплинарной командой специалистов по радиационной безопасности (врачи-рентгенологи и клинические специалисты) должна быть проведена дополнительная оценка рисков.

Ключевые слова: беременность; радиационный риск; доза облучения органов; диагностическая визуализация; риск для плода во время беременности; облучение; компьютерная томография; поглощённые дозы в плоде.

Как цитировать

Водоватов А.В., Гольченко О.А., Машенко И.А., Алексеева Д.В., Чипига Л.А., Хуторной И.В., Козлова П.В., Труфанов Г.Е., Дружинина П.С., Рыжов С.А., Солдатов И.В. Оценка поглощённых доз в плоде у беременных при компьютерной томографии: систематический обзор // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 170–184. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

Evaluation of fetal absorbed doses from computed tomography examinations of pregnant patients: A systematic review

Alexander V. Vodovатов¹, Olga A. Golchenko², Irina A. Mashchenko³,
Daria V. Alekseeva³, Larisa A. Chipiga^{1, 3}, Ivan V. Khutornoy⁴, Polina V. Kozlova³,
Gennady E. Trufanov³, Polina S. Druzhinina¹, Sergey A. Ryzhov⁵, Ilya V. Soldatov⁵

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Saint Petersburg, Russian Federation

² City polyclinic № 19, Saint Petersburg, Russian Federation

³ Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russian Federation

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

⁵ Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, no systematic data are available on fetal radiation exposure as a result of radiographic studies during pregnancy. Consequently, there are no approved methods of its calculation that can be used in clinical practice. It is especially relevant for computed tomography scans as it is a widely used and highly informative method of diagnostic imaging associated with high exposure levels.

AIM: to systematize currently available data on radiation dose absorbed by the fetus from computed tomography scans in pregnant women.

MATERIALS AND METHODS: The search for publications in Russian and English was conducted in PubMed/Medline, Google Scholar and eLibrary. The final analysis included 12 papers including 8 studies using human body phantoms, 3 retrospective studies and one prospective clinical study.

RESULTS: Abdominal and pelvic computed tomography scans as well as whole-body scans were found to be associated with the highest fetal radiation exposure. However, in none of the publications the fetal exposure limit was exceeded.

CONCLUSION: Clinically indicated non-contrast-enhanced computed tomography scans in pregnant women are not likely to be associated with the fetal absorbed doses that exceed the limit of 100 mGy regardless of the scanned area. However, this limit might be exceeded in case of performing multiple studies or if multiphase abdominal or pelvic computed tomography scans, or whole-body computed tomography scans are performed in patients with multiple trauma. In these cases, a decision regarding the need for these investigations should be made by a multi-disciplinary team (including radiation safety specialists, diagnostic radiologists and clinicians) based on the results of additional risk assessment.

Keywords: computed tomography scans; pregnancy; radiation risk; organ dose; diagnostic imaging; fetal absorbed dose; fetal risks pregnancy radiation.

To cite this article

Vodovатов AV, Golchenko OA, Mashchenko IA, Alekseeva DV, Chipiga LA, Khutornoy IV, Kozlova PV, Trufanov GE, Druzhinina PS, Ryzhov SA, Soldatov IV. Evaluation of fetal absorbed doses from computed tomography examinations of pregnant patients: a systematic review. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):170–184. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

Received: 05.06.2023

Accepted: 19.06.2023

Published: 27.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

当对孕妇进行电子计算机断层扫描时胎儿吸收剂量的评估：系统综述

Alexander V. Vodovатов¹, Olga A. Golchenko², Irina A. Mashchenko³,
Daria V. Alekseeva³, Larisa A. Chipiga^{1,3}, Ivan V. Khutornoy⁴, Polina V. Kozlova³,
Gennady E. Trufanov³, Polina S. Druzhinina¹, Sergey A. Ryzhov⁵, Ilya V. Soldatov⁵

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Saint Petersburg, Russian Federation

² City polyclinic № 19, Saint Petersburg, Russian Federation

³ Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russian Federation

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

⁵ Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

简评

论证。由于在国内实践中缺乏经批准的计算方法和关于当对孕妇进行X线放射检查时胎儿辐射剂量的系统化数据，因此在实践中很难应用这些检查方法。该问题对于电子计算机断层扫描来说尤其重要，因为虽然该这个问题对于电子计算机断层扫描是一种被广泛使用的、信息量大的放射诊断技术，但是与较高病人辐射剂量有关的。

该研究的目的是使现有的关于进行电子计算机断层扫描时胎儿吸收剂量的数据系统化。

材料和方法。对俄文和英文出版物进行了搜索和分析。在PubMed/Medline、Google Scholar和eLibrary系统中进行了搜索。最后的分析包括12份出版物，其中有8项使用拟人模型的研究、3项回顾性研究和1个前瞻性临床研究。

结果。当进行腹部、盆腔和全身电子计算机断层扫描时胎儿吸收的剂量最高。在审查所包括的出版物中，没有关于超过胎儿剂量限制的报告。

结论。无论扫描区域如何，对孕妇进行一次性单相电子计算机断层扫描的时候，超过胎儿吸收剂量限制（100 mGy）是不太可能的，因此，有需要的话，可以对孕妇进行这样的检查。然而，在进行腹部、盆腔或受伤全身的多次或多相电子计算机断层扫描的情况下，会超过这个阈值。在这种情况下，多科目辐射安全小组（放射科医生和临床专家）应该进行额外的风险评估。

关键词：怀孕；辐射风险；器官剂量；诊断成像；怀孕期间的胎儿风险；辐射剂量；电子计算机断层扫描；胎儿吸收的剂量。

引用本文：

Vodovатов AV, Golchenko OA, Mashchenko IA, Alekseeva DV, Chipiga LA, Khutornoy IV, Kozlova PV, Trufanov GE, Druzhinina PS, Ryzhov SA, Soldatov IV. 当对孕妇进行电子计算机断层扫描时胎儿吸收剂量的评估：系统综述. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):170–184. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD472150>

收到: 05.06.2023

接受: 19.06.2023

发布日期: 27.06.2023

论证

在怀孕期间安全使用放射诊断技术是放射科医生和其他专业医生的首要任务。直到20世纪中期,使用电离辐射源的医学成像技术被广泛用于产科的诊断和治疗,直到出现关于电离辐射对胎儿发育影响的实验和流行病学证据。随后,国际辐射防护委员会制定了一些关于对孕妇使用电离辐射源的规则[1]。

电离辐射的负面效应一般分为两类,即确定性的和随机性的。

确定性效应是指由于辐照超过阈值而造成的细胞的直接损害或死亡。这些效应的发生概率取决于辐射剂量和胎儿的胎龄。对胎儿的主要风险是内脏器官和中枢神经系统(神经紊乱和发育迟缓)的先天性畸形。决定性影响的严重程度与剂量和研究频率成正比。

胎儿对辐射的敏感性取决于胎龄。在器官发育期(胎龄的第5至17周,或受孕后的第3至15周)接触辐射是最危险的。在第二和第三孕期,胎儿对辐射的耐受性增加,但在第二和第三孕期,接受500 mGy以上的剂量也会导致不良影响,包括生长迟缓和畸形[2]。

根据目前的想法,胎儿吸收的剂量不会导致不利影响的阈值是100 mGy[3, 4]。根据国际专业团体(国际辐射防护委员会;美国国家辐射防护与测量委员会;美国放射学会;美国妇产科医师学会)数据,接受50 mGy以下剂量的胎儿中发生自然流产和严重畸形的风险是可以忽略的[3-6]。

随机性效应是指由辐照引起的个别细胞变化,这些变化有可能导致恶性肿瘤。随机性效应没有阈值,关于其发生的风险程度的数据是不明确的[7]。根据美国放射学会的实践指南,除背景发病率外,20 mGy的胎儿吸收剂量对应的癌症风险为1/125[6]。根据国际放射防护委员会的数据,胎儿吸收剂量为30 mGy时,胎儿癌症的风险更低,为1/500。在国内的实践中,还没有进行特殊的研究来评估医疗照射中对胎儿的辐射癌症和遗传影响的风险[8]。

医学成像技术的改进使其在一些危及生命病症的鉴别诊断中的应用越来越多,这就需要对其在孕妇中的使用安全性进行评估。评估医学影像技术在孕妇中的使用安全性的最可靠方法是胎儿辐射量的定量评估。同时,应该专注在如下病理状态上:PTE(肺血栓栓塞症)、主动脉夹层、多发性创伤、尿石症、急性阑尾炎和新型冠状病毒COVID-19感染的肺损伤诊断[9-12]。因为在发生这些病理状态的情况下孕妇最常接受放射检查。

对于孕妇来书,选择成像方式的一个决定性因素是对胎儿的检查安全性[6]。为了减少可能的不利影响的风险,应该采用对孕妇进行辐射防护的建议。不幸的是,目前国内的实践中还缺乏这样的指南。并且,还缺乏关于使用各种医学成像技术所产生的胎儿辐射剂量的国内数据[8]。作者进行了一次系统综述,以总结和分析关于目

前最高剂量的放射治疗技术(电子计算机断层扫描——CT)中的胎儿辐射量数据。

材料和方法

研究设计

根据PRISMA报告标准(2009)进行的系统综述。

文献检索

文献检索来自Pubmed/Medline、Google Scholar和eLibrary书目数据库的科学出版物被作为研究材料。此外,还查阅了现有的国外和国内关于对孕妇进行放射检查的指南。

关键词: CT, pregnancy (怀孕), radiation risk (辐射风险), organ dose (器官剂量), diagnostic imaging (诊断成像), fetal risks pregnancy radiation (怀孕期间接受辐射的胎儿风险), компьютерная томография (电子计算机断层扫描), поглощённые дозы в плоде (胎儿吸收的剂量)。

在对数据库进行了关键词搜索后,排除了重复的结果。对所选文章进行了文本内容分析,包括出版年份、研究设计、目的、研究法和结果等参数,这有助于排除关于非电离辐射治疗技术的出版物。那些没有测量胎儿和子宫吸收剂量的文章及关于接受放射治疗和X射线透视检查时的剂量评估的研究都被排除在系统综述的结果之外。因此,系统综述的最终结果中包括了12份出版物。

图1给出研究设计。

需要评估的参数

在系统综述中,根据以下参数对选定的出版物进行了评估:胎儿/胚胎吸收剂量、怀孕期、病理状态、检查的解剖部位、吸收剂量评估方法和调查的孕妇CT病例数。

系统综述结果的评估包括临床研究的数据和使用拟人模型的实验工作。

结果

使用“CT radiation risk in pregnancy”(怀孕期CT辐射风险)、“fetal absorbed doses from diagnostic imaging”(诊断成像的胎儿吸收剂量)、“CT fetal dosimetry”(CT胎儿剂量学)、“оценка доз облучения плода при КТ”(胎儿CT辐射剂量评估)等搜索词,从Pubmed/Medline、Google Scholar、eLibrary书目数据库中共检索到837篇在2007年至2022年期间发布的文献资料。经过重复出版物的初步分析和排除,12项英文和俄文的研究被纳入综述,包括8项使用拟人模型的研究,3项回顾性临床研究和1项前瞻性临床研究。每项研究都根据研究类型和种类、测量方法和吸收剂量的计算等参数进行评估。表1-7给出这些研究的摘要信息。

吸收剂量的测量和计算

测量是通过热释光剂量学（thermoluminescent dosimeter, TLD）或MOS晶体管剂量学（metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, MOSFET）进行的。在这8项研究中，有2项使用了虚拟模型技术，其中包括对吸收剂量进行数学建模。

吸收剂量是根据测量结果或使用专用软件（IMPACT MC, CT EXPO, NCICT 3.0, Virtual dose CT）评估的，这些软件被用于评估辐射敏感的器官和组织的吸收剂量。

4项临床研究中的2项的吸收剂量是使用专用ImPACT计算程序计算的，另外两项研究没有给出计算方法的信息。

拟人模型中模拟的怀孕期从5周到40周不等。在8项研究中的5项中，扫描长度为32 cm，这相当于标准模型的长度。在4项研究中，另外使用了减少扫描长度的程序，在3项研究中，使用了增加扫描长度的程序。

对比分析

根据扫描的解剖部位（胸部、腹部和盆腔内的器官，以及创伤的全身研究），胎儿吸收的剂量分为几组，是在这些组中比较的（见表5-7）。

考虑到所提供的模型研究数据，为了确定按照胎龄吸收剂量和扫描区域变化的一般规律，合并了两对研究的结果，即A. V. Vodovotov等人[8]和J. Gu等人[13]，A. Kellaranta等人[14]和

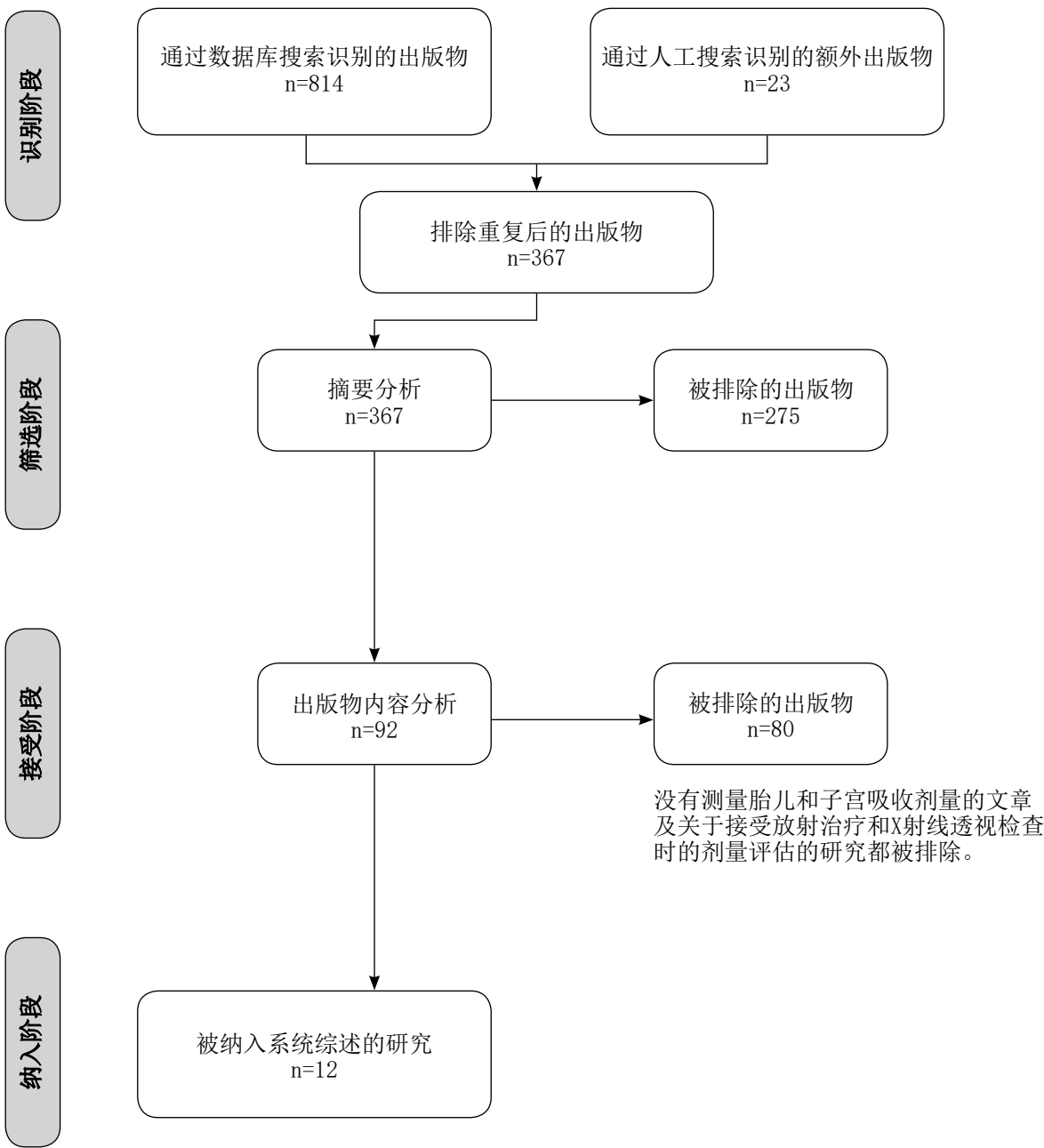


图1。PRISMA声明中的研究设计。

表1. 使用拟人模型的研究特点

文献资料	测量剂量的方法	吸收剂量的计算
Angel等人，2008年[15]	不详	ImPACT; MC; CT Expo
Begano等人，2020年[33]	TLD	VirtualDose CT
Doshi等人，2008年[36]	TLD	根据TLD的测量结果
Kelaranta等人，2017年[14]	MOSFET	ImPACT MC
Vodovатов等人，2021年[8]	不详	NCICT3.0
Gilet等人，2011年[37]	TLD	根据TLD测量的结果
Gu等人，2009年[13]	MOSFET	MCNPX 根据MOSFET测量的结果
Jaffe等人，2008年[26]	MOSFET	根据MOSFET测量的结果

注：TLD（thermoluminescent dosimeter）是指热释光剂量学；MOSFET（metal-oxide-semiconductor field-effect transistor）是指MOS晶体管剂量学。

表2. 临床研究的特点

文章	研究类型	吸收剂量的计算
Lazarus等人，2009年[29]	回顾性临床研究	不详
Goldberg-Stein等人，2011年[16]	回顾性临床研究	ImPACT
Litmanovich等人，2009年[32]	前瞻性临床研究	ImPACT
Lazarus等人，2007年[30]	回顾性临床研究	不详

表3. 拟人模型的电子计算机断层扫描协议书

文献资料	CT探测器	电压， kV	曝光， mA	节距因数	怀孕期，周	扫描长度， cm
Angel等人，2008年[15]	LightSpeed 16, GE	120	100 - 300	1.375	5 - 36	46.2
Begano等人，2020年[33]	Definition Flash CT (Siemens Healthineers, Germany)	120	85	1.5	28 - 38	32 cm——标准程序； 22 cm——短程序
Doshi等人，2008年[36]	Siemens Sensation 16 Siemens Somatom Emotion / Marconi MX8000	100 - 130	125 - 250	1.25	35 - 40	32 cm——标准程序； 27 cm——短程
Gilet等人，2011年[37]	LightSpeed 4 LightSpeed 16 LightSpeed 64 VCT, GE Healthcare	120	100 - 500	1.375 - 1.5	5, 10, 18, 32	32
Gu等人，2013年[13]	LightSpeed 16 GE-MDCT	80 - 140	100	1.375	15, 20, 31	22 cm——胸部； 36 cm——腹部
Kelaranta等人，2017年[14]	LightSpeed 64-MDCT GE Ingenuity 128, Philips	100 - 120	100 - 300	1.375	12, 20, 28, 38	27 cm——胸部； 32 cm——腹部 94 cm——损伤
Vodovатов等人，2021年[8]	Somatom Definition AS, Siemens Somatom Scope, Siemens Emotion 16, Siemens	100 - 130	60 - 142	1.048 - 1.5	8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 38	33
Jaffe等人，2008年[26]	通用电气LightSpeed 16-MDCT	140	300 - 380	0.9 - 1.75	5	32

表4. 怀孕患者的电子计算机断层扫描协议书

文献资料	CT探测器	电压, kV	曝光, mA	节距因数	怀孕期, 周	检查去 (解剖标志物)
Lazarus等人, 2007年[30]	Either single-detector row scanner (CTI GE Healthcare, Waukesha, WI), 4 MDCT Lightspeed; GE Healthcare) 16-MDCT Somatom; Siemens, Malvern	140	-	-	5 - 40	腹部
Lazarus等人, 2009年[29]	-	-	-	-	-	头部 胸部 腹部和小骨盆
Litmanovich等人, 2009年[32]	64-MDCT LightSpeed VCT	100	200	0.984	5 - 36	胸部 从主动脉弓到膈肌圆顶 19.846±2.98 cm
Goldberg-Stein等人, 2011年[16]	LightSpeed Plus, LightSpeed 16 Pro, LightSpeed Qx/I, HighSpeed RP, HighSpeed CT/GE Healthcare)	120 - 140	180 - 716	0.9 - 1.5	5 - 36	腹部和小骨盆

表5. 关于胸部CT扫描的胎儿吸收剂量评估的系统化数据

文献资料	体积CTDI, mGy	DLP, mGy×cm	怀孕期, 周	胎儿吸收的剂 量, 平均值, mGy	子宫内吸收的剂 量, 平均值, mGy
在模型研究中					
Kellaranta等人, 2017年 [14]	1.34 - 1.97	476.63 - 582.22	12	0.03	0.04
			20	0.08	0.09
			28	0.14	0.29
			38	0.22	1.13
Doshi等人, 2008年[36]	-	-	35 - 40	0.23	-
Begano等人, 2020年[33]	1.5 - 4.0	44 - 137	28 - 38	0.02 - 0.12	-
Gilet等人, 2011年[37]	-	-	5 - 32	0.33 - 0.77	-
Gu等人, 2013年[13]	8.1 - 14.7	-	15	0.13	0.17
			20	0.21	0.33
			31	0.26	0.37
			8	0.09	0.09
			10	0.10	0.10
			15	0.08	0.07
Vodovatov等人, 2021年 [8]	5.6 - 9.3	185 - 306	20	0.13	0.09
			25	0.12	0.11
			30	0.16	0.15
			35	0.39	0.33
			38	0.52	0.64
在临床研究中					
Litmanovich等人, 2009年[32]	5.21	105.65	5 - 38	0.02	-
Lazarus等人, 2009年[29]	-	-	I, II, III 三个月	0.22	-

注: CTDI (computed tomography dose index) ——电子计算机断层扫描剂量指数; DLP (dose length product) ——剂量长度乘积。

表6. 关于腹部和盆腔内CT扫描的胎儿吸收剂量评估的系统化数据

文献资料	体积CTDI, mGy	DLP, mGy×cm	怀孕期, 周	胎儿吸收的剂 量, 平均值, mGy	子宫内吸收的剂 量, 平均值, mGy
在模型研究中					
Kelaranta等人, 2017年[14]	2.63 – 3.91	102.34 – 151.86	12	4.7	5.1
			20	5.5	5.8
			28	4.8	4.9
			38	4.8	5.1
			5	–	–
Angel等人, 2008年[15]	–	–	12	14.2	11.8
			15	11.2	
			20	8.5	
			25	12.3	
			30	9.7	
Gu等人, 2013年[13]	–	–	35	10.4	–
Gilet等人, 2011年[37]	–	–	15	6.9	–
在临床研究中					
Lazarus等人, 2009年[29]	–	–	I, II, III 三个月	17.1	–
Lazarus等人, 2007年[30]	–	–	5 – 40	16	–
Goldberg-Stein等 人, 2011年[16]	–	–	5 – 36	24.8	–

注: CTDI (computed tomography dose index) ——电子计算机断层扫描剂量指数; DLP (dose length product) ——剂量长度乘积。

表7. 电子计算机断层扫描的胎儿吸收剂量评估的系统化数据, 模型研究中的损伤

文献资料	CTDI, mGy	DLP, mGy×cm	怀孕期, 周数	胎儿吸收的剂 量, 平均值, mGy	子宫内吸收的剂 量, 平均值, mGy
Kelaranta等人, 2017年[14]	4.74 – 5.79	45.18 – 66.52	12	10.6	11.3
			20	11.2	12.6
			28	10.1	10.3
			38	9.9	10.7
Jaffe等人, 2008年[26]	6.55 – 26.02	–	5	18.0	–

E. Angel等人[15]。这些研究中的胎龄和扫描区域具有可比性: A. V. Vodovatov和J. Gu的研究中的胸部, A. Kelaranta和E. Angel的研究中的腹部和小骨盆, 以及类似的扫描技术参数(如曝光、节距因数和电压)都有说明。上述数据的可比性使我们有可能将这些研究中的结果结合起来, 以进行对比分析。图2给出对比分析的结果。值得注意的是, 胸部扫描中胎儿吸收的剂量明显低于腹部扫描中的。此外, 随着胎龄的增加, 胎儿吸收的剂量有轻微下降的趋势。为了证实上述的规律, 需要进行进一步研究, 并提高统计能力。

最后, 可以肯定地说, 指南[3, 5]中提出的100 mGy的胎儿吸收剂量限值明显高于模型研究中观察到的胎儿辐射水平。此外, 考虑到可能的随机性效应, 20和30 mGy[5, 6]的数值在单相CT检查中也是无法实现的。

值得注意的是, 在系统综述所包括的临床研究中(除了S. Goldberg-Stein等人的研究[16]),

胎儿吸收的剂量值也没有超过上述的20–100 mGy的范围。对上述的S. Goldberg-Stein等人[16]的研究而言, 扫描参数是过高的(达到140 kV, 达到815 mAs), 这导致胎儿吸收剂量过高, 并考虑到了多相和多次检查(是在出版物正文中指出的)。

对比分析的结果允许放射科医生有临床指征时对孕妇进行单层单相CT检查, 而不必过分担心。如果需要重复扫描, 则需要进行额外的风险评估。

讨论

提供孕妇辐射安全性的基本方法与其他人群类似。当不能选择超声检查和磁共振成像作为诊断方式时, 使用电离辐射的诊断方式的指导原则是只对生命体征进行这种诊断方式, 并尽可能减少辐射剂量[17]。与病理诊断有关的危及生命的

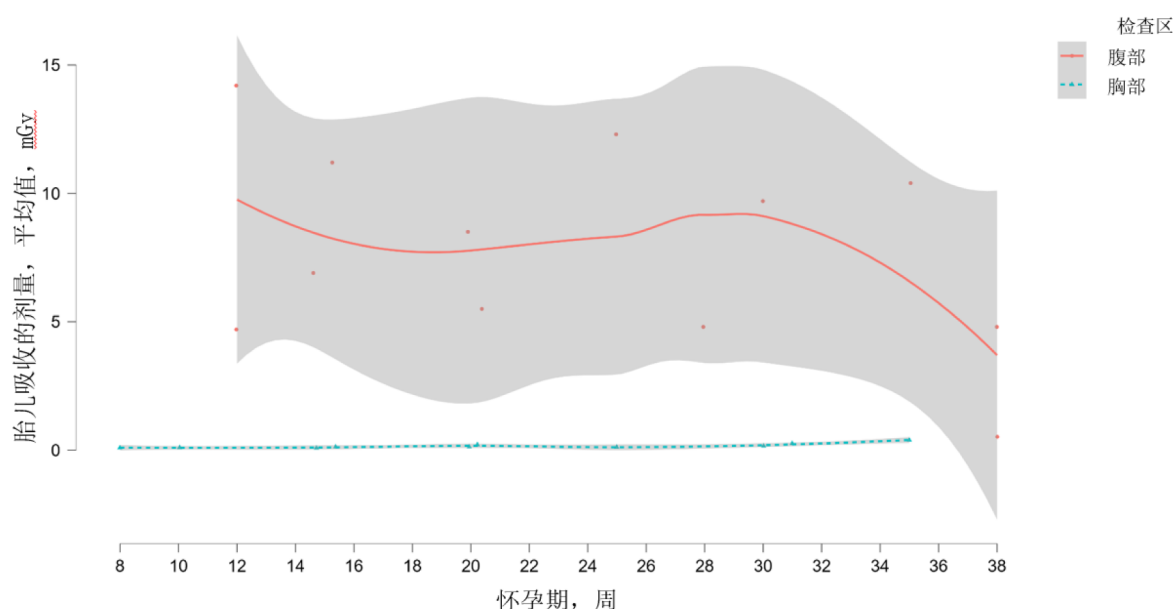


图2. 胸部器官检查（在A. V. Vodovotov[8]和J. Gu[13] 指导下的研究）和腹部器官检查（在A. Kellaranta[14]和E. Angel[15] 指导下的研究）的胎儿剂量测定结果汇总，以及LOESS回归线模拟和95%置信区间。

并发症的发生概率应大于诊断技术的潜在不利影响。在临床护理标准中应涉及到某一成像方式的使用，并对其在既定或疑似诊断中的使用提出建议。

为了遵循安全使用电离诊断技术的原则，在检查过程中必须监测胎儿的吸收剂量水平，并尽可能避免重复检查[18]。

在电离辐射诊断方法中，CT的信息量最大。CT检查不可否认的优势（即检查时间短，信息量大）使其成为诊断需要立即治疗的危及生命的病症的最佳方法[19, 20]。根据指征和诊断目标，CT检查时可以进行原位检测或造影剂增强检查。对孕妇的原位检测可被用于诊断炎症性肺部疾病、尿石症、各种损伤等[21, 22]。造影剂检查在肿瘤、炎症变化的鉴别诊断及CT血管造影中是必要的，CT血管造影被用于诊断血栓形成、血管壁损伤和评估特定结构的血液供应[19, 23]。对于怀孕的病人来说，建议将检查限制在这些选项中的一个。如果有必要进行造影剂增强CT检查，建议排除原位检测，这样可以减少检查时间和辐射剂量。

在对怀孕病人进行使用X射线放射学技术的检查下，应该对胎儿吸收的剂量进行评估[24]。由于这个问题的队列研究有限，现在广泛使用物理（拟人）或数字模型[25]。然而，使用人体模拟器的模型研究有一定的局限性。这主要在于模型的大小与真实病人的大小之间的差异。如果病人的身体参数比正在使用的模型大，那么病人吸收的剂量就会过高，反之，如果病人比模型小，剂量就会过低[25]。然而，将模型研究作为实验方向是合理的，因为吸收剂量更详细，而且是针对怀孕的每一周计算的，与队列研究相反，队列研究的计算结果是以平均剂量呈现的。此外，队

列研究和模型研究中确定的胎儿吸收剂量并无明显差异（见表5-7）。

对病人的辐射剂量直接取决于检查区。当胎儿在辐射场（CT的辐射区域）之外时，胎儿会受到散射辐射的影响。因此，胎儿离检查区越远，吸收的剂量就越低，于是出现不利影响的概率就越低[14]。

该文献综述的结果表明了，胎儿吸收的剂量与扫描的解剖部位有直接关系。表中的数据（见表5-7）显示了，胎儿吸收的剂量在全身、腹部和小盆腔CT检查中最高。胸部CT检查的胎儿吸收剂量最低。模型评估的吸收剂量与队列研究中获得的吸收剂量相当。

在本综述中分析的国外研究中，没有一个报道超过了100 mGy的胎儿吸收剂量阈值。在国内实践中，还没有与评估CT的指征以及腹部和盆腔内器官CT时孕妇和胎儿的吸收剂量次数有关的研究。

在妊娠早期，由于胚胎体积小，评估胎儿吸收的剂量很困难。根据一些研究[8, 26, 27]，子宫和胎儿的吸收剂量差别不大，因此可以用子宫内的吸收剂量来等同于胎儿吸收的剂量[28]。实验研究已经确定了吸收剂量对胎龄的依赖性。

由于所分析的队列研究中的数据是以不同胎龄的胎儿平均吸收剂量来表示的，无法确定这些研究中胎龄和吸收剂量水平之间的相关性[29-31]。

除了胎龄和解剖部位外，技术参数如扫描区长度、自动电流调制算法（如果有的话）、节距和电压都会对吸收的剂量值产生影响。

通过改变扫描协议的参数和减少扫描区域的长度可以实现辐射剂量的减少。在一项D. Litmanovich等人的研究[32]中，26名疑似肺血栓栓塞症（PTE）的孕妇接受了肺部CT血管造影，与标准协议相比，降低了电压和电流，缩短了扫

描长度。在保持研究的诊断质量的同时，有效剂量明显低于对照组的（分别为1.8和9.8 mSv）。

缩短扫描长度在模型研究中也证明是有效的[33]。作者报告说，与标准扫描长度的剂量相比，胎儿的平均吸收剂量明显减少（分别为0.1和0.03 mSv）。然而，将一些解剖结构排除在扫描区域之外会有一定的风险，所以在缩短扫描长度时必须考虑到这一点。

一些研究也考虑了妊娠期放射检查时使用遮盖板（个人防护用品）的适当性[33, 34]。经审查的出版物表明，对远离子宫的器官进行检查时，没有必要使用额外的防护用品，因为在这种情况下，胎儿主要受到的是散射辐射，而不是直接辐射。在这种情况下，使用遮盖板并不能减少对胎儿的散射辐射，而更是起到心理上的保护作用。与使用遮盖板相比，缩短扫描长度已被证明对减少胎儿的吸收剂量最为有效[34–36]。此外，有研究表明了，将遮盖板引入检查区域会迫使CT扫描仪图像优化系统大幅提高管子的辐射功率，最终导致孕妇的剂量增加，于是导致胎儿的剂量增加[37]。

结论

由于可能发生不利影响，对孕妇的辐射诊断应该是按照辐射安全方法进行的，同时完全避免使用电离辐射的诊断检查是错误的。

在许多危及生命的情况下，电离辐射检查可能是必要的，也是诊断一些病症的首选方法。要考虑到，由于诊断不及时而发生的这种病理状态的并发症的风险要比电离辐射的不利影响的风险大很多倍。

结果证明，在CT检查中，胎儿吸收的剂量并没有达到阈值。在胸部CT检查中，胎儿吸收的剂量很低，不能导致确定性效应。在腹部、小盆腔和全身CT检查中会出现更明显的胎儿辐射量，但即

使在这些检查中，如果进行单层单相扫描，也不太可能超过辐射阈值。然而，在多次腹部或全身CT检查或静脉注射造影剂的多相CT检查时电离辐射的吸收剂量可能超过阈值。在推荐孕妇进行这些部位的CT检查时，应考虑到这一点。还要考虑造影剂增强检查对胎儿发育的其他不良影响。

ADDITIONAL INFORMATION

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

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

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.V. Vodovotov — development of the study concept, systematization of data, peer review, and final editing of the systematic review; O.A. Golchenko — search for publications on the topic, analysis of literature data, design of tables, writing the text; I.A. Mashchenko — development of the research concept, peer review and final editing of the systematic review; D.V. Alekseeva — development of the study concept, analysis of the obtained data, final editing of the systematic review; L.A. Chipiga — data systematization, peer review, and final editing of the systematic review; I.V. Khutornoy — study design, statistical processing of the results, preparation of illustrations; P.V. Kozlova — search for publications on the topic, analysis of literature data, text editing; G.E. Trufanov — development of the research concept, expert evaluation, approval of the final version of the article; P.S. Druzhinina — adaptation of the text of the article, processing of the research results; S.A. Ryzhov, setting research objectives, participating in the description of the discussion of the results obtained; I.V. Soldatov — participation in the discussion of the obtained results, expert evaluation, approval of the final version of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штенцель Р.Э., Семенова Е.С., Машенко И.А., и др. Исторические аспекты становления и развития методов лучевой диагностики в перинатологии // Трансляционная медицина. 2021. Т. 8, № 3. С. 29–36. doi: 10.18705/2311-4495-2021-8-3-29-36
2. Sadro C., Bernstein M.P., Kanal K.M. Imaging of trauma. Part 2, Abdominal trauma and pregnancy: A radiologist's guide to doing what is best for the mother and baby // Am J Roentgenol. 2012. Vol. 199, N 6. P. 1207–1219. doi: 10.2214/AJR.12.9091
3. Wang P.I., Chong S.T., Kielar A.Z., et al. Imaging of pregnant and lactating patients: Part 1, evidence-based review and recommendations // Am J Roentgenol. 2012. Vol. 198, N 4. P. 778–784. doi: 10.2214/AJR.11.7405
4. Committee Opinion No. 723: Guidelines for diagnostic imaging during pregnancy and lactation // Obstet Gynecol. 2017. Vol. 130, N 4. P. 210–216. doi: 10.1097/AOG.0000000000002355
5. ICRP. Recommendations International Commission on Radiation Protection 2007. Publication ICRP No. 103. Transl. from English. Ed. by M.F. Kiselev, N.K. Shandala. Moscow: Alana; 2009. 312 p.
6. ACR-SPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation. 2018. 23 p. Режим доступа: <https://www.acr.org/-/media/acr/files/practice-parameters/pregnant-pts.pdf>. Дата обращения: 17.05.2023.
7. Frush D. The cumulative radiation dose paradigm in pediatric imaging // Br J Radiol. 2021. Vol. 94, N 1126. P. 20210478. doi: 10.1259/bjr.20210478
8. Водоватов А.В., Чипига Л.А., Пивень П.А., и др. Оценка поглощённых доз в плоде при проведении компьютерной томографии органов грудной клетки беременной женщины // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 126–135. doi: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-126-135

9. Liu H., Liu F., Li J., et al. Clinical and CT imaging features of the COVID-19 pneumonia: Focus on pregnant women and children // *J Infect.* 2020. Vol. 80, N 5. P. 7–13. doi: 10.1016/j.jinf.2020.03.007
10. Dehan L., Lin L., Xin W., et al. Pregnancy and perinatal outcomes of women with coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: A preliminary analysis // *Am J Roentgenol.* 2020. Vol. 215, N 1. P. 127–132. doi: 10.2214/AJR.20.23072
11. Garcia E.M., Camacho M.A., Karolyi D.R., et al.; Expert Panel on Gastrointestinal Imaging. ACR appropriateness criteria right lower quadrant pain-suspected appendicitis // *Am J Roentgenol.* 2018. Vol. 15, N 11. P. 373–387. doi: 10.1016/j.jacr.2018.09.033
12. Сажин А.В., Кириенко А.И., Курцер М.А., и др. Острый аппендицит у беременных // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2019. № 1. С. 70–77.
13. Gu J., Bednarz B., Caracappa P.F., Xu X.G. The development, validation and application of a multi-detector CT (MDCT) scanner model for assessing organ doses to the pregnant patient and the fetus using Monte Carlo simulations // *Phys Med Biol.* 2009. Vol. 54, N 9. P. 2699–2717. doi: 10.1088/0031-9155/54/9/007
14. Kellaranta A., Mäkelä T., Kaasalainen T., Kortensniemi M. Fetal radiation dose in three common CT examinations during pregnancy: Monte Carlo study // *Phys Med.* 2017. N 43. P. 199–206. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.09.120
15. Angel E., Wellnitz C.V., Goodsitt M.M., et al. Radiation dose to the fetus for pregnant patients undergoing multidetector CT imaging: Monte Carlo simulations estimating fetal dose for a range of gestational age and patient size // *Radiology.* 2008. Vol. 249, N 1. P. 220–227. doi: 10.1148/radiol.2491071665
16. Goldberg-Stein S., Liu B., Hahn P.F., Lee S.I. Body CT during pregnancy: Utilization trends, examination indications, and fetal radiation doses // *Am J Roentgenol.* 2011. Vol. 196, N 1. P. 146–151. doi: 10.2214/AJR.10.4271
17. Vandecaveye V., Amant F., Lecouvet F., et al. Imaging modalities in pregnant cancer patients // *Int J Gynecol Cancer.* 2021. Vol. 31, N 3. P. 423–431. doi: 10.1136/ijgc-2020-001779
18. Kwan M.L., Miglioretti D.L., Marlow E.C., et al.; Radiation-Induced Cancers Study Team. Trends in medical imaging during pregnancy in the United States and Ontario, Canada, 1996 to 2016 // *JAMA Network Open.* 2019. N 7. P. 197–249. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2019.7249
19. Прокоп М., Галански М. Спиральная и многослойная компьютерная томография. Москва, 2011. 440 с.
20. Араблинский А.В., Магдебур Ю.А. КТ в диагностике абдоминальной патологии нетравматического генеза // *REJR.* 2018. Т. 8, № 2. С. 58–71. doi: 10.21569/2222-7415-2018-8-2-58-71
21. Kirsch J., Brown R.K., Henry T.S., et al.; Expert Panels on Cardiac and Thoracic Imaging. ACR appropriateness criteria acute chest pain-suspected pulmonary embolism // *J Am Coll Radiol.* 2017. Vol. 14, N 5. P. 2–12. doi: 10.1016/j.jacr.2017.02.027
22. Shyu J.Y., Khurana B., Soto J.A., et al.; Expert Panel on Major Trauma Imaging. ACR appropriateness criteria major blunt trauma // *J Am Coll Radiol.* 2020. Vol. 17, N 5. P. 160–174. doi: 10.1016/j.jacr.2020.01.024
23. Панченко Е.П., Балахонova Т.В., Данилов Н.М., и др. Диагностика и лечение тромбозов лёгочной артерии: клинические рекомендации Евразийской ассоциации кардиологов для практических врачей (2021) // *Евразийский кардиологический журнал.* 2021. № 1. С. 44–77. doi: 10.38109/2225-1685-2021-1-44-77
24. Ria F., D'Ercole L., Origgi D., et al.; Association of Medical Physics Task Group. Statement of the Italian Association of Medical Physics (AIFM) task group on radiation dose monitoring systems // *Insights Imaging.* 2022. Vol. 13, N 1. P. 23. doi: 10.1186/s13244-022-01155-1
25. Sensakovic W.F., Royall I., Hough M., et al. Fetal dosimetry at CT: A primer // *Radiographics.* 2020. Vol. 40, N 4. P. 1061–1070. doi: 10.1148/rg.2020190166
26. Jaffe T.A., Yoshizumi T.T., Toncheva G.I., et al. Early first-trimester fetal radiation dose estimation in 16-MDCT without and with automated tube current modulation // *Am J Roentgenol.* 2008. Vol. 190, N 4. P. 860–864. doi: 10.2214/AJR.07.2925
27. Huda W., Randazzo W., Tipnis S., et al. Embryo dose estimates in body CT // *Am J Roentgenol.* 2010. Vol. 194, N 4. P. 874–880. doi: 10.2214/AJR.09.4032
28. Damlakis J., Perisinakis K., Tzedakis A., et al. Radiation dose to the conceptus from multidetector CT during early gestation: A method that allows for variations in maternal body size and conceptus position // *Radiology.* 2010. Vol. 257, N 2. P. 483–489. doi: 10.1148/radiol.10092397
29. Lazarus E., Debenedectis C., North D., et al. Utilization of imaging in pregnant patients: 10-year review of 5270 examinations in 3285 patients 1997–2006 // *Radiology.* 2009. Vol. 251, N 2. P. 517–524. doi: 10.1148/radiol.2512080736
30. Lazarus E., Mayo-Smith W.W., Mainiero M.B., Spencer P.K. CT in the evaluation of nontraumatic abdominal pain in pregnant women // *Radiology.* 2007. Vol. 244, N 3. P. 784–790. doi: 10.1148/radiol.2443061634
31. Goldberg-Stein S.A., Liu B., Hahn P.F., Lee S.I. Radiation dose management: Part 2, estimating fetal radiation risk from CT during pregnancy // *Am J Roentgenol.* 2012. Vol. 198, N 4. P. 352–356. doi: 10.2214/AJR.11.7458
32. Litmanovich D., Boisselle P.M., Bankier A.A., et al. Dose reduction in computed tomographic angiography of pregnant patients with suspected acute pulmonary embolism // *J Comput Assist Tomogr.* 2009. Vol. 33, N 6. P. 961–966. doi: 10.1097/RCT.0b013e318198cd18
33. Begano D., Söderberg M., Bolejko A. To use or not use patient shielding on pregnant women undergoing CT pulmonary angiography: A phantom study // *Radiation Protection Dosimetry.* 2020. Vol. 189, N 4. P. 458–465.
34. Ryckx N., Sans-Merce M., Schmidt S., et al. The use of out-of-plane high Z patient shielding for fetal dose reduction in computed tomography: Literature review and comparison with Monte-Carlo calculations of an alternative optimisation technique // *Phys Med.* 2018. N 48. P. 156–161. doi: 10.1016/j.ejmp.2018.03.017
35. Tack D., Kalra M.K., Gevenois P.A. Radiation dose from multidetector CT (2nd ed.). Springer, 2012. doi: 10.1007/978-3-642-24535-0
36. Doshi S.K., Negus I.S., Oduko J.M. Fetal radiation dose from CT pulmonary angiography in late pregnancy: A phantom study // *Br J Radiol.* 2008. Vol. 81, N 968. P. 653–658. doi: 10.1259/bjr/22775594
37. Gilet A.G., Dunkin J.M., Fernandez T.J., et al. Fetal radiation dose during gestation estimated on an anthropomorphic phantom for three generations of CT scanners // *Am J Roentgenol.* 2011. Vol. 196, N 5. P. 1133–1137. doi: 10.2214/AJR.10.4497

REFERENCES

1. Shtentsel RE, Semenova ES, Mashchenko IA, et al. The history of the formation and development of methods of radiation diagnostics in perinatology. *Translational Med.* 2021;8(3):29–36. (In Russ). doi: 10.18705/2311-4495-2021-8-3-29-36
2. Sadro C, Bernstein MP, Kanal KM. Imaging of trauma. Part 2, Abdominal trauma and pregnancy: A radiologist's guide to doing what is best for the mother and baby. *Am J Roentgenol.* 2012;199(6):1207–1219. doi: 10.2214/AJR.12.9091
3. Wang PI, Chong ST, Kielar AZ, et al. Imaging of pregnant and lactating patients: Part 1, evidence-based review and recommendations. *Am J Roentgenol.* 2012;198(4):778–784. doi: 10.2214/AJR.11.7405
4. Committee Opinion No. 723: Guidelines for diagnostic imaging during pregnancy and lactation. *Obstet Gynecol.* 2017;130(4):210–216. doi: 10.1097/AOG.0000000000002355
5. ICRP. Recommendations International Commission on Radiation Protection 2007. Publication ICRP No. 103. Transl. from English. Ed. by M.F. Kiselev and N.K. Shandala. Moscow: Alana; 2009. 312 p.
6. ACR-SPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation. 2018. 23 p. Available from: <https://www.acr.org/-/media/acr/files/practice-parameters/pregnant-pts.pdf>. Accessed: 17.05.2023.
7. Frush D. The cumulative radiation dose paradigm in pediatric imaging. *Br J Radiol.* 2021;94(1126):20210478. doi: 10.1259/bjr.20210478
8. Vodovatov AV, Chipiga LA, Piven PA, et al. Assessment of the absorbed doses in the fetus from the computed tomography of the chest for the pregnant women. *Radiatsionnaya Gygiena.* 2021;14(3):126–135. (In Russ). doi: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-126-135
9. Liu H, Liu F, Li J, et al. Clinical and CT imaging features of the COVID-19 pneumonia: Focus on pregnant women and children. *J Infect.* 2020;80(5):7–13. doi: 10.1016/j.jinf.2020.03.007
10. Dehan L, Lin L, Xin W, et al. Pregnancy and perinatal outcomes of women with coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: A preliminary analysis. *Am J Roentgenol.* 2020;215(1):127–132. doi: 10.2214/AJR.20.23072
11. Garcia EM, Camacho MA, Karolyi DR, et al.; Expert Panel on Gastrointestinal Imaging. ACR appropriateness criteria right lower quadrant pain-suspected appendicitis. *Am J Roentgenol.* 2018;15(11):373–387. doi: 10.1016/j.jacr.2018.09.033
12. Sazhin AV, Kirienko AI, Kurtser MA, et al. Acute appendicitis during pregnancy (in Russian only). *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2019;(1):70–77. (In Russ).
13. Gu J, Bednarz B, Caracappa PF, Xu XG. The development, validation and application of a multi-detector CT (MDCT) scanner model for assessing organ doses to the pregnant patient and the fetus using Monte Carlo simulations. *Phys Med Biol.* 2009;54(9):2699–2717. doi: 10.1088/0031-9155/54/9/007
14. Kellaranta A, Mäkelä T, Kaasalainen T, Kortelainen M. Fetal radiation dose in three common CT examinations during pregnancy: Monte Carlo study. *Phys Med.* 2017;43:199–206. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.09.120
15. Angel E, Wellnitz CV, Goodsitt MM, et al. Radiation dose to the fetus for pregnant patients undergoing multidetector CT imaging: Monte Carlo simulations estimating fetal dose for a range of gestational age and patient size. *Radiology.* 2008;249(1):220–227. doi: 10.1148/radiol.2491071665
16. Goldberg-Stein S, Liu B, Hahn PF, Lee SI. Body CT during pregnancy: Utilization trends, examination indications, and fetal radiation doses. *Am J Roentgenol.* 2011;196(1):146–151. doi: 10.2214/AJR.10.4271
17. Vandecaveye V, Amant F, Lecouvet F, et al. Imaging modalities in pregnant cancer patients. *Int J Gynecol Cancer.* 2021;31(3):423–431. doi: 10.1136/ijgc-2020-001779
18. Kwan ML, Miglioretti DL, Marlow EC, et al.; Radiation-Induced Cancers Study Team. Trends in medical imaging during pregnancy in the United States and Ontario, Canada, 1996 to 2016. *JAMA Network Open.* 2019(7):197–249. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2019.7249
19. Prokop M, Galanski M. Spiral and multilayered computed tomography. Moscow; 2011. 440 p. (In Russ).
20. Arablinskiy AV, Magdeburua YA. CT in the diagnosis of nontraumatic acute abdomen. *REJR.* 2018;8(2):58–71. (In Russ). doi: 10.21569/2222-7415-2018-8-2-58-71
21. Kirsch J, Brown RK, Henry TS, et al.; Expert Panels on Cardiac and Thoracic Imaging. ACR appropriateness criteria acute chest pain-suspected pulmonary embolism. *J Am Coll Radiol.* 2017;14(5):2–12. doi: 10.1016/j.jacr.2017.02.027
22. Shyu JY, Khurana B, Soto JA, et al. Expert Panel on Major Trauma Imaging. ACR appropriateness criteria major blunt trauma. *J Am Coll Radiol.* 2020;17(5):160–174. doi: 10.1016/j.jacr.2020.01.024
23. Panchenko EP, Balahonova TV, Danilov NM, et al. Diagnosis and management of pulmonary embolism Eurasian Association of Cardiology (EAC) clinical practice guidelines (2021). *Eurasian Heart J.* 2021;(1):44–77. (In Russ). doi: 10.381092225-1685-2021-1-44-77
24. Ria F, D'Ercole L, Origgi D, et al.; Association of Medical Physics Task Group. Statement of the Italian Association of Medical Physics (AIFM) task group on radiation dose monitoring systems. *Insights Imaging.* 2022;13(1):23. doi: 10.1186/s13244-022-01155-1
25. Sensakovic WF, Royall I, Hough M, et al. Fetal dosimetry at CT: A primer. *Radiographics.* 2020;40(4):1061–1070. doi: 10.1148/rg.2020190166
26. Jaffe TA, Yoshizumi TT, Toncheva GI, et al. Early first-trimester fetal radiation dose estimation in 16-MDCT without and with automated tube current modulation. *Am J Roentgenol.* 2008;190(4):860–864. doi: 10.2214/AJR.07.2925
27. Huda W, Randazzo W, Tipnis S, et al. Embryo dose estimates in body CT. *Am J Roentgenol.* 2010;194(4):874–880. doi: 10.2214/AJR.09.4032
28. Damilakis J, Perisinakis K, Tzedakis A, et al. Radiation dose to the conceptus from multidetector CT during early gestation: A method that allows for variations in maternal body size and conceptus position. *Radiology.* 2010;257(2):483–489. doi: 10.1148/radiol.10092397
29. Lazarus E, Debenedictis C, North D, et al. Utilization of imaging in pregnant patients: 10-year review of 5270 examinations in 3285 patients 1997–2006. *Radiology.* 2009;251(2):517–524. doi: 10.1148/radiol.2512080736
30. Lazarus E, Mayo-Smith WW, Mainiero MB, Spencer PK. CT in the evaluation of nontraumatic abdominal pain in pregnant women. *Radiology.* 2007;244(3):784–790. doi: 10.1148/radiol.2443061634
31. Goldberg-Stein SA, Liu B, Hahn PF, Lee SI. Radiation dose management: Part 2, estimating fetal radiation risk from CT

during pregnancy. *Am J Roentgenol.* 2012;198(4):352–356. doi: 10.2214/AJR.11.7458

32. Litmanovich D, Boisselle PM, Bankier AA, et al. Dose reduction in computed tomographic angiography of pregnant patients with suspected acute pulmonary embolism. *J Comput Assist Tomogr.* 2009;33(6):961–966. doi: 10.1097/RCT.0b013e318198cd18

33. Begano D, Söderberg M, Bolejko A. To use or not use patient shielding on pregnant women undergoing CT pulmonary angiography: A phantom study. *Radiation Protection Dosimetry.* 2020;189(4):458–465.

34. Ryckx N, Sans-Merce M, Schmidt S, et al. The use of out-of-plane high Z patient shielding for fetal dose reduction in computed

tomography: Literature review and comparison with Monte-Carlo calculations of an alternative optimisation technique. *Phys Med.* 2018;(48):156–161. doi: 10.1016/j.ejmp.2018.03.017

35. Tack D, Kalra MK, Gevenois PA. Radiation dose from multidetector CT (2nd ed.). Springer; 2012. doi: 10.1007/978-3-642-24535-0

36. Doshi SK, Negus IS, Oduko JM. Fetal radiation dose from CT pulmonary angiography in late pregnancy: A phantom study. *Br J Radiol.* 2008;81(968):653–658. doi: 10.1259/bjr/22775594

37. Gilet AG, Dunkin JM, Fernandez TJ, et al. Fetal radiation dose during gestation estimated on an anthropomorphic phantom for three generations of CT scanners. *Am J Roentgenol.* 2011;196(5):1133–1137. doi: 10.2214/AJR.10.4497

AUTHORS' INFO

* **Aleksandr V. Vodovатов**, Cand. Sci. (Biol.);
address: 8 Mira street, 197101 Saint Petersburg, Russia;
ORCID: 0000-0002-5191-7535;
eLibrary SPIN: 4560-8978;
e-mail: vodovatoff@gmail.com

Olga A. Golchenko;
ORCID: 0000-0003-4614-9241;
e-mail: breakerxolyga@yandex.ru

Irina A. Mashchenko, MD, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Assistant Professor;
ORCID: 0000-0002-4949-8829;
eLibrary SPIN: 5154-7080;
e-mail: mashchenko_ia@almazovcentre.ru

Darya V. Alekseeva, Assistant Lecturer;
ORCID: 0000-0001-9528-9377;
eLibrary SPIN: 6484-4327;
e-mail: darja-karpova@yandex.ru

Larisa A. Chipiga, Cand. Sci. (Engin.), Research Associate, Assistant Professor;
ORCID: 0000-0001-9153-3061;
eLibrary SPIN: 3920-7798;
e-mail: larisa.chipiga@gmail.com

Ivan V. Khutornoy, Graduate Student;
ORCID: 0000-0002-5405-603X;
eLibrary SPIN: 8020-0222;
e-mail: mcdm.avk@gmail.com

Polina V. Kozlova, Assistant Lecturer;
ORCID: 0000-0002-3240-7038;
eLibrary SPIN: 3555-0410;
e-mail: apollinaria@bk.ru

Gennady E. Trufanov, MD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-1611-5000;
eLibrary SPIN: 3139-3581;
e-mail: trufanovge@mail.ru

Polina S. Druzhinina, Junior Research Associate;
ORCID: 0000-0003-2921-067X;
eLibrary SPIN: 9003-3234;
e-mail: druzhininapauline@gmail.com

ОБ АВТОРАХ

* **Водоватов Александр Валерьевич**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8;
ORCID: 0000-0002-5191-7535;
eLibrary SPIN: 4560-8978;
e-mail: vodovatoff@gmail.com

Гольченко Ольга Андреевна;
ORCID: 0000-0003-4614-9241;
e-mail: breakerxolyga@yandex.ru

Машченко Ирина Александровна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр., доцент;
ORCID: 0000-0002-4949-8829;
eLibrary SPIN: 5154-7080;
e-mail: mashchenko_ia@almazovcentre.ru

Алексеева Дарья Владимировна, ассистент;
ORCID: 0000-0001-9528-9377;
eLibrary SPIN: 6484-4327;
e-mail: darja-karpova@yandex.ru

Чипига Лариса Александровна, канд. тех. наук, науч. сотр., доцент;
ORCID: 0000-0001-9153-3061;
eLibrary SPIN: 3920-7798;
e-mail: larisa.chipiga@gmail.com

Хуторной Иван Валерьевич, аспирант;
ORCID: 0000-0002-5405-603X;
eLibrary SPIN: 8020-0222;
e-mail: mcdm.avk@gmail.com

Козлова Полина Викторовна, ассистент;
ORCID: 0000-0002-3240-7038;
eLibrary SPIN: 3555-0410;
e-mail: apollinaria@bk.ru

Труфанов Геннадий Евгеньевич, докт. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-1611-5000;
eLibrary SPIN: 3139-3581;
e-mail: trufanovge@mail.ru

Дружинина Полина Сергеевна, мл. науч. сотр.;
ORCID: 0000-0003-2921-067X;
eLibrary SPIN: 9003-3234;
e-mail: druzhininapauline@gmail.com

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

Sergey A. Ryzhov, Research Associate;
ORCID: 0000-0002-0640-7368;
eLibrary SPIN: 6595-4011;
e-mail: mosrg@mail.ru

Ilya V. Soldatov;
ORCID: 0000-0002-4867-0746;
eLibrary SPIN: 4065-6048;
e-mail: npcmr@mail.ru

Рыжов Сергей Анатольевич, науч. сотр.;
ORCID: 0000-0002-0640-7368;
eLibrary SPIN: 6595-4011;
e-mail: mosrg@mail.ru

Солдатов Илья Владимирович;
ORCID: 0000-0002-4867-0746;
eLibrary SPIN: 4065-6048;
e-mail: npcmr@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321420>

Технология распознавания речи в лучевой диагностике

Н.Д. Кудрявцев¹, К.А. Бардасова², А.Н. Хоружая¹¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация² Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Устройства, способные распознавать речь, являются перспективным инструментом для системы здравоохранения. Технология распознавания речи имеет довольно длинную историю применения в западных системах здравоохранения (с 1970-х годов), однако широкое распространение она получила лишь в начале XXI века, заменив медицинских транскрипционистов. Для отечественного здравоохранения данная технология относительно новая. Её активная разработка началась лишь в начале 2010-х годов, а повсеместное внедрение в здравоохранение — в конце 2010-х годов. Такая задержка связана с особенностями русского языка и ограничением вычислительных мощностей, присутствующих в начале XXI века.

В настоящее время комплексы устройств и программного обеспечения для распознавания речи используются в головном заполнении медицинской документации и позволяют сократить время подготовки протоколов рентгенологических исследований при сравнении с традиционным (клавиатурным) вводом текста.

В литературном обзоре отражена краткая история развития и применения технологии распознавания речи в лучевой диагностике. Отражены ключевые научные исследования, подтверждающие эффективность её использования в западных системах здравоохранения. Продемонстрирован отечественный опыт применения технологии распознавания речи и оценена её эффективность. Описаны перспективы дальнейшего развития данной технологии в российском здравоохранении.

Ключевые слова: научный обзор; технология распознавания речи; голосовой ввод; лучевая диагностика; рентгенология; заполнение медицинской документации.

Как цитировать

Кудрявцев Н.Д., Бардасова К.А., Хоружая А.Н. Технология распознавания речи в лучевой диагностике // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 185–196.DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321420>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321420>

Speech recognition technology in radiology

Nikita D. Kudryavtsev¹, Kristina A. Bardasova², Anna N. Khoruzhaya¹

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

² Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation

ABSTRACT

Speech recognition devices are promising tools for the healthcare system. Speech recognition technology has had a relatively long history of use in Western healthcare systems since the 1970s. However, it became widely used at the beginning of the 21st century, replacing medical transcriptionists. This technology is relatively new in home healthcare. Its active development began only in the early 2010s, and its implementation in healthcare started in late 2010. This delay is due to the idiosyncrasies of the Russian language and the limited computational power present at the beginning of the 21st century.

Currently, complexes of devices and software for speech recognition are used in the voice filling of medical records and can reduce the time for preparing reports for radiological examinations compared with traditional (keyboard) text input.

The literature review provides a brief history of speech recognition technology development and application in radiography. Key scientific studies showing its efficacy in Western healthcare systems are reflected. Voice recognition technology in the home is demonstrated, and its effectiveness is evaluated. The prospects for further development of this technology in Russian healthcare are described.

Keywords: medical records; radiation diagnostics; radiology; speech recognition software; voice input.

To cite this article

Kudryavtsev ND, Bardasova KA, Khoruzhaya AN. Speech recognition technology in radiology. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):185–196.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321420>

Received: 17.03.2023

Accepted: 19.04.2023

Published: 25.05.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321420>

语音识别技术在放射诊断中的应用

Nikita D. Kudryavtsev¹, Kristina A. Bardasova², Anna N. Khoruzhaya¹

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

² Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation

简评

能够进行语音识别的设备是保健系统的一个有前途的工具。语音识别技术在西方医疗系统中有相当长的使用历史（自20世纪70年代以来），但它在21世纪初才得到了广泛推广，取代了医疗抄写员。对于国内的医疗保健来说，该技术是相对较新的。它的积极开发是在2010年代初才开始，并2010年代末才在保健事业广泛采用的。这种延迟是由于俄语的特点和21世纪初计算能力的限制而导致的。

语音识别的设备和软件包现在被用于通过语言输入填写病历，此外，与传统（用键盘）文本输入相比，减少了准备X射线学协议所需的时间。

本文综述简要介绍了语音识别技术在放射诊断中的发展和应用的历史。介绍了证实其在西方医疗系统中使用的有效性的主要科学研究。展示了国内使用语音识别技术的经验，并对其有效性进行了评估。描述了该技术在俄罗斯保健事业进一步发展的前景。

关键词：科学综述；语音识别技术；语音输入；放射诊断；X射线学；填写病历。

引用本文：

Kudryavtsev ND, Bardasova KA, Khoruzhaya AN. 语音识别技术在放射诊断中的应用. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):185–196.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321420>

收到: 17.03.2023

接受: 19.04.2023

发布日期: 25.05.2023

绪论

如今,声音控制已成为许多智能家居设备的标准功能。这要归功于语音识别技术的发展。基于语音识别技术的系统能够分析用户的语音并将其转换为数字数据。除了控制智能设备外,语音识别技术在电话通信中也得到了广泛应用。在许多政府和商业机构的电话中都使用了电话答录机。它可识别来电者的语音请求并将其转接给选定的专家。2019年以来,在莫斯科实行一个项目,在语音助手的帮助下通知市民预约挂号并提醒他们要接受临床检查。在这样的通话中,市民可以挂号看病,取消或重新安排就诊时间。该系统还询问病人哪儿不舒服¹。

在医疗保健领域,语音识别系统已被广泛应用于医疗记录的语音填写。这是因为医生的大部分工作时间都花在准备病历上[1-4]。这一因素对医疗质量产生了负面影响,尤其是在接待病人时间有限的情况下。使用技术,如在放射诊断中,可以减少填写诊断检查总结的时间,将更多的时间用于研究诊断图像、随附医疗文件以及为患者交流。正因为如此,语音输入系统在放射科最受欢迎。放射科中的工作流程组织最便于引进这种技术。现代系统综述[5-7]表明了,在这些条件下使用语音识别系统是有效的。良好的接受能力是由于大量的文本信息。放射科医生应该将这些信息记录在总结中。

语音识别技术在放射学中的应用历史 早期应用

语音识别技术在医疗领域的首次尝试是在20世纪70年代和80年代。1975年,一个语音识别系统的原型被描述出来了。该系统可以分析非常有限的医学词汇和术语[8]。1981年,在放射诊断部门对该技术首次进行了测试[9]。在以色列的Beth Israel Hospital,该系统开始被用于准备放射检查协议书。起初,该医院的医生使用了CLIP (Coded Language Information Processing) 系统。CLIP是一种分层标准化的医学术语语言。它由M. Simon和B. W. Leeming 开发[10]。该语言的结构包含医学术语。这些术语以特定方式编码。例如,值A表示anatomic area (解剖区域),A6表示the lower limb (下肢),A61表示the thigh (大腿)。而值B、B6、B61、B611和B612分别表示bone (骨头)、the lower limb bones (下肢骨)、the femur (股骨)、the lesser trochanter (小转子)和the grosser trochanter (大转子)。放射师使用键盘输入了各种代码组合,能够写任何复杂度和规模的总结[11]。

当时的语音识别系统有一个很大的缺点,即词汇量有限。词汇量包括大约200个独特的医学术

语。这是由于内存容量较小。这一因素导致无法全面描述诊断检查。将语音识别技术与CLIP系统结合使用是解决方案之一。这样就可以规避工作记忆容量的限制。

1981年的一项研究比较了键盘输入和语音输入[9]。对60份放射检查协议书的准备速度和质量进行了评估。结果表明了,协议书的规模与填写方法无关。这间接证实了所述研究的复杂度相似。使用语音输入填写总结的持续时间超过键盘输入的4倍。语音输入的协议书平均包含12个识别错误。而键盘输入的协议书则没有错误。这项研究还描述了该技术的其他局限性。最初的系统不能完全抑制外部噪音,因此对医生语音的识别质量较低。这导致了错误的发生。填写一份医疗文件所需的时间较长,这是因为系统只能识别单独说出的单词。医生必须在每个词之后停顿一下,或者在CLIP系统中,在每个代码之后停顿一下。这种语音填写方法对人类来说既不舒服也不自然。值得注意的是,语音输入系统需要3到6个小时的预先调整和适应用户(医生)的特定语音。

所有这些限制都阻碍了当时的语音识别系统在医疗保健领域的普及。因此,当时医疗转录员的参与是合理的。然而,在随后的发展阶段中,出现了一个基础,可以将技术的“弱点”考虑在内。

随着放射检查的日益普及,计算机和磁共振断层扫描仪的出现,以及从模拟介质向数字介质的过渡,导致了放射科医生的工作量增加,总结准备时间延长。20世纪80年代中期,西方国家建立了记录中心,以解决这一问题并优化人力资源。放射师向录音系统口述放射检查结果。这些结果是在诊断图像解读过程中发现的。录音被传送到录音中心。医学转录员译解了录音并以文本形式编写检查总结。准备好的总结由医生检查并签署。在某些情况下,转录员会将其收回来以纠正错误[12]。记录中心在海外医疗机构一直流行到2010年代[5, 13]。

一系列作者比较了医疗转录员准备与使用语音识别技术准备的放射检查总结的有效性。做出了如下结论:医疗转录员的主要优势在于能够发现语法错误并考虑到患者的上下文信息。这些优势有助于正确理解并同意医生的录音,即使录音质量很差[14]。然而,由于医疗转录员短缺,经常出现口述16小时后才将打字的总结交还给医生的情况[15]。根据记录中心的能力,录音的译解需要6至24小时。

语音识别系统的进一步发展最终取代了医疗转录员[14]。语音识别技术在识别准确性上不如医疗转录员好,但它允许将放射科每月的经济成本降低81%,并显著减少准备检查总结所需的时间[5, 13, 16]。

¹ 莫斯科市长官方网站[互联网]。语音助手将在综合诊所门诊之前通过电话收集关于病人哪儿不舒服的信息。访问方式: <https://www.mos.ru/news/item/89302073/>。

也有人尝试在俄罗斯医疗保健系统中引入记录中心²。然而，评估该中心的有效性和应用的科学研究没有开放获取。现代国内医疗保健系统中没有这种中心，因此可以认为使用这种中心被证明是不合适的。

20世纪90年代：新一轮创新发展

20世纪末，语音识别系统的内存和词典容量增加到19,000个放射学术语。预设时间缩短至几分钟。识别准确率得到了提高。1995年，美国推出了第一个自然语言译解程序。它们能够确定连贯的英语发音。现在，医生可以以舒适的对话速度口述，每个词之间没有停顿。当时这些程序的识别准确率低于分词输入系统[17]。技术的进一步发展和语音识别准确率的提高使得连贯语音输入系统取代分词输入系统。

21世纪

本世纪初，西方国家开始在放射科大规模引进和应用自动语音识别技术。国外的研究中比较了英文医疗文件的语音填写速度与键盘输入、医疗文件量和医生满意度。获得的数据显示，技术的应用使填写文件的速度提高了26%，协议书的数量也有所增加。语音输入也优化了工作流程。准备医疗文件的时间缩短了。协议书的内容质量得到了提高。医生对文件工作的满意度也提高了[16, 18]。错误发生的频率也降低了。主要错误是标点符号错误[7]。上述因素有助于检查总结准备的总时间从16小时减少到5小时[15]。评估总结准备时间的研究结果、评估每分钟平均字符数的结果、错误的数量和频率反映了放射科中技术的发展和引进的积极动态。在一小时内准备好总结的百分比从26%增加到58%。协议书在内容上更加结构化[19]。

时间一长经济成本也有所下降。因此，7篇关于成本估算的系统综述中的5篇[5]包含了成本降低的信息。只有2篇文章报道了经济成本的增加。内分泌学和精神病学也有类似的结果。语音识别系统的使用提高了医生工作的生产力和效率[20]。在外科学中使用这些系统有助于将准备手术总结的时间从4天缩短到3天。在一天内准备好手术总结的百分比从22%增加到37%[21]。国外2019-2020年的研究作者认为，语音识别技术节省

了医生的时间，提高了他们的工作效率，以及允许在填写医疗文件时记录更多重要细节[22-24]。然而，医生使用语音输入系统的主要障碍是人为因素，即对变革的抵触和对新技术的恐惧[25]。

2016年，Microsoft research研究表明了，语音识别系统的准确率已达到人类能力的94%[26]。目前，在英语国家，这项技术现已深入医疗实践。放射科的语音输入采用率已达到85%³。目前，医疗保健软件市场的份额约占全球市场的25%⁴。Nuance Communications、IBM和Philips⁵都是语音识别软件开发领域的领导公司。

大约45年来，语音识别在英语国家的医疗领域变得越来越普遍。从初级医疗和急诊到高度专业化科室，语音识别已深入到医疗保健的各个层面。现代医学英语语音识别系统的准确率高达99%。它们能够适应不同的口音，并且不需要事先对医生的语音模式进行训练⁶。

现代语音识别系统如何工作？

如前所述，语音识别技术的基础是利用计算机将人的口语翻译成文本的过程。人工智能算法被用于现代语音输入系统。人工智能算法允许大大提高用户语音识别的质量和速度[27]。识别过程由几个阶段组成。每个阶段都有自己的特点（图1）。

1. **采集音频信号。**语音识别的第一阶段是声波记录。声波记录可以借助麦克风完成。麦克风可内置在任何音频记录设备中，如智能手机。然后将声波转换为数字格式，以进行计算机处理。
2. **预处理音频信号。**在此阶段，对接收到的音频数据进行预处理。处理过程可以消除无关的背景噪声，突出用户的语音。这将提高语音识别的质量。
3. **分割成片段。**然后将音频文件分割成长度约为10-25毫秒的小片段。这是必要的，以优化音频数据分析。语音识别系统分别对每个片段进行分析。
4. **提取语音特征。**在此阶段，计算语音特征（即声音的频率、持续时间和振幅）。语音特征被用于识别音素。这些音素组成口语单词。
5. **进行识别模型匹配。**音素匹配是使用声学模型进行的，在大量语音样本上对这些模型进

² 国家预算卫生机构“莫斯科市卫生管理局传染科临床医院第1”的官方网站[互联网]。医院历史。访问方式：<https://ikbl.ru/about/>。

³ Reaction Data[互联网]。Speech Rec in Radiology-State of the Market. 2019[引用日期：2019.12.23]。访问方式：<https://www.reactiondata.com/report/speech-recognition-in-radiology-state-of-the-market/>。

⁴ Grand View Research[互联网]。Voice And Speech Recognition Market Size Report, 2030。访问方式：<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/voice-recognition-market>。

⁵ Nuance Communications. Healthcare Clinical Documentation AI Solutions & Services for the NHS (<https://www.nuance.com/en-gb/healthcare.html>)；Philips. Healthcare—Philips (<https://www.dictation.philips.com/gb/industries/industry/healthcare-professionals/>)；IBM. Watson Speech to Text (<https://www.ibm.com/cloud/watson-speech-to-text>)。

⁶ Nuance Communications[互联网]。Dragon Medical One——#1 Clinical Documentation Companion。访问方式：<https://www.nuance.com/healthcare/provider-solutions/speech-recognition/dragon-medical-one.html>。

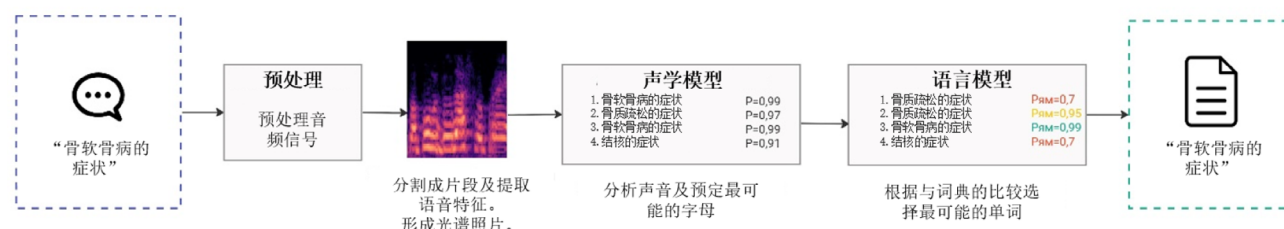


图1. 经典语音识别系统的简化操作方案。图1给出识别短语“骨软骨病的症状”的算法。

注: я м——来自俄语的 языковая модель (语言模型)。

行训练。这些模型可以使用多种方法, 包括隐马尔可夫模型、神经网络和其他机器学习算法[28-30]。

6. **组合单词和文本。**在这一阶段, 语言模型将音素组合成单词和短语, 然后组合成完整的文本。该文本可能需要额外处理, 以纠正拼写错误和其他错误。

7. **插入组合的文本。**这是最后一阶段。将组合的文本插入医疗文件中。由于语音识别系统的准确率尚未达到100%, 在某些情况下, 医生必须对识别出的文本进行手修正。

声学 and 语言模型使用人工智能模块, 以将声音更准确地转换成字母。无论口述者的性别、年龄和语调如何, 都必须识别声音。开发人员在数据集上训练神经网络。同时, 该数据集包括大量录音和文本的示例。当接收到语音信号时, 神经网络在数据集中“搜索”匹配的语音信号。神经网络会继续学习, 并在使用时创建新的声音与字母组合。这使其更有可能重现预期文本, 而不会出现拼写错误。在训练过程中, 计算机可识别音素发音的最重要特征。计算机以用户配置文件的形式记录获得的数据⁷[31]。

最近, 建立语音识别系统的所谓端到端方法得到了广泛应用。语音识别技术中的端到端方法是指自动执行整个语音信号处理的方法[32]。无需执行单独的处理步骤(如特征提取和语音识别模型创建)[32]。深度学习(deep learning)是最流行的端到端方法之一。在这种情况下, 在原始音频数据上直接对神经网络进行训练, 无需进行预处理[32]。端到端方法的另一个例子是使用循环神经网络(recurrent neural network, RNN)或卷积神经网络(convolutional neural networks, CNN)进行语音识别。在这种情况下, 神经网络在输入信号和输出文本上学习。在这种情况下, 神经网络使用监督学习技术[32]。

端到端方法的优势是它们可以提供更高的识别准确率, 因为所有语音信息都被用于训练神经网络。然而, 这些方法的实现可能更加复杂, 并且需要更多数据进行训练[33]。

国内在放射诊断中使用语音识别技术的经验

最早的俄语语音识别系统出现在2000年代中期[34, 35], 但由于使用通用词汇, 无法在医疗实践中使用该语音识别系统。又过了几年, 才开发出能够译解包含医学术语的俄语语音输入系统[36]。语音识别技术的积极发展直到2010年代后半期才出现。这一延迟是由于难以识别俄语语音。

与英语相比, 俄语的构词结构更为复杂, 因为俄语是一种合成语言, 有大量的词形。为了识别单词, 必须使用较大的词典。这降低了系统的性能[37]。例如, 现代英语语音识别系统使用的词典包含多达30万个单词和术语, 而俄语词典可包含500多万个单词、词形和词组[33, 38, 39]。此外, 同一单词的大多数词形只有词尾不同, 而用户往往发音不清。这就导致了识别整个词组的错误, 于是需要对最终文档进行修正。并且俄语在句子中的单词排列变体较多, 而英语则使用严格的语法结构。这导致为语音识别系统创建语言模型的过程变得困难, 并降低了其工作的准确性。

STC (Speech Technology Center, 语音技术中心) 集团是当今俄罗斯医疗保健领域语音输入系统开发的领导公司⁸。2020 年, 对放射科使用语音识别技术的有效性进行了首次研究。该研究是在莫斯科市卫生局的七家城市综合医院进行的。研究中使用的是Voice2Med语音输入系统(STC集团)的早期版本。识别准确率为93%。研究包括使用键盘输入和语音识别系统填写医疗文件的速度比较。放射科医生填写了电子计算机断层扫描和磁共振成像检查的协议书。一项时间研究表明了, 使用键盘输入描述一项检查的平均时间为10分15秒。同时, 使用语音识别描述一项检查的平均时间为8分2秒。在现在阶段中, 俄语医学术语的识别准确率达到98%。这归功于医学术语词典的形成和对放射科医生反馈意见的分析

⁷ Cloud.mts.ru[互联网]。语音识别技术及其对实业的重要性。访问方式: <https://cloud.mts.ru/cloud-thinking/blog/tekhnologiya-raspoznaniya-rechi/>。

⁸ STC集团[互联网]。语音的合成和识别, 录音和分析, 人脸和语音的识别。访问方式: <http://www.speechpro.ru/>。

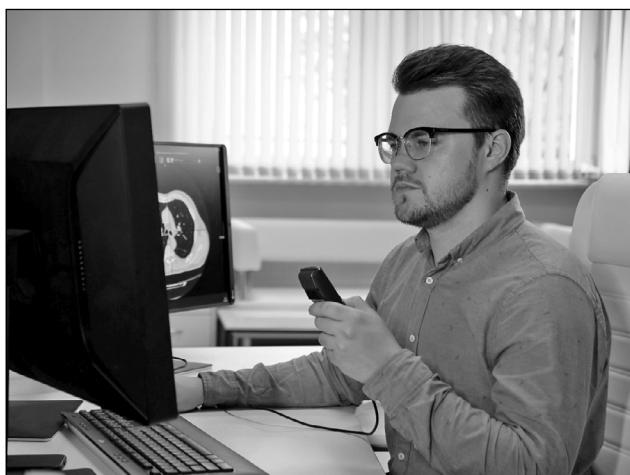


图2。配有语音识别系统的莫斯科放射诊断参考中心放射科医生的工作场所。填写医疗文件的过程。

成为可能⁹（图2）。该词典是在250万份放射检查协议书的基础上编制的。

2022年对放射科医生进行了一项调查。调查显示了，62.8%的受访者表示使用语音识别系统后工作效率有所提高。大多数医生将放射术语的识别质量评为良好至优秀。这些医生在日常工作中使用语音输入。受访者指出，有一些特殊情况：其他人的语音也会被识别，而且会出现词尾识别错误。外来背景噪声（诊断设备的工作、医务人员与患者或同事的交流）和劣质录音设备会对识别质量产生负面影响。影响是否坚持使用新技术的一个重要因素是医生的年龄及其对创新的兴趣。年轻的专科医生对该技术保持更开放的态度。30-40岁的专家更倾向于在工作中使用语音输入系统。调查结果显示了，在使用语音识别技术的两年内，放射科医生对语音识别技术的态度呈现积极动态变化[40]。

语音识别技术的发展前景

识别准确率的进一步提高将进一步缩短准备电子医疗文件所需的时间。语音识别系统开发人员面临的主要挑战之一是，在录音包含大量噪音或陌生人声音的困难声学条件下，如何确保语音分析的高度准确性。由于俄语的特殊性，用户面临的另一个问题是词尾的识别。因此，俄语语音识别系统最重要的任务是开发语言模型。该模型应该能准确预测和匹配句子中的单词。

语音输入程序与医疗信息系统的整合将允许实现远程填写结构化的电子医疗文件。改进后的系统不仅能识别医生的用语，还能理解所识别的文本应放在医疗文件的哪个部分。这种功能的实现将允许超声医生、病理形态学家、内窥镜医生、外科医生在医疗操作过程中直接填写医疗文件，

而不是事后填写。这将对文件的质量和准备速度产生重大影响。

语音识别技术在医疗文件（包括放射检查协议书）词汇的标准化和统一化方面也具有巨大潜力。迄今为止，还没有一个通用的术语列表来描述放射学中的相同病理状态[41]。即使是同一科室的两位不同放射科医师，在准备检查总结时也可能使用不同的同义词来描述相同的病理检查所见。一系列研究指出，使用结构化和标准化的协议书以及统一的术语，不仅使放射科医生更容易理解和获得必要的信息，而且也使其他专科医师更容易理解和获得必要的信息[42-44]。

迄今为止，人们一直尝试建立一个专门的术语库。该术语库将使电子计算机断层扫描检查中发现的病理变化的描述标准化。该术语库包含120个俄语放射术语及其描述示例[45]。然而，术语库的开发是一项艰巨的任务。它需要大量专家和放射学界对术语进行统一化。

结论

文献综述包括放射诊断中语音识别技术发展的简要历史参考、其演变的详细描述以及基于文献数据的创新优缺点评估。我们特别注意语音识别技术在俄罗斯放射科的应用。一些论文描述了俄语医学术语识别准确率的显著提高。未来，语音识别技术的应用可以缩短医疗文件的准备时间，并更多的时间被用于与患者交流和研究其病史。这种方法为个性化医疗的发展提供新机会。然而，识别词尾和句中词语一致的错误仍然存在。这就需要医生花费更多的时间来纠正这些错误。未来，这些问题将通过应用新人工智能算法得到解决。

一些研究结果表明，放射科医生对语音识别系统保持积极态度。这表现在他们的工作中更常使用语音识别系统。毫无疑问，该技术应该在俄罗斯医疗领域继续发展。国内试点和国外成熟的实施案例证明了其使用的积极态势。进一步提高医疗术语识别的准确性将使语音识别技术在医疗专家中得到更多的支持。

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled "Theoretical and methodological framework for digital transformation in radiology" (USIS No. 123031400118-0) in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 "On approval of state assignments funded by means of allocations from the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025" issued by the Moscow Health Care Department.

⁹ STC集团[互联网]。Voice2Med: 语音填写病历史程序。访问方式: <https://www.speechpro.ru/product/programmy-dlya-raspoznavaniya-rechi-v-tekst/voice2med>。

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. N. Kudryavtsev — concept and design of the paper, text writing, approval of the final version of the paper; K. Bardasova — data collection and analysis; A. Khoruzhaya — data interpretation, text editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вечорко В.И. Распределение рабочего времени на амбулаторном приеме врача-терапевта участкового с медицинской сестрой в поликлинике города Москвы (фотохронометражное наблюдение) // Социальные аспекты здоровья населения. 2016. № 6. С. 4.
2. Каплиева О.В., Марера Л.А., Воробьева Л.П. Хронометраж рабочего времени врачей детского консультативно-диагностического отделения // Дальневосточный медицинский журнал. 2018. № 4. С. 72–76.
3. Ryabchikov I.V., Zagafarov R.R., Mukhina V.V., et al. Distribution of the traumatologist-orthopaedician's working time with outpatients // Moscow Sur J. 2018. N 6. P. 38–43. doi: 10.17238/issn2072-3180.2018.6.38-43
4. Kudryavtsev N.D., Sergunova K.A., Ivanova G.V., et al. Evaluation of the effectiveness of the implementation of speech recognition technology for the preparation of radiological protocols // VIT. 2020. Vol. 6, N S1. P. 58–64. doi: 10.37690/1811-0193-2020-S1-58-64
5. Blackley S.V., Huynh J., Wang L., et al. Speech recognition for clinical documentation from 1990 to 2018: A systematic review // J Am Med Inf Association. 2019. Vol. 26, N 4. P. 324–338. doi: 10.1093/jamia/ocy179
6. Motyer R.E., Liddy S., Torreggiani W.C., Buckley O. Frequency and analysis of non-clinical errors made in radiology reports using the National Integrated Medical Imaging System voice recognition dictation software // Ir J Med Sci. 2016. Vol. 185, N 4. P. 921–927. doi: 10.1007/s11845-016-1507-6
7. Hodgson T., Coiera E. Risks and benefits of speech recognition for clinical documentation: A systematic review // J Am Med Inf Association. 2016. Vol. 23, N e1. P. e169–e179. doi: 10.1093/jamia/ocv152
8. Itakura F. Minimum prediction residual principle applied to speech recognition // IEEE Trans Acoust Speech Signal Process. 1975. Vol. 23, N 1. P. 67–72. doi: 10.1109/TASSP.1975.1162641
9. Leeming W., Porter D., Jackson J.D., et al. Computerized radiologic reporting with voice data-entry // Radiology. 1981. Vol. 138, N 3. P. 585–588. doi: 10.1148/radiology.138.3.7465833
10. Simon M., Leeming B.W., Bleich H.L., et al. Computerized radiology reporting using coded language // Radiology. 1974. Vol. 113, N 2. P. 343–349. doi: 10.1148/113.2.343
11. Vogel M., Kaisers W., Wassmuth R., Mayatepek E. Analysis of documentation speed using web-based medical speech recognition technology: Randomized controlled trial // J Med Internet Res. 2015. Vol. 17, N 11. P. e247. doi: 10.2196/jmir.5072
12. Ramaswamy M.R., Chaljub G., Esch O., et al. Continuous speech recognition in MR imaging reporting // Am J Roentgenol. 2000. Vol. 174, N 3. P. 617–622. doi: 10.2214/ajr.174.3.1740617
13. Poder T.G., Fiset J.F., Déry V. Speech recognition for medical dictation: Overview in quebec and systematic review // J Med Systems. 2018. Vol. 42, N 5. P. 89. doi: 10.1007/s10916-018-0947-0
14. Sankaranarayanan B., David G., Vishwanath K.R., et al. Would technology obliterate medical transcription? // Proceedings of the 2017 ACM SIGMIS Conference on Computers and People Research. New York, NY, USA: ACM, 2017. P. 97–104. doi: 10.1145/3084381.3084414
15. Houston J.D., Rupp F.W. Experience with implementation of a radiology speech recognition system // J Digital Imaging. 2000. Vol. 13, N 3. P. 124–128. doi: 10.1007/BF03168385
16. Saxena K., Diamond R., Conant R.F., et al. Provider adoption of speech recognition and its impact on satisfaction, documentation quality, efficiency, and cost in an inpatient EHR // AMIA Jt Summits Transl Sci Proc. 2018. Vol. 2017. P. 186–195.
17. Schwartz L.H., Kijewski P., Hertogen H., et al. Voice recognition in radiology reporting // Am J Roentgenol. 1997. Vol. 169, N 1. P. 27–29. doi: 10.2214/ajr.169.1.9207496
18. Vogel M., Kaisers W., Wassmuth R., Mayatepek E. Analysis of documentation speed using web-based medical speech recognition technology: Randomized controlled trial // J Med Int Research. 2015. Vol. 17, N 11. P. e247. doi: 10.2196/jmir.5072
19. Hammana I., Lepanto L., Poder T., et al. Speech recognition in the radiology department: A systematic review // Health Inf Manag. 2015. Vol. 44, N 2. P. 4–10. doi: 10.1177/183335831504400201
20. Mohr D.N., Turner D.W., Pond G.R., et al. Speech recognition as a transcription aid: A randomized comparison with standard transcription // J Am Med Inf Association. 2003. Vol. 10, N 1. P. 85–93. doi: 10.1197/jamia.m1130
21. Singh M., Pal T.R. Voice recognition technology implementation in surgical pathology: Advantages and limitations // Arch Pathol Laboratory Med. 2011. Vol. 135, N 11. P. 1476–1481. doi: 10.5858/arpa.2010-0714-OA
22. Goss F.R., Blackley S.V., Ortega C.A., et al. A clinician survey of using speech recognition for clinical documentation in the electronic health record // Int J Med Inf. 2019. N 130. P. 103938. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2019.07.017
23. Blackley S.V., Schubert V.D., Goss F.R., et al. Physician use of speech recognition versus typing in clinical documentation: A controlled observational study // Int J Med Inform. 2020. N 141. P. 104178. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2020.104178
24. Yang L., Ene I.C., Belaghi R.A., et al. Stakeholders' perspectives on the future of artificial intelligence in radiology: A scoping review // Eur Radiol. 2022. Vol. 32, N 3. P. 1477–1495. doi: 10.1007/s00330-021-08214-z
25. European Society of Radiology (ESR). Impact of artificial intelligence on radiology: A EuroAIM survey among members of the European Society of Radiology // Insights Imaging. 2019. Vol. 10, N 1. P. 105. doi: 10.1186/s13244-019-0798-3
26. Szymański P., Żelasko P., Morzyet M., et al. WER we are and WER we think we are // arXiv. arXiv:2010.03432.2020. doi: 10.48550/arXiv.2010.03432
27. Li J. Recent advances in end-to-end automatic speech recognition // arXiv. arXiv:2111.01690.2022. doi: 10.48550/arXiv.2111.01690
28. Juang B.H., Rabiner L.R. Hidden markov models for speech recognition // Technometrics. 1991. Vol. 33, N 3. P. 251–272.

29. Graves A., Mohamed A., Hinton G. Speech recognition with deep recurrent neural networks // 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2013. P. 6645–6649. doi: 10.48550/arXiv.1303.5778
30. Deng L., Li X. Machine learning paradigms for speech recognition: An overview // IEEE Trans Audio Speech Lang Process. 2013. Vol. 21, N 5. P. 1060–1089.
31. Казачкин А.Е. Методы распознавания речи, современные речевые технологии // Молодой ученый. 2019. № 39. С. 6–8.
32. Kamath U., Liu J., Whitaker J. Deep learning for NLP and speech recognition. Cham: Springer International Publishing, 2019. 621 p.
33. Wang D., Wang X., Lv S. An overview of end-to-end automatic speech recognition // Symmetry. 2019. Vol. 11, N 8. P. 1018. doi: 10.3390/sym11081018
34. Zhzhikashvili V.A., Farkhadov M.P., Petukhova N.V., Zhzhikashvili A.V. The first voice recognition applications in Russian language for use in The Interactive Information Systems // Speech and Computer. Saint-Petersburg, SPECOM, 2004. P. 304–307.
35. Карпов А.А., Ронжин А.А., Ли И.В. SIRIUS система дикторне-зависимого распознавания слитной русской речи // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2005. Т. 54, № 10. С. 44–54.
36. Ирзаев М.Г. Использование голосового ввода информации в медицинских учреждениях для заполнения электронных карт и историй болезней пациентов // Новые технологии и техника в медицине, биологии и экологии: сборник научных трудов. 2013. № 3. С. 149–154.
37. Vazhenina D., Markov K., Karpov A., et al. State-of-the-art speech recognition technologies for Russian language // Proceedings of the 2012 Joint International Conference on Human-Centered Computer Environments. Aizu-Wakamatsu Japan: ACM, 2012. P. 59–63. doi: 10.1145/2160749.2160763
38. Kamvar M., Chelba C. Optimal size, freshness and time-frame for voice search vocabulary // arXiv. arXiv:1210.8436.2012.
39. Kipyatkova I.S., Karpov A.A. An analytical survey of large vocabulary Russian speech recognition systems // SPIIRAS Proceedings. 2014. Vol. 1, N 12. P. 7. doi: 10.15622/sp.12.1
40. Kudryavtsev N.D., Semenov D.S., Kozhikhina D.D., Vladzimirskyy A.V. Speech recognition technology: Results of a survey of radiologists at the Moscow reference center for diagnostic radiology // Healthcare Management. 2022. Vol. 8, N 3. P. 95–104. doi: 10.33029/2411-8621-2022-8-3-95-104
41. Синицын В.Е., Комарова М.А., Мершина Е.А. Протокол рентгенологического описания: прошлое, настоящее, будущее // Вестник рентгенологии и радиологии. 2014. № 3. С. 35–40.
42. Sobez L.M., Kim S.H., Angstwurm M., et al. Creating high-quality radiology reports in foreign languages through multilingual structured reporting // Eur Radiol. 2019. Vol. 29, N 11. P. 6038–6048. doi: 10.1007/s00330-019-06206-8
43. Ganesan D., Duong P.A., Probyn L., et al. Structured reporting in radiology // Academic Radiology. 2018. Vol. 25, N 1. P. 66–73. doi: 10.1016/j.acra.2017.08.005
44. Dos Santos P.D., Hempel J.M., Mildenberger P., et al. Structured reporting in clinical routine // Rofo. 2019. Vol. 191, N 01. P. 33–39. doi: 10.1055/a-0636-3851
45. Андрианова М.Г., Кудрявцев Н.Д., Петряйкин А.В. Разработка тезауруса рентгенологических терминов для голосового заполнения протоколов диагностических исследований // Digital Diagnostics. 2022. Т. 3, № S1. С. 21–22. doi: 10.17816/DD105703

REFERENCES

1. Vechorko VI. Distribution of working time at an outpatient appointment of a district therapist with a nurse in a polyclinic in Moscow (photochronometric observation). *Social Aspects Public Health*. 2016;(6):4. (In Russ).
2. Kaplieva OV, Marega LA, Vorobyeva LP. Timekeeping of working hours of doctors of the children's consultative and diagnostic department. *Far Eastern Med J*. 2018;(4):72–76. (In Russ).
3. Ryabchikov IV, Zagafarov RR, Mukhina VV, et al. Distribution of the traumatologist-orthopaedician's working time with outpatients. *Moscow Sur J*. 2018;(6):38–43. (In Russ). doi: 10.17238/issn2072-3180.2018.6.38-43
4. Kudryavtsev ND, Sergunova KA, Ivanova GV, et al. Evaluation of the effectiveness of the implementation of speech recognition technology for the preparation of radiological protocols. *VIT*. 2020;6(S1):58–64. (In Russ). doi: 10.37690/1811-0193-2020-S1-58-64
5. Blackley SV, Huynh J, Wang L, et al. Speech recognition for clinical documentation from 1990 to 2018: A systematic review. *J Am Med Inf Association*. 2019;26(4):324–338. doi: 10.1093/jamia/ocy179
6. Motyer RE, Liddy S, Torreggiani WC, Buckley O. Frequency and analysis of non-clinical errors made in radiology reports using the National Integrated Medical Imaging System voice recognition dictation software. *Ir J Med Sci*. 2016;185(4):921–927. doi: 10.1007/s11845-016-1507-6
7. Hodgson T, Coiera E. Risks and benefits of speech recognition for clinical documentation: A systematic review. *J Am Med Inf Association*. 2016;23(e1):e169–e179. doi: 10.1093/jamia/ocv152
8. Itakura F. Minimum prediction residual principle applied to speech recognition. *IEEE Trans Acoust Speech Signal Process*. 1975;23(1):67–72. doi: 10.1109/TASSP.1975.1162641
9. Leeming W, Porter D, Jackson JD, et al. Computerized radiologic reporting with voice data-entry. *Radiology*. 1981;138(3):585–588. doi: 10.1148/radiology.138.3.7465833
10. Simon M, Leeming BW, Bleich HL, et al. Computerized radiology reporting using coded language. *Radiology*. 1974;113(2):343–349. doi: 10.1148/113.2.343
11. Vogel M, Kaisers W, Wassmuth R, Mayatepek E. Analysis of documentation speed using web-based medical speech recognition technology: Randomized controlled trial. *J Med Internet Res*. 2015;17(11):e247. doi: 10.2196/jmir.5072
12. Ramaswamy MR, Chaljub G, Esch O, et al. Continuous speech recognition in MR imaging reporting. *Am J Roentgenol*. 2000;174(3):617–622. doi: 10.2214/ajr.174.3.1740617

13. Poder TG, Fiset JF, Déry V. Speech recognition for medical dictation: Overview in quebec and systematic review. *J Med Systems*. 2018;42(5):89. doi: 10.1007/s10916-018-0947-0
14. Sankaranarayanan B, David G, Vishwanath KR, et al. Would technology obliterate medical transcription? In: Proceedings of the 2017 ACM SIGMIS Conference on Computers and People Research. New York, NY, USA: ACM; 2017. P. 97–104. doi: 10.1145/3084381.3084414
15. Houston JD, Rupp FW. Experience with implementation of a radiology speech recognition system. *J Digital Imaging*. 2000;13(3):124–128. doi: 10.1007/BF03168385
16. Saxena K, Diamond R, Conant RF, et al. Provider adoption of speech recognition and its impact on satisfaction, documentation quality, efficiency, and cost in an inpatient EHR. *AMIA Jt Summits Transl Sci Proc*. 2018;2017:186–195.
17. Schwartz LH, Kijewski P, Hertogen H, et al. Voice recognition in radiology reporting. *Am J Roentgenol*. 1997;169(1):27–29. doi: 10.2214/ajr.169.1.9207496
18. Vogel M, Kaisers W, Wassmuth R, Mayatepek E. Analysis of documentation speed using web-based medical speech recognition technology: Randomized controlled trial. *J Med Int Research*. 2015;17(11):e247. doi: 10.2196/jmir.5072
19. Hammana I, Lepanto L, Poder T, et al. Speech recognition in the radiology department: A systematic review. *Health Inf Manag*. 2015;44(2):4–10. doi: 10.1177/183335831504400201
20. Mohr DN, Turner DW, Pond GR, et al. speech recognition as a transcription aid: A randomized comparison with standard transcription. *J Am Med Inf Association*. 2003;10(1):85–93. doi: 10.1197/jamia.m1130
21. Singh M, Pal TR. Voice recognition technology implementation in surgical pathology: Advantages and limitations. *Arch Pathol Laboratory Med*. 2011;135(11):1476–1481. doi: 10.5858/arpa.2010-0714-OA
22. Goss FR, Blackley SV, Ortega CA, et al. A clinician survey of using speech recognition for clinical documentation in the electronic health record. *Int J Med Inf*. 2019;130:103938. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2019.07.017
23. Blackley SV, Schubert VD, Goss FR, et al. Physician use of speech recognition versus typing in clinical documentation: A controlled observational study. *Int J Med Inform*. 2020;141:104178. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2020.104178
24. Yang L, Ene IC, Belaghi RA, et al. Stakeholders' perspectives on the future of artificial intelligence in radiology: A scoping review. *Eur Radiol*. 2022;32(3):1477–1495. doi: 10.1007/s00330-021-08214-z
25. European Society of Radiology (ESR). Impact of artificial intelligence on radiology: A EuroAIM survey among members of the European Society of Radiology. *Insights Imaging*. 2019;10(1):105. doi: 10.1186/s13244-019-0798-3
26. Szymański P, Żelasko P, Morzyet M, et al. WER we are and WER we think we are. *arXiv*. arXiv:2010.03432.2020. doi: 10.48550/arXiv.2010.03432
27. Li J. Recent advances in end-to-end automatic speech recognition. *arXiv*. arXiv:2111.01690.2022. doi: 10.48550/arXiv.2111.01690
28. Juang BH, Rabiner LR. Hidden markov models for speech recognition. *Technometrics*. 1991;33(3):251–272.
29. Graves A, Mohamed A, Hinton G. Speech recognition with deep recurrent neural networks In: 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Vancouver, BC, Canada: IEEE; 2013. P. 6645–6649. doi: 10.48550/arXiv.1303.5778
30. Deng L, Li X. Machine learning paradigms for speech recognition: An overview. *IEEE Trans Audio Speech Lang Process*. 2013;21(5):1060–1089.
31. Kazachkin AE. Speech recognition methods, modern speech technologies. *Young Scientist*. 2019;(39):6–8. (In Russ).
32. Kamath U, Liu J, Whitaker J. Deep learning for NLP and speech recognition. Cham: Springer International Publishing; 2019. 621 p.
33. Wang D, Wang X, Lv S. An overview of end-to-end automatic speech recognition. *Symmetry*. 2019;11(8):1018. doi: 10.3390/sym11081018
34. Zhzhikashvili VA, Farkhadov MP, Petukhova NV, Zhzhikashvili AV. The first voice recognition applications in Russian language for use in The Interactive Information Systems. In: Speech and Computer. Saint-Petersburg, SPECOM; 2004. P. 304–307. (In Russ).
35. Karpov AA, Ronzhin AA, Li IV. SIRIUS system of dictation-independent recognition of the merged Russian speech. *Izvestia Southern Federal University. Technical Sci*. 2005;54(10):44–54. (In Russ).
36. Irzaev MG. The use of voice input of information in medical institutions to fill in electronic charts and patient medical histories. *New technologies and techniques in medicine, biology and ecology: Collection of scientific papers*. 2013;(3):149–154. (In Russ).
37. Vazhenina D, Markov K, Karpov A, et al. State-of-the-art speech recognition technologies for Russian language. In: Proceedings of the 2012 Joint International Conference on Human-Centered Computer Environments. Aizu-Wakamatsu Japan: ACM; 2012. P. 59–63. doi: 10.1145/2160749.2160763
38. Kamvar M, Chelba C. Optimal size, freshness and time-frame for voice search vocabulary. *arXiv*. arXiv:1210.8436.2012.
39. Kipyatkova IS, Karpov AA. An analytical survey of large vocabulary Russian speech recognition systems. *SPIIRAS Proceedings*. 2014;1(12):7. (In Russ). doi: 10.15622/sp.12.1
40. Kudryavtsev ND, Semenov DS, Kozhikhina DD, Vladymyrsky AV. Speech recognition technology: Results of a survey of radiologists at the Moscow reference center for diagnostic radiology. *Healthcare Management*. 2022;8(3):95–104. (In Russ). doi: 10.33029/2411-8621-2022-8-3-95-104
41. Sinitsyn VE, Komarova MA, Merschina EA. Protocol of radiological description: Past, present, future. *Bulletin Radiology Radiology*. 2014;(3):35–40. (In Russ).
42. Sobez LM, Kim SH, Angstwurm M, et al. Creating high-quality radiology reports in foreign languages through multilingual structured reporting. *Eur Radiol*. 2019;29(11):6038–6048. doi: 10.1007/s00330-019-06206-8
43. Ganeshan D, Duong PA, Probyn L, et al. Structured reporting in radiology. *Academic Radiology*. 2018;25(1):66–73. doi: 10.1016/j.acra.2017.08.005
44. Dos Santos PD, Hempel JM, Mildenberger P, et al. Structured reporting in clinical routine. *Rofo*. 2019. Vol. 191, N 01. P. 33–39. doi: 10.1055/a-0636-3851
45. Andrianova MG, Kudryavtsev ND, Petryaykin AV. Development of a thesaurus of radiological terms for voice filling of diagnostic research protocols. *Digital Diagnostics*. 2022;3(S1):21–22. (In Russ). doi: 10.17816/DD105703

AUTHORS' INFO

*** Nikita D. Kudryavtsev;**

address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;

ORCID: 0000-0003-4203-0630;

eLibrary SPIN: 1125-8637;

e-mail: KudryavtsevND@zdrav.mos.ru

Kristina A. Bardasova;

ORCID: 0009-0002-4310-1357;

eLibrary SPIN: 1156-7627;

e-mail: bardasovakris@mail.ru

Anna N. Khoruzhaya;

ORCID: 0000-0003-4857-5404;

eLibrary SPIN: 7948-6427;

e-mail: KhoruzhayaAN@zdrav.mos.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Кудрявцев Никита Дмитриевич;**

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

ORCID: 0000-0003-4203-0630;

eLibrary SPIN: 1125-8637;

e-mail: KudryavtsevND@zdrav.mos.ru

Бардасова Кристина Алексеевна;

ORCID: 0009-0002-4310-1357;

eLibrary SPIN: 1156-7627;

e-mail: bardasovakris@mail.ru

Хоружая Анна Николаевна;

ORCID: 0000-0003-4857-5404;

eLibrary SPIN: 7948-6427;

e-mail: KhoruzhayaAN@zdrav.mos.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322758>

Роль двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике подагры и других кристаллических артропатий: обзор литературы

М.В. Онойко, Е.А. Мершина, О.А. Георгинова, М.Л. Плотникова,
А.В. Панюкова, В.Е. Синицын

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

В статье обсуждается принцип работы двухэнергетической компьютерной томографии, её диагностическая точность, наиболее часто встречаемые виды артефактов. Рассматривается возможная зависимость наличия депозитов моноурата натрия при выполнении двухэнергетической компьютерной томографии от других клинических данных, значение двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике подагры, её роль в дифференциальной диагностике кристаллических артропатий.

Метод двухэнергетической компьютерной томографии имеет ряд преимуществ по сравнению с диагностическим артроцентезом, являющимся золотым стандартом в диагностике подагры: неинвазивность, скорость выполнения, многократное снижение риска ятрогенных осложнений. Выявление подагры, контроль эффективности лечения, возможность проведения дифференциальной диагностики — все эти задачи могут реализоваться с помощью двухэнергетической компьютерной томографии.

Ключевые слова: двухэнергетическая компьютерная томография; ДЭКТ; подагра; пирофосфат кальция; кристаллические артропатии; диагностическая визуализация.

Как цитировать

Онойко М.В., Мершина Е.А., Георгинова О.А., Плотникова М.Л., Панюкова А.В., Синицын В.Е. Роль двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике подагры и других кристаллических артропатий: обзор литературы // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 197–213. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322758>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322758>

The role of dual-energy computed tomography in the diagnosis of gout and other crystalline arthropathies: A review

Maria V. Onoyko, Elena A. Mershina, Olga A. Georginova, Maria L. Plotnikova, Aleksandra V. Panyukova, Valentin E. Sinitsyn

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

The importance of dual-energy computed tomography in the diagnosis of gout, the principles of dual-energy computed tomography, the accuracy of the methodology, and the types of artifacts are discussed in this study. The possible dependence of the presence of deposits of sodium monourate on other clinical data and the role of dual-energy computed tomography in the differential diagnosis of other crystalline arthropathies are considered.

The dual-energy computed tomography has several advantages, including noninvasiveness, speed of execution, and a significant reduction in the risk of iatrogenic consequences compared with diagnostic arthrocentesis, which is the gold standard in diagnosing gout. Dual-energy computed tomography can accomplish gout detection, treatment, and differential diagnosis.

Keywords: calcium pyrophosphate, crystal arthropathies, diagnostic imaging, dual-energy computed tomography, gout

To cite this article

Onoyko MV, Mershina EA, Georginova OA, Plotnikova ML, Panyukova AV, Sinitsyn VE. The role of dual-energy computed tomography in the diagnosis of gout and other crystalline arthropathies: A review. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):197–213. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322758>

Received: 08.04.2023

Accepted: 11.05.2023

Published: 27.05.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322758>

双能量计算机断层扫描在诊断痛风和其他晶体性关节病中的作用：文献综述

Maria V. Onoyko, Elena A. Mershina, Olga A. Georginova, Maria L. Plotnikova, Aleksandra V. Panyukova, Valentin E. Sinitsyn

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

简评

本文讨论了双能量计算机断层扫描的操作原理、其诊断准确度以及最常见的伪影类型。考虑了在双能量计算机断层扫描过程中，单尿酸钠沉积的存在对其他临床数据的可能依赖性，双能量计算机断层扫描在诊断痛风中的意义以及其在晶体性关节病的鉴别诊断中的作用。

与作为诊断痛风金标准的诊断性关节穿刺术相比，双能量计算机断层扫描有几个优点：无创性、执行速度、医源性并发症风险的多次减少。痛风的检测、治疗效果的监测、鉴别诊断的可能性，都是可以通过双能量计算机断层扫描来实现的。

关键词：双能量计算机断层扫描；痛风；焦磷酸钙；晶体性关节病；诊断影像学。

引用本文：

Onoyko MV, Mershina EA, Georginova OA, Plotnikova ML, Panyukova AV, Sinitsyn VE. 双能量计算机断层扫描在诊断痛风和其他晶体性关节病中的作用：文献综述. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):197–213. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322758>

收到: 08.04.2023

接受: 11.05.2023

发布日期: 27.05.2023

绪论

痛风是一种全身性类风湿病，由于血清尿酸水平升高（高尿酸血症），单尿酸钠晶体沉积在关节、骨骼、软骨或软组织中。根据不同的病变类型，可能会出现痛风性关节炎和痛风性肾病或尿酸性肾石病。

痛风：一种全身性痛风石性疾病

在过去的十年中，已经积累了大量的数据，这些数据使我们不仅能将高尿酸血症作为痛风和泌尿系结石病的标志物。众所周知，高尿酸血症在一些代谢性和血液动力学疾病的发生和发展中起着重要作用，这些疾病包括代谢综合征、慢性心力衰竭、高血压、动脉粥样硬化、早期梗塞和中风、糖尿病等。

美国风湿病学会（American College of Rheumatology, ACR）和欧洲风湿病协会联盟（European Alliance of Associations for Rheumatology, EULAR）的分类标准（2015年）被用于诊断痛风，该标准包括临床、实验室和仪器标准[1]。所制定标准的灵敏度和特异度分别为92%和89%[1]。

如果患者有“初始征兆”：至少有一次外周关节或关节囊的病态和浮肿，就可以应用这些标准。诊断痛风的充分标准是通过偏振显微镜在滑液或痛风石性组织（单尿酸钠的宏观聚集体，周围有肉芽肿性炎症）中发现到单尿酸钠晶体。因此，这种方法被视为金标准。如果没有充分标准，则有必要采用临床标准（痛风的典型临床症状、痛风石的检测、发作的时间特征）、实验室标准（血清尿酸水平、关节液化验）和仪器诊断方法（损坏关节的超声检查、双能量计算机断层扫描）[1]。根据特异度的程度，每项标准都有一定的分值。根据ACR/EULAR-2015分类标准，在进行双能量计算机断层扫描时尿酸盐沉积物的迹象肉眼测定估计为4分；23分中的8分足以验证“痛风”的诊断。因此，双能量计算机断层扫描是核实诊断的重要部分。

抽取关节液的关节穿刺术是一种侵入性和痛苦的方法，这种方法有一系列局限性和并发症，因此有必要寻找其他诊断方法来确定可靠的诊断[2, 3]。双能量计算机断层扫描可能是一种非侵入性诊断方法，可将尿酸盐沉积物从周围组织中分离出来，具有高度的灵敏度和特异度[4]。

高尿酸血症、单尿酸钠晶体

痛风是一种全身性痛风石性疾病，其特征是单尿酸钠晶体沉积在各种组织中，因此，由于外在环境和/或遗传因素，高尿酸血症的患者中会发生炎症[5]。

无论有没有遗传倾向，痛风都应被视为一种分阶段的疾病[6]。起点是高尿酸血症，这是一种血

清尿酸水平超过420 $\mu\text{mol/L}$ 或超过6 mg/dL 并形成单尿酸钠晶体的临床症状[7]。

根据临床实验室和仪器数据，痛风的病程可分为四个连续的阶段，但这些阶段并不总是从一个阶段发展到另一个阶段：（1）无痛风症状或病史、无尿酸盐晶体沉积的高尿酸血症；（2）有尿酸盐晶体沉积征候的无症状高尿酸血症；（3）痛风性关节炎正在发作或已发作的高尿酸血症；（4）存在痛风石、慢性关节炎和侵蚀性关节炎的高尿酸血症[5]。

如果没有适当的降尿酸盐治疗，病情就会发展。一开始，单尿酸钠晶体形成聚集体，在某些组织中出现，并取决于环境条件。单尿酸钠在37°C生理溶液中的溶解度为7 mg/dl (416 $\mu\text{mol/L}$)，如果滑液中单尿酸钠的浓度增加，其随后就会沉积在软骨表面，并进一步破坏软骨和渗透到软骨下骨中[8]。这最终会导致活动性骨骼重塑。单尿酸钠晶体在滑液中长期饱和会导致单尿酸钠宏观沉积的形成，这些沉积物被肉芽肿性炎症（痛风石）包围[9]。它们最常出现在富含蛋白聚糖的组织（关节囊、管状骨、肌腱和皮肤）中，但也可能（相对较少）出现在实质器官组织中。单尿酸钠沉积引起的组织反应具有慢性炎症反应的特征，先天性免疫和适应性免疫都参与了这种反应[10]。

在慢性痛风发展的情况下，发作的频率、持续时间和严重程度都会增加，痛风石开始形成，会出现重变形性关节炎，并发症增多。

根据最近的流行病学研究，高尿酸血症在成年人群中的发病率正在逐渐上升。在欧洲和美国，0.68-3.9%的病例会出现尿酸水平升高，而在中国的一些地区，尿酸水平升高的比例为6.4-21.04%[11]。在俄罗斯，这一指数为16.8%[7]，5-8%的人长期无症状。众所周知，高尿酸血症会增加慢性肾脏疾病、肥胖、2型糖尿病、心血管疾病和死亡的风险[12, 13]。

诊断痛风的方法

痛风的诊断要求至少有一次关节炎发作（第一跖趾关节、踝关节或中足）或滑液囊炎。确定诊断的第二个充分标准是测定血清尿酸水平和化验发炎关节的滑液，或使用偏振光显微镜的吸引活组织检查测定单尿酸钠晶体[14]。用于诊断目的，关节穿刺术可是在急性期和发作间期进行的，但需要注意的是，滑液的处理、长期储存和降尿酸盐治疗的使用在某些情况下可能会对化验的可靠性和单尿酸钠检测方法的灵敏度产生影响[15]。所有痛风患者的血清尿酸水平都会周期地升高，但30%的高尿酸血症患者中即使在痛风急性发作时也未诊断出来[16]。因此，痛风的诊断不应仅依据血清尿酸水平。如果炎症性关节病的临床过程不典型，建议使用不同的影像学检查方法（如射线照相术、超声检查和双能量计算机断层扫描）来诊断痛风，包括使用，以达到鉴别诊断的目的，甚至在没有机会进行滑液偏振显微镜检查的情况下。



图1。一名被诊断为痛风患者的骨侵蚀（数据来自莫斯科国立大学医学教育研究中心的放射学检查）。

痛风的典型影像学征象是“冲孔”骨侵蚀，具有硬化性轮廓硬化和悬空边缘，有时被称为“鼠咬”或“鸥翼”侵蚀（图1）。

在慢性痛风中，可以发现以非同性软组织实变形式出现的关节痛风石。痛风发病数年后才会出现放射性变化，这些变化可能有助于在疾病晚期验证诊断[16, 17]。

双能量计算机断层扫描：痛风器械诊断的另一种方法

关节超声检查和双能量计算机断层扫描是痛风器械诊断的另一种方法，它们允许检测到尿酸盐沉积、痛风石和骨侵蚀。

在关节超声检查中，尿酸盐沉积物可是在关节软骨表面以高回声间断条纹的形式检测到的，不受视角影响（双轮廓效应）；或是在关节液中以浮动的高回声异质病灶的形式检测到的，呈“暴风雪”状；也可是在关节间隙或肌腱上以高回声聚集的形式检测到的[18]。

双能量计算机断层扫描在鉴别诊断方面具有优势，例如，在痛风与败血性关节炎或单尿酸钠积聚与焦磷酸钙沉积（假痛风、软骨钙质沉着症）之间[19, 20]。双能量计算机断层扫描允许详细地检查各种解剖区域，无创检测其中的单尿酸钠晶体沉积[21-23]。

双能量计算机断层扫描的工作原理

双能量计算机断层扫描是一种非常具有前途的现代检查方法。这种方法在于使用两种能量不同的X射线辐射来扫描人体的某一区域，从而对物质进行光谱区分。在这种条件下，物质具有不同的信号吸收系数。这样就可以按化学成分将物质区分开来。在X射线管中的低电压下（20-50 kV），X

射线辐射会被物质完全吸收（光电效应占主导地位）；在高电压下（50-150 kV），康普顿散射占主导地位，这会导致信号衰减[24, 25]。光电效应和康普顿效应对每种化合物的影响取决于物质的电子密度和原子序数[24, 26]：原子序数越高、电子密度越低（如碘、钙、钡、氩），光电吸收的影响就越大，而原子序数低、电子密度高的元素（碳、氮、氢、氧）则更依赖于康普顿效应[24]。在碘、钙、钡等元素中，可以观察到K-edge（即尖峰信号）的出现，该信号是光子吸收和从K壳层的光电子发射过程的特征。这一现象正是双能量计算机断层扫描的核心所在。由于某些元素中存在明显的K-edge，被研究的物质在不同能量下的吸收系数值之间的差异会增大，从而使其区分成为可能。

双能量计算机断层扫描有一些类型：两个垂直排列的光源和探测器；单光源探测器系统（需要快速电压切换）；一套单X射线源和多层夹层探测器[26]。为了处理数据，要采用三物质分解法（three-material decomposition analysis）或双物质分解法（two-material decomposition analysis）。如果在痛风诊断程序中使用双物质分解法，则分解以尿酸和钙两种成分为基础。软组织是“参考点”，根据这个参考点，算法将判断在检查区域中是否存在钙或单尿酸钠。因此，可以构建一个物质密度图（material density map, MD-map）。在这种地图上，每种成分都有一个颜色编码。在西门子双能量计算机断层扫描系统中，皮质骨为蓝色，松质骨为粉色，单尿酸钠晶体为绿色。其他制造商的处理软件可能会使用不同的色标。

除定性评估外，还可对相关化学物质进行定量评估。Dual Energy Gout程序会自动计算视野中单尿酸钠沉积物的总体积[23]。需要注意的是，总体积包括伪影，因此了解伪影的类型和可能的定位极为重要。使用剪切工具可以去除与伪影相对应的绿色区域。操作完成后，程序将自动重新计算单尿酸钠沉积物的总体积。

值得注意的是，可以使用彩色编码进行三维重建（Volume Rendering Technique, VRT image）及其他重建算法，后者也可以被用于具有其他目的的研究中（图2）。

与其他诊断方法相比，双能量计算机断层扫描的主要优势在于两个事实：可以通过两种能量水平的扫描来确定物体的化学成分，并且可以对相关化学物质进行定量评估。无创性、检查迅速、无医源性并发症都是双能量计算机断层扫描无可否认的优势。

有一种误解认为，双能量扫描的辐射量是单能量扫描的2倍。然而，大量研究结果表明，双能量计算机断层扫描和单能量计算机断层扫描的辐射量和图像质量相当[27-29]。这不仅得益于设备的技术特点，并且得益于采用减少辐射剂量的方法，这些方法包括独立设置电流强度、迭代重建和其他现代算法、使用VNC图像（Virtual



图2。三维重建、混合图像和彩色编码图像（右踝关节和足部小关节区域）：蓝色——皮质骨；粉色——松质骨；绿色——单尿酸钠晶体（数据来自莫斯科国立大学医学教育研究中心的双能量计算机断层扫描）。

Non-Contrast image)、将FOV (field of view) 大小限制在感兴趣区内等[30, 31]。

使用双能量计算机断层扫描可以进行虚拟单色图像 (Virtual Monochromatic Image, VMC image) 重建。这些图像是使用单色辐射进行理论扫描的产物。该程序有助于提高对比度，减少金属结构造成的伪影[32]。

其缺点包括：双能量图像的视场 (FOV, field of view) 较小，不同年代的断层扫描仪的视场直

径仅为33-35 cm；可能出现假阳性和假阴性；交叉散射（一个光源发射的光子撞击到另一个光源光子的探测器上）[33, 34]。这些技术缺陷会导致数据丢失（图3，a）。

双能量计算机断层扫描的诊断准确度

根据A. N. Baer等人[35]，双能量计算机断层扫描对痛风石性痛风的灵敏度为100%，对无痛风石性痛风的灵敏度为64%。根据A. Ogdie等人

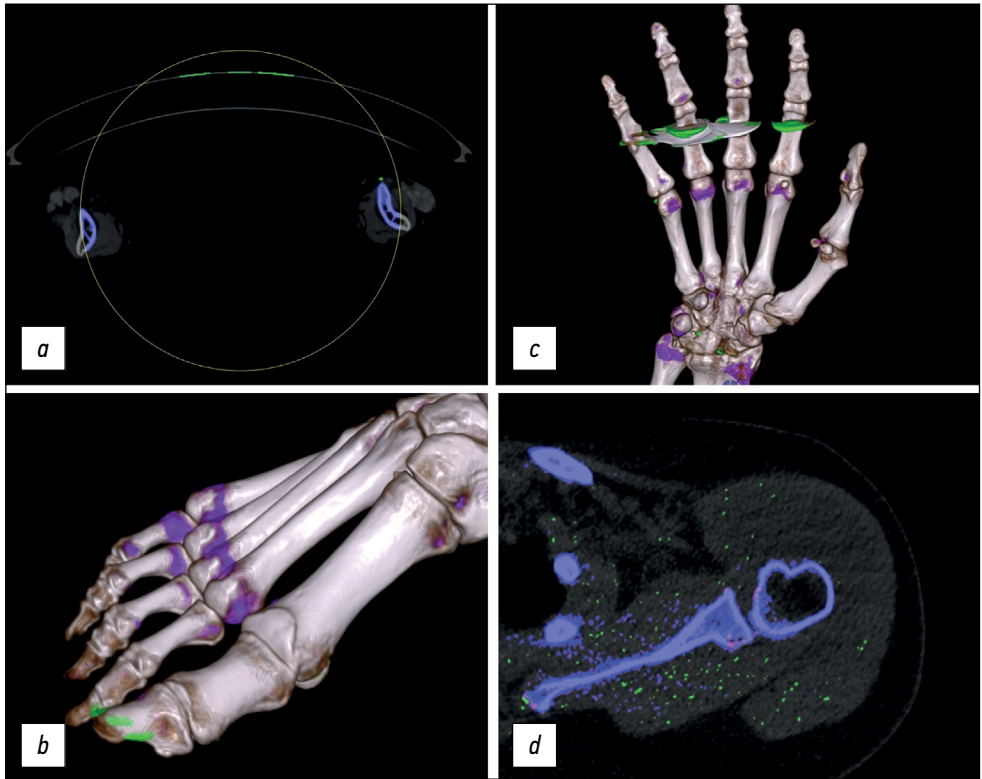


图3。双能量计算机断层扫描过程中的伪影：a——由于患者定位不正确导致的数据丢失；b——甲床产生的伪影；c——婚戒产生的辐射硬度增加的伪影；d——多个小点伪影（数据来自莫斯科国立大学医学教育研究中心的双能量计算机断层扫描）。

的荟萃分析结果[20]，双能量计算机断层扫描的灵敏度和特异度分别为87%和84%。这超过超声检查的相同参数。在T. Bongartz等人的研究[36]中，灵敏度和特异度分别为90%和83%。如果参考A. Huppertz等人的研究结果[37]，由于分辨率更低，双能量计算机断层扫描的灵敏度似乎不如超声检查的（100%比84.6%）。

从上述数据可以看出，双能量计算机断层扫描技术总体上具有较高的诊断准确度。不同研究组之间结果的差异可能是由于扫描区域的不同（这可能是决定该方法准确度的重要因素）及一些研究中患者患病时间的不同所造成的[38]。

然而，与其他检查方法一样，假阳性和假阴性是不可避免的。在甲床、皮肤胼胝区域可以检测到模仿单尿酸钠晶体的物体（见图3，b）。这种假阳性是由于角蛋白的双能量指数（dual-energy index）与单尿酸钠的双能量指数相同，这在检查中以相同的颜色编码显示[39]。值得注意的是，脚部比手部更容易出现这些伪影[39, 40]。膝关节和肘关节的皮肤通常不会出现此类伪影。

金属结构、骨皮质致密区域会造成辐射硬度增加的伪影，它们可能被误认为是单尿酸钠沉积物[40]。问题在于，在使用多色辐射的情况下，辐射硬度（beam hardening）会增加。因此，能量低的光子吸收更快，能量高的光子吸收更慢。这就导致X射线总能量的增加。随着光束变得坚硬，辐射的衰减会减小，探测器上的强度也会增加。因此，记录的吸收曲线会与理想曲线不同。于是，伪影在图像中表现为高密度物体之间的凹陷和暗带（见图3，c）。

在信噪比（signal-to-noise ratio, SNR）较低的情况下，可观察到模仿单尿酸钠晶体的绿色小点（见图3，d），但是，如果沿跟腱等解剖结构观察到绿色小点，就要考虑真正的单尿酸钠沉积[39]。

当存在直径小于2 mm的单尿酸钠微晶体、单尿酸钠浓度过低的痛风石成像以及技术参数设置错误时，可能会出现假阴性。不过，伪影是相当典型的现象，在大多数情况下，有经验的放射科医生都能很好地识别这些伪影。消除伪影的方法是存在的。例如，使用不同的图像重建算法，如内核，以及在工作站上正确设置图像参数，如“Air Distance”、“Resolution”、“Minimum [HU]”、“Ratio”（被用于Syngo.via VB20A_HF06软件Dual Energy Gout型）。

内核（重建滤波器）是一种用于重建电子计算机断层扫描图像的数学算法[41]。

使用“Air Distance”参数（单尿酸钠晶体到空气和骨头的距离，以体素为单位）允许减少甲床和皮肤区域的伪影。此操作将删除皮肤表面给定值范围内的所有绿色元素。但同时靠近骨骼结构且距离不超过设定值的元素除外。

“Ratio”参数表示双能量比率（dual energy ratio）。它等于以Hounsfield单位（HU）表示的低能量物质密度与高能量物质密度之比。在使

用双物质分解法处理数据时，该参数对于区分钙和尿酸盐至关重要。增加“Ratio”值会提高双能量计算机断层扫描检查对单尿酸钠晶体的灵敏度，但会降低其特异度[39]。

“Minimum [HU]”参数设置混合图像上Hounsfield单位的阈值水平，混合图像基本上等同于进行电压为120 kV的扫描时获得的图像[42]。如果对象的密度小于给定值，就不会计算双能量指数，它们在MD图上会被自动分配为“0”HU值，因此不会为它们确定颜色编码[39]。

“Resolution”指标定义绿色像素的最小数量。软件会将这一数量视为单尿酸钠沉积物。如果该区域的像素数量少于设定值，就无法显示。

额外的锡滤波器有助于切断低能量的光子，减少辐射量并提高图像质量。

临床数据与双能量计算机断层扫描结果的比较

在J. S. Lee等人的研究[43]中，他们侧重于更有可能预测双能量计算机断层扫描上是否存在单尿酸钠沉积的因素。这些参数包括血清尿酸水平、肾功能不全的存在和患病时间。因此，如果对初次发作痛风性关节炎的患者进行双能量计算机断层扫描检查，其诊断准确度是有限的。E. Jia等人[44]发现了，病程越长，双能量计算机断层扫描的灵敏度越高。痛风初诊时，双能量计算机断层扫描的灵敏度为35.7%，对于痛风病程不足两年的一组患者，双能量计算机断层扫描的灵敏度为61.5%，对于痛风病程超过两年的患者，双能量计算机断层扫描的灵敏度为92.9%。根据其他数据，在15-24%的无症状高尿酸血症患者及32.8%的痛风性关节炎首次发作患者中在双能量计算机断层扫描上有单尿酸钠沉积[43]。这一事实可以解释为痛风性关节炎首次发作患者的单尿酸钠容量和浓度不足以显示[45]。因此，可以认为双能量计算机断层扫描技术被用于进行动态观察比被用于进行初诊更有意义。同时，在痛风首次发作的情况下，超声检查可能有用。

慢性肾脏疾病和痛风是并发症。肾脏排泄功能下降会导致尿酸盐滞留在体内。这增加单尿酸钠晶体在关节和其他组织中沉积的可能性。另一方面，在J. Shang等人的研究[46]中，在双能量计算机断层扫描上肾功能不全与单尿酸钠沉积量之间并无明显关联。

血清尿酸浓度高与双能量计算机断层扫描检查阳性相关的假设并不总是正确的。事实上，血清尿酸浓度会随着低尿酸血症性治疗而降低。这将进一步导致单尿酸钠沉积物的溶解。如果在特定的时间间隔内进行检查，就有可能在尿酸浓度足够低的情况下看到尚未溶解的单尿酸钠晶体。因此，使用双能量计算机断层扫描观察尿酸盐沉积物的吸收情况允许评估治疗有效性。动态的直观性有助于提高患者的治疗依从性。此外，不能在所有血液中尿酸水平同样高的患者身上检测到单尿酸钠沉积物；因此，还有其他因素会对双能量计

算机断层扫的阳性产生影响,如遗传易感性和年龄[47]。

在S. Bayat等人的研究[23]中,针对最受影响的部位(即足部区域)开发了一种半定量单尿酸钠晶体沉积评估系统(DECT urate scoring system)。检查区域分为4个部分:第一跖趾关节、足部的其他关节、脚踝以及足部和脚踝的肌腱。根据沉积物的数量和性质,给这些部位打分。然后将分数相加。得出的结果有助于确定痛风的存在,并监测低尿酸血症性治疗的有效性。与自动计数相比,这种计数单尿酸钠沉积物体积的技术耗时更短,更易于在测量困难的区域工作。不过,这种评估系统只能被用于足部局部病变。

在J. Shang等人的研究[46]中,他们使用了一种半定量方法“DECT urate scoring system”。没有发现评分与血清尿酸浓度之间存在相关性。但研究证实了,组织中单尿酸钠的含量与长病程、糜烂和痛风石的存在之间存在相关性。双能量计算机断层扫结果与尿酸水平之间存在差异的原因可能还与检查时间有关。特别是,痛风性关节炎发作时尿液中尿酸排泄增加的事实已经得到证实[48]。

不过,也有研究证实了,血清尿酸水平与双能量计算机断层扫上存在的单尿酸钠沉积物之间存在相关性。例如,N. Dalbeth等人[49]报告说,在90.0%的血尿酸水平 ≥ 360 mmol/l且可触及痛风石的患者中,发现了尿酸盐沉积。而在未触及痛风石且实验室检查结果较低的患者中,仅有46.9%的病例中能看到单尿酸钠沉积。值得注意的是,所有研究参与者都在服用300 mg或以上剂量的别嘌醇。这项研究还表明了,与其他组患者相比,血尿酸水平 ≥ 360 mmol/l且可触及痛风石的患者组中单尿酸钠晶体的体积更大,糜烂的数量也更多。

双能量计算机断层扫描在与钙盐沉积有关的微晶关节病鉴别诊断中的能力

除痛风性关节炎外,微晶关节病还包括焦磷酸钙和羟磷灰石钙晶体沉积引起的关节炎。

焦磷酸钙晶体沉积病是一种主要在纤维软骨和透明软骨中积聚晶体(主要是焦磷酸钙)的疾病。风险因素包括年龄、关节创伤、遗传以及血色素沉着病、原发性甲状旁腺功能亢进、低磷血症和低镁血症等疾病[50]。

焦磷酸钙晶体沉积病常常与其他疾病相似。这使得各医学领域的专家很难做出诊断。这种疾病可能与其他炎症性关节炎合并。例如,患有痛风或类风湿性关节炎的患者患病焦磷酸钙晶体沉积病的发病率更高[51]。由于上述原因,找到一种合适的诊断方法进行鉴别诊断就成为了一种必然。

在临床上,与焦磷酸钙沉积有关的急性晶体性关节炎与痛风发作时特有的急性关节炎非常相似。唯一的区别在于持续时间。焦磷酸钙沉

积引起的急性晶体性关节炎可持续数周甚至数月[52, 53]。

与焦磷酸钙沉积有关的慢性晶体性关节炎通常表现为退变性骨关节炎,伴有机械性关节疼痛,与焦磷酸钙沉积有关的急性关节炎临床上周期性发作[52]。指间关节、第二和第三掌指关节以及膝关节最常受到影响[52-54]。

焦磷酸钙晶体可能沿着枢椎十字韧带的走向沉积,表现为齿状突加冠综合征(crowned dens syndrome)。临床表现无特异性,包括急性颈痛、发热、颈部肌肉强直和枕部头痛[55]。在这种情况下,可与脑膜炎、巨细胞动脉炎、类风湿性关节炎等进行鉴别诊断。

偶尔,与焦磷酸钙沉积有关的晶体性关节炎可能表现为多关节炎,因此与类风湿性关节炎相似。与类风湿性关节炎相比,临床区别在于焦磷酸钙结晶导致的关节损坏是连续性的,且不那么对称[53]。然而,依靠这一临床参数是有问题的。与焦磷酸钙沉积相关的关节炎不仅可模拟风湿病,而且模拟神经病、肿瘤病和其他疾病。开发新的仪器方法对于明确并迅速的鉴别诊断极为重要。

对于与焦磷酸钙沉积有关的关节炎的诊断,血液参数的信息量微乎其微。对滑液的偏振光显微镜检查和放射学、超声和计算机断层扫描等仪器方法的作用更大。

放射学检查被认为是目前最常用的常规诊断方法。焦磷酸钙晶体沉积病的诊断就是根据这种检查做出的。根据欧洲风湿病协会联盟(EULAR)的建议,滑液偏振光显微镜检查是金标准。如前所述,这种方法有其局限性和缺点,而且往往无法纠正。

在放射学检查中,焦磷酸钙晶体沉积病的主要征象是软骨钙化。半月板、三角纤维软骨复合体中的三角软骨和耻骨联合最常受到软骨钙化的影响。软骨钙化表现为与骨皮质表面平行的线状增厚区,或沿软骨结构的针状点,或沿滑膜轮廓的云状沉积物[56]。这种方法具有不可否认的优点,包括无创性、医源性并发症、操作速度快、成本低。与此同时,放射摄影对于焦磷酸钙晶体沉积病并不是一种高灵敏度和绝对特异度的方法,因为软骨中的羟磷灰石钙沉积也可能出现类似的情况[50]。根据K. A. Lee等人的研究[57],该方法的特异度和灵敏度分别为96.9%和44.2%。

通过放射学检查很难将焦磷酸钙沉积引起的骨关节炎与退变性骨关节炎区分开来。所使用的鉴别诊断征象并不是绝对的。鉴别诊断征象包括更明显的骨刺和软骨下囊肿、骨组织破坏、病变定位和炎症的临床表现[50, 53, 54, 58]。与焦磷酸钙沉积相关的骨关节炎相比,退变性骨关节炎较少累及肩关节、手关节和掌指关节[53]。在与焦磷酸钙有关的骨关节炎中更常观察到较大的软骨下囊肿和明显的骨组织破坏[54]。股四头肌腱和跟腱的钙化并伴有软骨钙沉着症也是值得注意的;这很可能表明焦磷酸钙晶体沉积病的诊断[56]。

由于成本低、设备移动性强且易于使用，超声检查越来越受欢迎。B. Frediani等人[59]描述了焦磷酸钙晶体沉积病患者的三种超声征象。一种是出现与软骨表面平行的高回声线状带。这种图像在透明软骨的焦磷酸钙沉积中更为常见。另一种征象是纤维软骨中焦磷酸钙沉积的特征性表现。它包括沿软骨组织走向出现的点状高回声包涵体。在关节腔中，最不常见的是带有圆形和/或椭圆形焦磷酸钙晶体移动聚集体的高回声悬浮物。根据K. A. Lee等人的研究[57]，超声检查的特异度和灵敏度分别为77.1%和74.4%。需要注意的是，使用这种方法可能很难区分痛风和焦磷酸钙晶体沉积病的超声征象。这对于不是超声诊断专家的医生来说极其困难。该方法的缺点包括结果对操作者的依赖性很强。此外，在骨关节炎的极端阶段，如果出现明显的骨刺，由于骨组织声影的存在会给检查带来困难[60]。

电子计算机断层扫描主要被用于轴骨骼中的定位过程：齿状突加冠综合征、椎间盘病变[61]。在寰枢关节，横韧带、翼韧带、突尖韧带和十字韧带的钙化可清晰可见；黄韧带的钙化常见于结节状病灶[62]。

双能量计算机断层扫描在焦磷酸钙晶体沉积疾病诊断中的作用仍未确认。在“Dual Energy Gout”级双能量计算机断层扫描获得的彩色编码图像上，含钙沉积物将被染成蓝色。这样就能将它们与单尿酸钠沉积物明确区分开来。值得注意的是，由于钙含量高，皮质骨的编码与焦磷酸钙和羟磷灰石沉积物相似（图4）。

根据D. Kravchenko等人的研究[63]，双能量计算机断层扫描检测焦磷酸钙晶体的灵敏度和特异度分别为55%和92%（平均病程为1个月，采用痛风标准化扫描协议）。H. Tanikawa等人[60]发现了，双能量计算机断层扫描检测半月板外焦磷酸钙晶体的灵敏度和特异度分别为77.8%和93.8%。

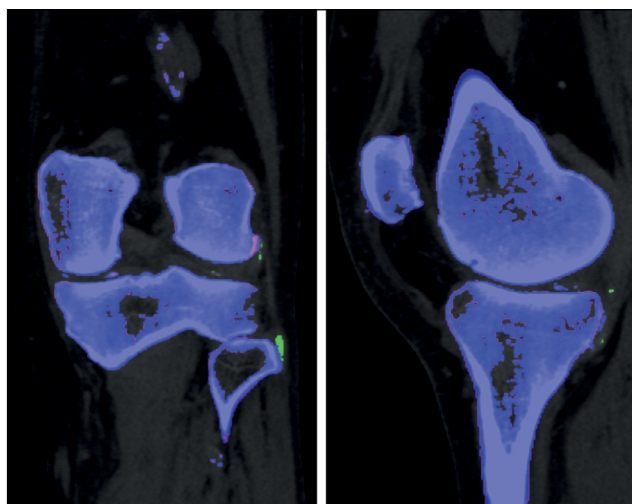


图4. 冠状和矢状投影的彩色编码双能量图像（左膝关节区域）。内侧半月板钙化（数据来自莫斯科国立大学医学教育研究中心的双能量计算机断层扫描）。

目前，焦磷酸钙晶体沉积还没有具体的治疗方案，因此无法计算焦磷酸钙沉积物的体积，甚至在某些情况下无法将其与骨组织可靠地区分开来。一组研究人员S. K. Tedeschi等人[64]修改了痛风图像重建的参数，增加了“Iodine Ratio”指数值，从而使该方法对焦磷酸钙晶体的灵敏度提高（达到90%–100%）。与此同时，单尿酸钠和焦磷酸钙晶体之间的鉴别诊断也失去了可能性。

双能量计算机断层扫描的优势还在于能够区分羟磷灰石钙沉积物和焦磷酸钙沉积物。众所周知，在典型病例下羟磷灰石钙沉积通常沿肌腱沉积。但这一征象对于鉴别诊断并不是绝对的。在放射学上，钙盐被定义为软骨钙沉着症。这也无助于确定沉积物的化学成分。多螺旋计算机断层扫描的密度值也不能作为明确的指导。

通过双能量计算机断层扫描可以使用双能量指数和有效原子序数（ Z_{eff} ）对羟基磷灰石钙沉积物和焦磷酸钙沉积物进行光谱分析，它们是双能量计算机断层扫描结果数学处理的产物。这些参数有助于区分这两类晶体[65]。虽然使用双能量指数和 Z_{eff} 对钙盐沉积进行鉴别诊断尚未成为常规做法。但这一方向很有前途，值得进一步研究。

结论

双能量计算机断层扫描是诊断晶体性关节炎的一种前途广阔的方法。与偏振显微镜检查、超声检查和放射检查以及电子计算机断层扫描等检查方法相比，双能量计算机断层扫描具有许多优点：操作速度快、排除医源性并发症的风险、可对物质进行定性和定量评估以及动态观察。这种放射诊断方法解决许多问题，特别是控制痛风的治疗有效性，以及对晶体性关节炎病进行鉴别诊断的可能性。

虽然这种技术具有缺陷，但还是有一些方法有助于正确解读双能量计算机断层扫描结果。

双能量计算机断层扫描可以简化对伴有不同类型晶体沉积、症状不典型的关节炎的验证。不过，在痛风的早期诊断、焦磷酸钙和羟磷灰石钙晶体的可靠区分以及体晶体积的确定等方面仍存在问题。这需要在这一领域开展进一步的研究。

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The work was conducted within the framework of the state assignment of the Lomonosov Moscow State University.

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

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. M.V. Onoyko — search for publications on the article topic, writing the text of the manuscript; E.A. Merschina — expert evaluation of

information, editing of the text of the manuscript, final version approval; O.A. Georginova — expert evaluation of information, editing of the text of the manuscript, final version approval; M.L. Plotnikova — editing

of the text of the manuscript; A.V. Panyukova — editing of the text of the manuscript; V.E. Sinitsin — expert evaluation of information, final version approval.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Neogi T., Jansen T.L., Dalbeth N., et al. 2015 Gout classification criteria: An American college of rheumatology / European league against rheumatism collaborative initiative // *Arthritis Rheumatol.* 2015. Vol. 67, N 10. P. 2557–2568. doi: 10.1002/art.39254
2. Taylor W.J., Fransen J., Dalbeth N., et al. Diagnostic arthrocentesis for suspicion of gout is safe and well tolerated // *J Rheumatol.* 2016. Vol. 43, N 1. P. 150–153. doi: 10.3899/jrheum.150684
3. Сикилинда Д.В., Алабут А.В. Протоколы техники пункций суставов и лечебных блокад при травмах и ортопедических заболеваниях опорно-двигательного аппарата // *Главный врач Юга России.* 2018. Т. 2, № 60. С. 14–20.
4. Stauder S.K., Peloso P.M. Dual-Energy computed tomography has additional prognostic value over clinical measures in gout including tophi: A systematic literature review // *J Rheumatol.* 2022. Vol. 49, N 11. P. 1256–1268. doi: 10.3899/jrheum.211246
5. Федеральные клинические рекомендации. Подагра. Общероссийская общественная организация Ассоциация ревматологов России, 2014.
6. Dalbeth N., Phipps-Green A., Frampton C., et al. Relationship between serum urate concentration and clinically evident incident gout: An individual participant data analysis // *Ann Rheum Dis.* 2018. Vol. 77, N 7. P. 1048–1052. doi: 10.1136/annrheumdis-2017-212288
7. Переверзев А.П., Остроумова О.Д. Лекарственно-индуцированные гиперурикемия/подагра. Часть 2: отдельные лекарственные средства, прием которых ассоциирован с повышенным риском развития этих заболеваний // *Терапия.* 2021. Т. 7, № 6. С. 136–145. doi: 10.18565/therapy.2021.7.159-169
8. Chhana A., Lee G., Dalbeth N. Factors influencing the crystallization of monosodium urate: a systematic literature review // *BMC Musculoskelet Disord.* 2015. Vol. 16, N 1. P. 1–11. doi: 10.1186/s12891-015-0762-4
9. Fiddis R.W., Vlachos N., Calvert P.D. Studies of urate crystallisation in relation to gout // *Ann Rheum Dis.* 1983. Vol. 42, Suppl. 1. P. 12. doi: 10.1136/ard.42.suppl_1.12
10. Dalbeth N., Pool B., Gamble G.D., et al. Cellular characterization of the gouty tophus: A quantitative analysis // *Arthritis Rheum.* 2010. Vol. 62, N 5. P. 1549–1556. doi: 10.1002/art.27356
11. Butler F., Alghubayshi A., Roman Y. The epidemiology and genetics of hyperuricemia and gout across major racial groups: A literature review and population genetics secondary database analysis // *J Personalized Med.* 2021. Vol. 11, N 3. P. 231. doi: 10.3390/jpm11030231
12. Meneses-Leon J., Denova-Gutiérrez E., Castañón-Robles S., et al. Sweetened beverage consumption and the risk of hyperuricemia in Mexican adults: A cross-sectional study // *BMC Public Health.* 2014. Vol. 14, N 1. P. 1–11. doi: 10.1186/1471-2458-14-445
13. Bae J., Chun B.Y., Park P.S., et al. Higher consumption of sugar-sweetened soft drinks increases the risk of hyperuricemia in Korean population: The Korean multi-rural communities cohort study // *Semin Arthritis Rheum.* 2014. Vol. 43, N 5. P. 654–661. doi: 10.1016/j.semarthrit.2013.10.008
14. Zhang W., Doherty M., Pascual E., et al. EULAR evidence based recommendations for gout. Part I: Diagnosis. Report of a task force of the standing committee for international clinical studies including therapeutics (ESCSIT) // *Ann Rheum Dis.* 2006. Vol. 65, N 10. P. 1301–1311. doi: 10.1136/ard.2006.055251
15. Kienhorst L.B., Janssens H.J., Eijgelaar R.S., et al. The detection of monosodium urate crystals in synovial fluid after long-term and varying storage conditions // *Joint Bone Spine.* 2015. Vol. 82, N 6. P. 470–471. doi: 10.1016/j.jbspin.2014.10.020
16. Секреты ревматологии / под ред. С.Д. Уэст. Пер. с англ. под ред. О.М. Лесняк. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. 756 с.
17. Malik A., Schumacher H.R., Dinnella J.E., Clayburne G.M. Clinical diagnostic criteria for gout: Comparison with the gold standard of synovial fluid crystal analysis // *J Clin Rheumatol.* 2009. Vol. 15, N 1. P. 22–24. doi: 10.1097/RHU.0b013e3181945b79
18. Pascal Z., Valcov R., Fabreguet I., et al. A prospective evaluation of ultrasound as a diagnostic tool in acute microcrystalline arthritis // *Arthritis Res Ther.* 2015. Vol. 17, N 1. P. 1–8. doi: 10.1186/s13075-015-0701-7
19. Omoumi P., Becce F., Racine D., et al. Dual-Energy CT: Basic principles, technical approaches, and applications in musculoskeletal imaging (Part 1) // *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015. Vol. 19, N 5. P. 431–437. doi: 10.1055/s-0035-1569253
20. Ogdie A., Taylor W.J., Weatherall M., et al. Imaging modalities for the classification of gout: Systematic literature review and meta-analysis // *Ann Rheum Dis.* 2015. Vol. 74, N 10. P. 1868–1874. doi: 10.1136/annrheumdis-2014-205431
21. Sapsford M., Gamble G.D., Aati O., et al. Relationship of bone erosion with the urate and soft tissue components of the tophus in gout: A dual energy computed tomography study // *Rheumatology (Oxford).* 2017. Vol. 56, N 1. P. 129–133. doi: 10.1093/rheumatology/kew383
22. Towiwat P., Doyle A.J., Gamble G.D., et al. Urate crystal deposition and bone erosion in gout: “Inside-out” or “outside-in”? A dual-energy computed tomography study // *Arthritis Res Ther.* 2016. Vol. 18, N 1. P. 208. doi: 10.1186/s13075-016-1105-z
23. Bayat S., Aati O., Rech J., et al. Development of a dual-energy computed tomography scoring system for measurement of urate deposition in gout // *Arthritis Care Res (Hoboken).* 2016. Vol. 68, N 6. P. 769–775. doi: 10.1002/acr.22754
24. Rajiah P., Sundaram M., Subhas N. Dual-energy CT in musculoskeletal imaging: What is the role beyond gout? // *AJR Am J Roentgenol.* 2019. Vol. 213, N 3. P. 493–505. doi: 10.2214/AJR.19.21095
25. Климкова М.М., Синицын В.Е., Мазуренко Д.А., и др. Перспективы применения двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике мочекаменной болезни и определении химического состава мочевых камней (обзор литературы) // *Медицинская визуализация.* 2016. № 6. С. 84–92.
26. McCollough C.H., Leng S., Yu L., et al. Principles, technical ap-

- proaches, and clinical applications // *Radiology*. 2015. Vol. 276, N 3. P. 637–653. doi: 10.1148/radiol.2015142631
27. Sodickson A.D., Keraliya A., Czarkowski B., et al. Dual energy CT in clinical routine: How it works and how it adds value // *Emerg Radiol*. 2021. Vol. 28, N 1. P. 103–117. doi: 10.1007/s10140-020-01785-2
28. Megibow A.J., Kambadakone A., Ananthakrishnan L. Dual-energy computed tomography: Image acquisition, processing, and workflow // *Radiol Clin North Am*. 2018. Vol. 56, N 4. P. 507–520. doi: 10.1016/j.rcl.2018.03.001
29. Forghani R., De Man B., Gupta R. Dual-energy computed tomography: Physical principles, approaches to scanning, usage, and implementation: Part 2 // *Neuroimaging Clin N Am*. 2017. Vol. 27, N 3. P. 385–400. doi: 10.1016/j.nic.2017.03.002
30. Henzler T., Fink C., Schoenberg S.O., et al. Radiation dose aspects // *AJR Am J Roentgenol*. 2012. Vol. 199, N 5. P. S16–S25. doi: 10.2214/AJR.12.9210
31. Borges A.P., Antunes C., Curvo-Semedo L. Pros and cons of dual-energy CT systems: “One does not fit all” // *Tomography*. 2023. Vol. 9, N 1. P. 195–216. doi: 10.3390/tomography9010017
32. Parakh A., Lennartz S., An C., et al. Dual-energy CT images: Pearls and pitfalls // *Radiographics*. 2021. Vol. 41, N 1. P. 98–119. doi: 10.1148/rg.2021200102
33. Gosangi B., Mandell M.C., Weaver M.J., et al. Bone marrow edema at dual-energy CT: A game changer in the emergency department // *Radiographics*. 2020. Vol. 40, N 3. P. 859–874. doi: 10.1148/rg.2020190173
34. Goo H.W., Goo J.M. Dual-energy CT: New horizon in medical imaging // *Korean J Radiol*. 2017. Vol. 18, N 4. P. 555–569. doi: 10.3348/kjr.2017.18.4.555
35. Baer A.N., Kurano T., Thakur U.J., et al. Dual-energy computed tomography has limited sensitivity for non-tophaceous gout: A comparison study with tophaceous gout // *BMC Musculoskelet Disord*. 2016. Vol. 17, N 1. P. 1–9. doi: 10.1186/s12891-016-0943-9
36. Bongartz T., Glazebrook K.N., Kavros S.J., et al. Dual-energy CT for the diagnosis of gout: An accuracy and diagnostic yield study // *Ann Rheum Dis*. 2015. Vol. 74, N 6. P. 1072–1077. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-205095
37. Huppertz A., Hermann A., Diekhoff T., et al. Systemic staging for urate crystal deposits with dual-energy CT and ultrasound in patients with suspected gout // *Rheumatol Int*. 2014. Vol. 3. P. 763–771. doi: 10.1007/s00296-014-2979-19
38. Strobl S., Halpern E.J., Abd Allah M., et al. Acute gouty knee arthritis: Ultrasound findings compared with dual-energy CT findings // *AJR Am J Roentgenol*. 2018. Vol. 210, N 6. P. 1323–1329. doi: 10.2214/AJR.17.19199
39. Mallinson P.I., Coupal T., Reisinger C., et al. Artifacts in dual-energy CT gout protocol: A review of 50 suspected cases with an artifact identification guide // *AJR Am J Roentgenol*. 2014. Vol. 203, N 1. P. 103–109. doi: 10.2214/AJR.13.11396
40. Omoumi P., Zufferey P., Malghem J., So A. Imaging in gout and other crystal-related arthropathies // *Rheum Dis Clin North Am*. 2016. Vol. 42, N 4. P. 624–644. doi: 10.1016/j.rdc.2016.07.005
41. Lee S.M., Lee J.G., Lee G., et al. CT image conversion among different reconstruction kernels without a sinogram by using a convolutional neural network // *Korean J Radiol*. 2019. Vol. 20, N 2. P. 295–303. doi: 10.3348/kjr.2018.0249
42. Alavandar E., Arunachalam V.K., Narappulan N., et al. Principles and available hardware in dect // *J Gastrointestinal Abdominal Radiol*. 2022. Vol. 5, N 6. doi: 10.1055/s-0042-1742772
43. Lee J.S., Seo W.J. What is the diagnostic value of dual-energy computed tomography in patients with clinical diagnosis of gout? // *Adv Rheumatol*. 2021. Vol. 61, N 1. P. 1–7. doi: 10.1186/s42358-021-00198-0
44. Jia E., Zhu J., Huang W., et al. Dual-energy computed tomography has limited diagnostic sensitivity for short-term gout // *Clin Rheumatol*. Vol. 37, N 3. P. 773–777. doi: 10.1007/s10067-017-3753-z
45. Ramon A., Ornetti P. Dual energy computed tomography: A breakthrough for gout? // *Joint Bone Spine*. 2020. Vol. 87, N 4. P. 289–291. doi: 10.1016/j.jbspin.2019.12.002
46. Shang J., Li X.H., Lu S.Q., et al. Gout of feet and ankles in different disease durations: Diagnostic value of single-source DECT and evaluation of urate deposition with a novel semi-quantitative DECT scoring system // *Adv Rheumatol*. 2021. Vol. 61, N 1. P. 1–14. doi: 10.1186/s42358-021-00194-4
47. Wang P., Smith S.E., Garg R., et al. Identification of monosodium urate crystal deposits in patients with asymptomatic hyperuricemia using dual-energy CT // *RMD Open*. 2018. Vol. 4, N 1. P. 593–597. doi: 10.1136/rmdopen-2017-000593
48. Urano W., Yamanaka H., Tsutani H., et al. The inflammatory process in the mechanism of decreased serum uric acid concentrations during acute gouty arthritis // *J Rheumatol*. 2002. Vol. 29, N 9. P. 1950–1953.
49. Dalbeth N., Nicolaou S., Baumgartner S., et al. Presence of monosodium urate crystal deposition by dual-energy CT in patients with gout treated with allopurinol // *Ann Rheum Dis*. 2018. Vol. 77, N 3. P. 364–370. doi: 10.1136/annrheumdis-2017-212046
50. Zhang W., Doherty M., Bardin T., et al. European league against rheumatism recommendations for calcium pyrophosphate deposition. Part I: Terminology and diagnosis // *Ann Rheum Dis*. 2011. Vol. 70, N 4. P. 563–570. doi: 10.1136/ard.2010.139105
51. Sabchshyn V., Konon I., Ryan L.M., Rosenthal A.K. Concurrence of rheumatoid arthritis and calcium pyrophosphate deposition disease: A case collection and review of the literature // *Semin Arthritis Rheum*. 2018. Vol. 48, N 1. P. 9–11. doi: 10.1016/j.semarthrit.2017.11.009
52. Williams C.J., Rosenthal A.K. Pathogenesis of calcium pyrophosphate deposition disease // *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2021. Vol. 35, N 4. P. 101718. doi: 10.1016/j.berh.2021.101718
53. Abhishek A. Calcium pyrophosphate deposition // *Br J Hosp Med (Lond)*. 2014. Vol. 75, N 4. P. 61–64. doi: 10.12968/hmed.2014.75.sup4.c61
54. Miksanek J., Rosenthal A.K. Imaging of calcium pyrophosphate deposition disease // *Curr Rheumatol Rep*. 2015. Vol. 17, N 3. P. 20. doi: 10.1007/s11926-015-0496-1
55. Godfrin-Valnet M., Godfrin G., Godard J., et al. Eighteen cases of crowned dens syndrome: Presentation and diagnosis // *Neurochirurgie*. 2013. Vol. 59, N 3. P. 115–120. doi: 10.1016/j.neuchi.2013.03.003
56. Cipolletta E., Filippou G., Scirè C.A., et al. The diagnostic value of conventional radiography and musculoskeletal ultrasonography in calcium pyrophosphate deposition disease: A systematic literature review and meta-analysis // *Osteoarthritis Cartilage*. 2021. Vol. 29, N 5. P. 619–632. doi: 10.1016/j.joca.2021.01.007
57. Lee K.A., Lee S.H., Kim H.R. Diagnostic value of ultrasound in calcium pyrophosphate deposition disease of the knee joint // *Osteoarthritis Cartilage*. 2019. Vol. 27, N 5. P. 781–787. doi: 10.1016/j.joca.2018.11.013
58. Neame R.L., Carr A.J., Muir K., Doherty M. UK community prevalence of knee chondrocalcinosis: Evidence that correlation with osteoarthritis is through a shared association with

osteophyte // *Ann Rheum Dis*. 2003. Vol. 62, N 6. P. 513–518. doi: 10.1136/ard.62.6.513

59. Frediani B., Filippou G., Falsetti P., et al. Diagnosis of calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition disease: Ultrasonographic criteria proposed // *Ann Rheum Dis*. 2005. Vol. 64, N 4. P. 638–640. doi: 10.1136/ard.2004.024109

60. Tanikawa H., Ogawa R., Okuma K., et al. Detection of calcium pyrophosphate dihydrate crystals in knee meniscus by dual-energy computed tomography // *J Orthop Surg Res*. 2018. Vol. 13, N 1. P. 73. doi: 10.1186/s13018-018-0787-0

61. Rosales-Alexander J.L., Aznar J.B., Magro-Checa C. Calcium pyrophosphate crystal deposition disease: Diagnosis and treatment // *Open Access Rheumatol*. 2014. Vol. 6. P. 39–47. doi: 10.2147/OARRR.S39039

62. Sekijima Y., Yoshida T., Ikeda S.I. CPPD crystal deposition disease of the cervical spine: A common cause of acute neck pain

encountered in the neurology department // *J Neurol Sci*. 2010. Vol. 296, N 1–2. P. 79–82. doi: 10.1016/j.jns.2010.05.028

63. Kravchenko D., Karakostas P., Kuetting D., et al. The role of dual energy computed tomography in the differentiation of acute gout flares and acute calcium pyrophosphate crystal arthritis // *Clin Rheumatol*. 2022. Vol. 41, N 1. P. 223–233. doi: 10.1007/s10067-021-05949-4

64. Tedeschi S.K., Solomon D.H., Yoshida K., et al. A prospective study of dual-energy CT scanning, US and X-ray in acute calcium pyrophosphate crystal arthritis // *Rheumatology (Oxford)*. 2020. Vol. 59, N 4. P. 900–903. doi: 10.1093/rheumatology/kez431

65. Pascart T., Norberciak L., Legrand J., et al. Dual-energy computed tomography in calcium pyrophosphate deposition: Initial clinical experience // *Osteoarthritis Cartilage*. 2019. Vol. 27, N 9. P. 1309–1314. doi: 10.1016/j.joca.2019.05.007

REFERENCES

1. Neogi T, Jansen TL, Dalbeth N, et al. 2015 Gout classification criteria: An American college of rheumatology / European league against rheumatism collaborative initiative. *Arthritis Rheumatol*. 2015;67(10):2557–2568. doi: 10.1002/art.39254

2. Taylor WJ, Fransen J, Dalbeth N, et al. Diagnostic arthrocentesis for suspicion of gout is safe and well tolerated. *J Rheumatol*. 2016;43(1):150–153. doi: 10.3899/jrheum.150684

3. Sikilinda V, Alabut A. Protocols of technique of punctions of joints and treatment blockades in trauma and orthopedic diseases of support-moving apparatus. *Chief Physician South Russia*. 2018;2(60):14–20. (In Russ).

4. Stauder SK, Peloso PM. Dual-Energy computed tomography has additional prognostic value over clinical measures in gout including tophi: A systematic literature review. *J Rheumatol*. 2022;49(11):1256–1268. doi: 10.3899/jrheum.211246

5. Federal Clinical Guidelines. Gout. All-Russian Public Organization Association of Rheumatologists of Russia; 2014. (In Russ).

6. Dalbeth N, Phipps-Green A, Frampton C, et al. Relationship between serum urate concentration and clinically evident incident gout: An individual participant data analysis. *Ann Rheum Dis*. 2018;77(7):1048–1052. doi: 10.1136/annrheumdis-2017-212288

7. Pereverzev AP, Ostroumova OD. Drug-induced hyperuricemia/gout. Part I: Prevalence, pathophysiology, risk factors, clinical pattern. *Therapy*. 2021;7(6):136–145. (In Russ). doi: 10.18565/therapy.2021.7.159-169

8. Chhana A, Lee G, Dalbeth N. Factors influencing the crystallization of monosodium urate: A systematic literature review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;16(1):1–11. doi: 10.1186/s12891-015-0762-4

9. Fiddis RW, Vlachos N, Calvert PD. Studies of urate crystallisation in relation to gout. *Ann Rheum Dis*. 1983;42(Suppl 1):12. doi: 10.1136/ard.42.suppl_1.12

10. Dalbeth N, Pool B, Gamble GD, et al. Cellular characterization of the gouty tophus: A quantitative analysis. *Arthritis Rheum*. 2010;62(5):1549–1556. doi: 10.1002/art.27356

11. Butler F, Alghubayshi A, Roman Y. The epidemiology and genetics of hyperuricemia and gout across major racial groups: A literature

review and population genetics secondary database analysis. *J Personalized Med*. 2021;11(3):231. doi: 10.3390/jpm11030231

12. Meneses-Leon J, Denova-Gutiérrez E, Castañón-Robles S, et al. Sweetened beverage consumption and the risk of hyperuricemia in Mexican adults: A cross-sectional study. *BMC Public Health*. 2014;14(1):1–11. doi: 10.1186/1471-2458-14-445

13. Bae J, Chun BY, Park PS, et al. Higher consumption of sugar-sweetened soft drinks increases the risk of hyperuricemia in Korean population: The Korean multi-rural communities cohort study. *Semin Arthritis Rheum*. 2014;43(5):654–661. doi: 10.1016/j.semarthrit.2013.10.008

14. Zhang W, Doherty M, Pascual E, et al. EULAR evidence based recommendations for gout. Part I: Diagnosis. Report of a task force of the standing committee for international clinical studies including therapeutics (ESCIIT). *Ann Rheum Dis*. 2006;65(10):1301–1311. doi: 10.1136/ard.2006.055251

15. Kienhorst LB, Janssens HJ, Eijgelaar RS, et al. The detection of monosodium urate crystals in synovial fluid after long-term and varying storage conditions. *Joint Bone Spine*. 2015;82(6):470–471. doi: 10.1016/j.jbspin.2014.10.020

16. Secrets of rheumatology. Ed. by S.D. West. Trans. from English ed. by O.M. Lesnyak. Moscow: GEOTAR-Media; 2021. 756 p. (In Russ).

17. Malik A, Schumacher HR, Dinnella JE, Clayburne GM. Clinical diagnostic criteria for gout: Comparison with the gold standard of synovial fluid crystal analysis. *J Clin Rheumatol*. 2009;15(1):22–24. doi: 10.1097/RHU.0b013e3181945b79

18. Pascal Z, Valcov R, Fabreguet I, et al. A prospective evaluation of ultrasound as a diagnostic tool in acute microcrystalline arthritis. *Arthritis Res Ther*. 2015;17(1):1–8. doi: 10.1186/s13075-015-0701-7

19. Omoumi P, Becce F, Racine D, et al. Basic principles, technical approaches, and applications in musculoskeletal imaging (Part I). *Semin Musculoskelet Radiol*. 2015;19(5):431–437. doi: 10.1055/s-0035-1569253

20. Ogdie A, Taylor WJ, Weatherall M, et al. Imaging modalities for the classification of gout: systematic literature review and meta-analysis. *Ann Rheum Dis*. 2015;74(10):1868–1874. doi: 10.1136/annrheumdis-2014-205431

21. Sapsford M, Gamble GD, Aati O, et al. Relationship of bone erosion with the urate and soft tissue components of the tophus in gout: A dual energy computed tomography study. *Rheumatology (Oxford)*. 2017;56(1):129–133. doi: 10.1093/rheumatology/kew383
22. Towiwat P, Doyle AJ, Gamble GD, et al. Urate crystal deposition and bone erosion in gout: “Inside-out” or “outside-in”? A dual-energy computed tomography study. *Arthritis Res Ther*. 2016;18(1):208. doi: 10.1186/s13075-016-1105-z
23. Bayat S, Aati O, Rech J, et al. Development of a dual-energy computed tomography scoring system for measurement of urate deposition in gout. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2016;68(6):769–775. doi: 10.1002/acr.22754
24. Rajiah P, Sundaram M, Subhas N. Dual-energy CT in musculoskeletal imaging: What is the role beyond gout? *AJR Am J Roentgenol*. 2019;213(3):493–505. doi: 10.2214/AJR.19.21095
25. Klimkova MM, Sinitsyn VE, Mazurenko DA, et al. Perspectives of dual-energy computed tomography in diagnostic of urinary stone disease for the determination of urinary calculi composition (review). *Med Visualization*. 2016;(6):84–92. (In Russ).
26. McCollough CH, Leng S, Yu L, Fletcher JG. Dual- and multi-energy CT: Principles, technical approaches, and clinical applications. *Radiology*. 2015;276(3):637–653. doi: 10.1148/radiol.2015142631
27. Sodickson AD, Keraliya A, Czakowski B, et al. Dual energy CT in clinical routine: How it works and how it adds value. *Emerg Radiol*. 2021;28(1):103–117. doi: 10.1007/s10140-020-01785-2
28. Megibow AJ, Kambadakone A, Ananthakrishnan L. Dual-energy computed tomography: Image acquisition, processing, and workflow. *Radiol Clin North Am*. 2018;56(4):507–520. doi: 10.1016/j.rcl.2018.03.001
29. Forghani R, De Man B, Gupta R. Dual-energy computed tomography: Physical principles, approaches to scanning, usage, and implementation: Part 2. *Neuroimaging Clin N Am*. 2017;27(3):385–400. doi: 10.1016/j.nic.2017.03.002
30. Henzler T, Fink C, Schoenberg SO, et al. Radiation dose aspects. *AJR Am J Roentgenol*. 2012;199(5 Suppl):S16–S25. doi: 10.2214/AJR.12.9210
31. Borges AP, Antunes C, Curvo-Semedo L. Pros and cons of dual-energy CT systems: “One does not fit all”. *Tomography*. 2023;9(1):195–216. doi: 10.3390/tomography9010017
32. Parakh A, Lennartz S, An C, et al. Dual-energy CT images: Pearls and pitfalls. *Radiographics*. 2021;41(1):98–119. doi: 10.1148/rg.2021200102
33. Gosangi B, Mandell MC, Weaver MJ, et al. Bone marrow edema at dual-energy CT: A game changer in the emergency department. *Radiographics*. 2020;40(3):859–874. doi: 10.1148/rg.2020190173
34. Goo HW, Goo JM. Dual-energy CT. New horizon in medical imaging. *Korean J Radiol*. 2017;18(4):555–569. doi: 10.3348/kjr.2017.18.4.555
35. Baer AN, Kurano T, Thakur UJ, et al. Dual-energy computed tomography has limited sensitivity for non-tophaceous gout: A comparison study with tophaceous gout. *BMC Musculoskeletal Disord*. 2016;17(1):1–9. doi: 10.1186/s12891-016-0943-9
36. Bongartz T, Glazebrook KN, Kavros SJ, et al. Dual-energy CT for the diagnosis of gout: an accuracy and diagnostic yield study. *Ann Rheum Dis*. 2015;74(6):1072–1077. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-205095
37. Huppertz A, Hermann A, Diekhoff T, et al. Systemic staging for urate crystal deposits with dual-energy CT and ultrasound in patients with suspected gout. *Rheumatol Int*. 2014;(3):763–771. doi: 10.1007/s00296-014-2979-1
38. Strobl S, Halpern EJ, Abd Ellah M, et al. Acute gouty knee arthritis: Ultrasound findings compared with dual-energy CT findings. *AJR Am J Roentgenol*. 2018;210(6):1323–1329. doi: 10.2214/AJR.17.19199
39. Mallinson PI, Coupal T, Reisinger C, et al. Artifacts in dual-energy CT gout protocol: A review of 50 suspected cases with an artifact identification guide. *AJR Am J Roentgenol*. 2014;203(1):103–109. doi: 10.2214/AJR.13.11396
40. Omoumi P, Zufferey P, Malghem J, So A. Imaging in gout and other crystal-related arthropathies. *Rheum Dis Clin North Am*. 2016;42(4):624–644. doi: 10.1016/j.rdc.2016.07.005
41. Lee SM, Lee JG, Lee G, et al. CT Image conversion among different reconstruction kernels without a sinogram by using a convolutional neural network. *Korean J Radiol*. 2019;20(2):295–303. doi: 10.3348/kjr.2018.0249
42. Alavandar E, Arunachalam VK, Narappulan N, et al. Principles and available hardware in DECT. *J Gastrointestinal Abdominal Radiology*. 2022;5(6). doi: 10.1055/s-0042-1742772
43. Lee JS, Seo WJ. What is the diagnostic value of dual-energy computed tomography in patients with clinical diagnosis of gout? *Adv Rheumatol*. 2021;61(1):1–7. doi: 10.1186/s42358-021-00198-0
44. Jia E, Zhu J, Huang W, et al. Dual-energy computed tomography has limited diagnostic sensitivity for short-term gout. *Clin Rheumatol*. 2018;37(3):773–777. doi: 10.1007/s10067-017-3753-z
45. Ramon A, Ornetti P. Dual energy computed tomography: A breakthrough for gout? *Joint Bone Spine*. 2020;87(4):289–291. doi: 10.1016/j.jbspin.2019.12.002
46. Shang J, Li XH, Lu SQ, et al. Gout of feet and ankles in different disease durations: Diagnostic value of single-source DECT and evaluation of urate deposition with a novel semi-quantitative DECT scoring system. *Adv Rheumatol*. 2021;61(1):1–14. doi: 10.1186/s42358-021-00194-4
47. Wang P, Smith SE, Garg R, et al. Identification of monosodium urate crystal deposits in patients with asymptomatic hyperuricemia using dual-energy CT. *RMD Open*. 2018;4(1):593–597. doi: 10.1136/rmdopen-2017-000593
48. Urano W, Yamanaka H, Tsutani H, et al. The inflammatory process in the mechanism of decreased serum uric acid concentrations during acute gouty arthritis. *J Rheumatol*. 2002;29(9):1950–1953.
49. Dalbeth N, Nicolaou S, Baumgartner S, et al. Presence of monosodium urate crystal deposition by dual-energy CT in patients with gout treated with allopurinol. *Ann Rheum Dis*. 2018;77(3):364–370. doi: 10.1136/annrheumdis-2017-212046
50. Zhang W, Doherty M, Bardin T, et al. European league against rheumatism recommendations for calcium pyrophosphate deposition. Part I: Terminology and diagnosis. *Ann Rheum Dis*. 2011;70(4):563–570. doi: 10.1136/ard.2010.139105
51. Sabchshyn V, Konon I, Ryan LM, Rosenthal AK. Concurrence of rheumatoid arthritis and calcium pyrophosphate deposition disease: A case collection and review of the literature. *Semin Arthritis Rheum*. 2018;48(1):9–11. doi: 10.1016/j.semarthrit.2017.11.009
52. Williams CJ, Rosenthal AK. Pathogenesis of calcium pyrophosphate deposition disease. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2021;35(4):101718. doi: 10.1016/j.berh.2021.101718

53. Abhishek A. Calcium pyrophosphate deposition. *Br J Hosp Med (Lond)*. 2014;75(4):61–64. doi: 10.12968/hmed.2014.75.sup4.c61
54. Miksanek J, Rosenthal AK. Imaging of calcium pyrophosphate deposition disease. *Curr Rheumatol Rep*. 2015;17(3):20. doi: 10.1007/s11926-015-0496-1
55. Godfrin-Valnet M, Godfrin G, Godard J, et al. Eighteen cases of crowned dens syndrome: Presentation and diagnosis. *Neurochirurgie*. 2013;59(3):115–120. doi: 10.1016/j.neuchi.2013.03.003
56. Cipolletta E, Filippou G, Scirè CA, et al. The diagnostic value of conventional radiography and musculoskeletal ultrasonography in calcium pyrophosphate deposition disease: a systematic literature review and meta-analysis. *Osteoarthr Cartil*. 2021;29(5):619–632. doi: 10.1016/j.joca.2021.01.007
57. Lee KA, Lee SH, Kim HR. Diagnostic value of ultrasound in calcium pyrophosphate deposition disease of the knee joint. *Osteoarthr Cartil*. 2019;27(5):781–787. doi: 10.1016/j.joca.2018.11.013
58. Neame RL, Carr AJ, Muir K, Doherty M. UK community prevalence of knee chondrocalcinosis: Evidence that correlation with osteoarthritis is through a shared association with osteophyte. *Ann Rheum Dis*. 2003;62(6):513–518. doi: 10.1136/ard.62.6.513
59. Frediani B, Filippou G, Falsetti P, et al. Diagnosis of calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition disease: Ultrasonographic criteria proposed. *Ann Rheum Dis*. 2005;64(4):638–640. doi: 10.1136/ard.2004.024109
60. Tanikawa H, Ogawa R, Okuma K, et al. Detection of calcium pyrophosphate dihydrate crystals in knee meniscus by dual-energy computed tomography. *J Orthop Surg Res*. 2018;13(1):73. doi: 10.1186/s13018-018-0787-0
61. Rosales-Alexander JL, Aznar JB, Magro-Checa C. Calcium pyrophosphate crystal deposition disease: Diagnosis and treatment. *Open Access Rheumatol*. 2014;(6):39–47. doi: 10.2147/OARRR.S39039
62. Sekijima Y, Yoshida T, Ikeda SI. CPPD crystal deposition disease of the cervical spine: A common cause of acute neck pain encountered in the neurology department. *J Neurol Sci*. 2010;296(1–2):79–82. doi: 10.1016/j.jns.2010.05.028
63. Kravchenko D, Karakostas P, Kuetting D, et al. The role of dual energy computed tomography in the differentiation of acute gout flares and acute calcium pyrophosphate crystal arthritis. *Clin Rheumatol*. 2022;41(1):223–233. doi: 10.1007/s10067-021-05949-4
64. Tedeschi SK, Solomon DH, Yoshida K, et al. A prospective study of dual-energy CT scanning, US and X-ray in acute calcium pyrophosphate crystal arthritis. *Rheumatology (Oxford)*. 2020;59(4):900–903. doi: 10.1093/rheumatology/kez431
65. Pascart T, Norberciak L, Legrand J, et al. Dual-energy computed tomography in calcium pyrophosphate deposition: Initial clinical experience. *Osteoarthr Cartil*. 2019;27(9):1309–1314. doi: 10.1016/j.joca.2019.05.007

AUTHORS' INFO

* Maria V. Onoyko;

address: 27 Lomonosovsky prospekt, 119234 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-7727-3360;
e-mail: onoykomary@gmail.com

Elena A. Mershina, MD, Cand. Sci. (Med), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-1266-4926;
eLibrary SPIN: 6897-9641;
e-mail: elena_mershina@mail.ru

Olga A. Georginova, MD, Cand. Sci. (Med), Assistant Professor;
ORCID: 0000-0002-7542-8189;
eLibrary SPIN: 8331-3656;
e-mail: olga.georginova@gmail.com

Maria L. Plotnikova;
ORCID: 0000-0001-7533-9867;
e-mail: maria_plotnikova@inbox.ru

Alexandra V. Panyukova;
ORCID: 0000-0002-5367-280X;
e-mail: panyukovaalexandra@gmail.com

Valentin E. Sinitsyn, MD, Dr. Sci. (Med), Professor;
ORCID: 0000-0002-5649-2193;
eLibrary SPIN: 8449-6590;
e-mail: vsini@mail.ru

ОБ АВТОРАХ

* Онойко Мария Викторовна;

адрес: Россия, 119234, Москва, Ломоносовский пр-т, д. 27;
ORCID: 0000-0002-7727-3360;
e-mail: onoykomary@gmail.com

Мершина Елена Александровна, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-1266-4926;
eLibrary SPIN: 6897-9641;
e-mail: elena_mershina@mail.ru

Георгинова Ольга Анатольевна, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-7542-8189;
eLibrary SPIN: 8331-3656;
e-mail: olga.georginova@gmail.com

Плотникова Мария Леонидовна;
ORCID: 0000-0001-7533-9867;
e-mail: maria_plotnikova@inbox.ru

Панюкова Александра Вадимовна;
ORCID: 0000-0002-5367-280X;
e-mail: panyukovaalexandra@gmail.com

Синицын Валентин Евгеньевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-5649-2193;
eLibrary SPIN: 8449-6590;
e-mail: vsini@mail.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322846>

Лучевые методы в диагностике первичной и рецидивной злокачественной струмы яичников: клинический случай

Н.В. Нуднов, С.В. Ивашина, С.П. Аксенова

Российский научный центр рентгенорадиологии, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Представлено редкое клинико-диагностическое наблюдение первичной и рецидивной злокачественной струмы яичников.

Злокачественная струма правого яичника выявлена через 2 года после хирургического лечения первичной доброкачественной струмы левого яичника. Спустя полгода у пациентки выявлен рецидив заболевания, визуализируемый исключительно по данным радиоизотопных методов исследования. Визуализация рецидивных очагов по брюшине на ультразвуковом исследовании была отмечена на четвёртом году противоопухолевого лечения. По данным ультразвукового исследования, по брюшине малого таза на всём протяжении визуализировались множественные солидные опухолевые очаги изо-гипоэхогенной структуры с наличием локусов низко- и умеренно скоростного кровотока даже в мелких очагах: скорость кровотока (peak systolic velocity, PS) была в диапазоне от 2 до 9 см/сек, максимальный индекс сосудистого сопротивления (resistivity index, RI max) — 0,53. На протяжении 4 лет пациентке проводилась радиойодтерапия ¹³¹I активностью 6,0 ГБк. Состояние пациентки на фоне проводимого лечения удовлетворительное.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование; трёхмерная ангиография; ультразвуковая томография; энергетическое доплеровское картирование; МРТ; рецидив; злокачественная струма яичника; перитонеальный стромоз.

Как цитировать

Нуднов Н.В., Ивашина С.В., Аксенова С.П. Лучевые методы в диагностике первичной и рецидивной злокачественной струмы яичников: клинический случай // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 214–225. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322846>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322846>

Radiation methods in the diagnosis of primary and recurrent malignant ovarian struma: A case report

Nikolai V. Nudnov, Svetlana V. Ivashina, Svetlana P. Aksenova

Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

We provide a rare clinical and diagnostic observation of primary and recurring malignant ovarian struma.

Malignant struma of the right ovary was detected 2 years after surgical treatment of primary benign struma of the left ovary. Six months later, the patient was diagnosed with a disease relapse, visualized exclusively according to radioisotope research methods. In the fourth year of anticancer treatment, ultrasonography revealed recurring foci along the peritoneum. According to the ultrasound data on the pelvic peritoneum and the projection of the removed right ovary, multiple solid nodes with high blood flow were visualized. Peak systolic velocity ranged from 2 to 9 cm/s in minor lesions from 4 to 12 mm, with an RI max of 0.53. For 4 years, the patient underwent radioiodine therapy with ^{131}I with an activity of 6.0 GBq; the patient's condition during the treatment was satisfactory.

Keywords: 3D angiography; magnetic resonance imaging; malignant struma ovarii; peritoneal strumosis; power Doppler mapping; relapse; ultrasound; ultrasound tomography.

To cite this article

Nudnov NV, Ivashina SV, Aksenova SP. Radiation methods in the diagnosis of primary and recurrent malignant ovarian struma: A case report. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):214–225. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322846>

Received: 12.04.2023

Accepted: 16.05.2023

Published: 30.05.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322846>

放射治疗方法在原发性和复发性恶性卵巢甲状腺肿诊断中的应用：临床病例

Nikolai V. Nudnov, Svetlana V. Ivashina, Svetlana P. Aksenova

Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow, Russian Federation

简评

本文介绍了一个罕见的原发性和复发性恶性卵巢甲状腺肿的临床诊断观察。

右侧卵巢的恶性甲状腺肿是在左侧卵巢的原发性良性甲状腺肿手术治疗2年后发现的。6个月后，患者出现了只有放射性同位素技术数据才能观察到的疾病复发。在抗肿瘤治疗的第四年，超声检查发现了复发的腹膜病灶。根据超声检查，在全体盆腔腹膜上可以看到多个等渗及低回声结构的实体肿瘤病灶，存在低到中等速度的血流病灶，即使是小病灶：血流速度（peak systolic velocity, PS）在2到9cm/s之间，最大血管阻力指数（resistivity index, RI max）为0.53。患者曾接受放射性碘治疗¹³¹I，活性为6.0GBq，治疗了4年。在治疗的背景下，患者的情况是令人满意的。

关键词：超声检查；三维血管造影；超声层析成像；能量多普勒成像；MRI；复发；恶性卵巢甲状腺肿；腹膜甲状腺肿。

引用本文：

Nudnov NV, Ivashina SV, Aksenova SP. 放射治疗方法在原发性和复发性恶性卵巢甲状腺肿诊断中的应用：临床病例. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):214–225. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD322846>

收到: 12.04.2023

接受: 16.05.2023

发布日期: 30.05.2023

绪论

恶性卵巢甲状腺肿是一种罕见的疾病，根据世界卫生组织的分类（WHO Classification of Tumours, 2020年），它属于由皮样囊肿形成的单胚层畸胎瘤和器官样瘤组[1]。

关于这个问题的重要发现是在19世纪末做出的。Richard Böttlin于1889年首次描述了甲状腺组织在卵巢中的存在，Clemens von Kalden于1895年描述了卵巢甲状腺肿。1903年，Julius Robert von Meyer提出了“struma ovarii colloides”这个术语。同时Ludwig Pick提出了，卵巢甲状腺肿中的甲状腺元素可能发生各种转变。卵巢甲状腺肿中的全部病理变化都渐渐被描述出来了，包括结节性和毒性甲状腺肿、自身免疫性甲状腺炎、腺瘤、恶性上皮肿瘤[2, 3]。

卵巢甲状腺肿在90-95%的病例中是良性的，而恶性上皮肿瘤在其结构中极为罕见。恶性卵巢甲状腺肿的临床和诊断观察主要是描述性的[3-11]。

及时诊断卵巢甲状腺肿的类型对计划保持生育能力的生育年龄患者起着关键作用，因为这种疾病的不同组织学变体的手术治疗程度会有所不同。腹腔镜卵巢切除术或卵巢切除术将被考虑用于良性卵巢甲状腺肿，而恶性卵巢甲状腺肿则需要切除子宫及附件，切除大网膜[8]。科学出版物显示，从最初诊断卵巢甲状腺肿（良性或恶性）到恶性甲状腺肿的转移期的平均时间间隔为2至9年[2]。

要考虑到，卵巢甲状腺肿是一种肿瘤，而不是卵巢基质肥大，后者是在甲状腺中常见的，卵巢甲状腺肿的播散和向其他器官的转移潜力证实世界卫生组织在2020年最新的女性生殖器肿瘤分类中所表达的观点：“在组织学上为良性的卵巢甲状腺肿的患者中，高分化的甲状腺组织的腹膜植入物现在被认为是发生在卵巢甲状腺肿中的高分化滤泡癌的转移灶[1, 12]。并且指出，接受放射性碘（碘-131, ^{131}I ）治疗的患者的五年生存率高于未治疗的患者（94.9% vs 64.8%）[4, 10]。

分析医学信息来源（Pubmed, Medline），发现了通过超声检查或磁共振成像（MRI）对恶性卵巢甲状腺肿和复发性腹膜甲状腺肿的症状学进行的个别研究，同时在描述疾病和灌注特征方面的数据相互矛盾，这促使了本文的撰写。

临床病例描述

关于患者

本文研究了一例25岁的患者R的原发性和复发性恶性卵巢甲状腺肿T3cN0M0期的临床病例的特点。

患者R在产后一个月因左侧卵巢良性甲状腺肿、右侧卵巢皮样囊肿在左侧和右侧的卵巢切除术范围内进行手术。2年来未发现病变。2015年，因腹水和卵巢肿大在另一家医疗机构进行了诊断性腹腔镜检查和腹膜活检。在俄罗斯卫生部

联邦国家预算机构俄罗斯放射学科学中心对标本玻璃盖玻片进行了重复观察（低分化恶性卵巢甲状腺肿）。2015年的血液检查显示了，甲状腺球蛋白为35 156 ng/ml（正常值为0-50）；甲状腺球蛋白抗体为0.52 U/ml；甲状腺激素为0.76 ng/ml（正常值为<0.2）；甲状腺素为0.69 pmol/L；糖蛋白CA125为1339.5 U/ml；人绒毛膜促性腺激素为1.2 nU/ml；甲胎蛋白为2.25 IU/ml。

器械检查的结果

在另一家医疗机构对沿盆腔腹膜病灶进行诊断性腹腔镜检查和活检后，在俄罗斯放射学科学中心进行了全面的超声检查，发现了：异质性等低回声肿块，右侧附件投影有不规则 and 圆形的无回声结构区，肿块的固体成分结构中有明显的病理性血流，腹水，盆腔腹膜的癌变。图1给出右侧卵巢的原发性恶性甲状腺肿的三维血管造影。

盆腔内脏器的超声检查是在eSaote Pro超声机器上进行的（使用了经阴道和容积式经阴道探头）。超声检查是在标准的二维模式下进行的，然后高科技超声技术（功率多普勒成像、超声波断层扫描、三维血管造影）是使用的。

图2显示出覆盖子宫前壁的盆腔腹膜不均匀增厚。胚细胞瘤改变的盆腔腹膜的结构是等低回声的，子宫体边缘的轮廓不清晰。

值得注意的是，在道格拉斯腔的肿瘤病灶有明显的血流，而在厚（达到5-7 mm）盆腔腹膜的肿瘤病灶有平滑的血流（图3）。

除了超声检查外，还在高场断层扫描仪上进行了盆腔内脏器多参数MRI，磁场强度为1.5 T。MRI检查遵循了欧洲泌尿生殖放射学会的建议（ESUR Guidelines, 2019年），包括几种成像方法：T2-WI（T2加权像）、T1-WI（T1加权像）、DWI（扩散加权成像； $b=800$, $b=1400$ ）、T1动态对比增强[13]。

MRI上恶性卵巢甲状腺肿的首次显像特征是右侧卵巢中存在一个体积较大的恶性前固体肿块、轮廓不规则及不清晰的肿块、大小为0.7至3 cm的多囊性包涵体区域，并且T1-WI的MR信号不均匀增加，T2-WI的MR信号不均匀（从高到低），这相当于不同粘度的高蛋白含量的胶质结节。肿瘤固体肿块的特点是不同的扩散受限指数，从0.7到 $1.4\text{mm}^2/\text{s} \times 10^{-3}$ 。并且发现了沿盆腔腹膜的多个结节和弥漫性腹膜增厚。肿瘤结节、腹膜和腹膜结节的顺磁体积聚在T1-WI上急剧升高，脂肪组织信号受到抑制（图4）。同时，矢状位对比后图像清楚地显示，右侧卵巢恶性甲状腺肿的胶质结节中没有顺磁体积聚（见图4f）。

根据超声检查结果，在手术治疗3个月后发现盆腔内有5-10 ml的游离液体；右侧附件与子宫切除术、网膜切除术、甲状腺切除术。根据超全面的声检查结果，在放射性碘治疗（ ^{131}I , 6.0GBq, 共11个疗程）的背景下，游离液体保留了4年，但没有发现病灶。综合治疗开始

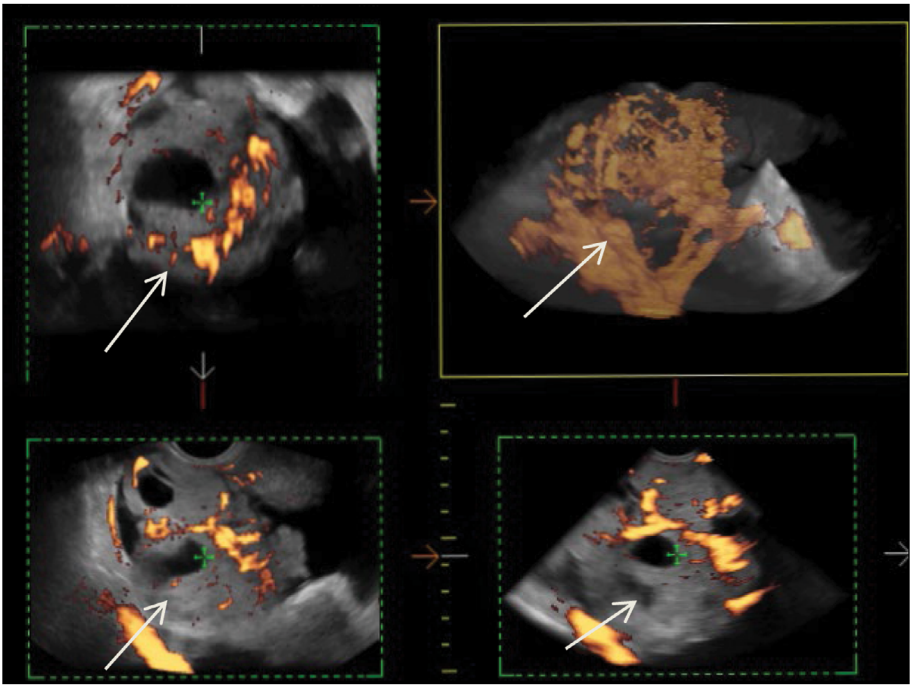


图1。右侧卵巢的低分化恶性甲状腺肿的三维血管造影（箭头）。

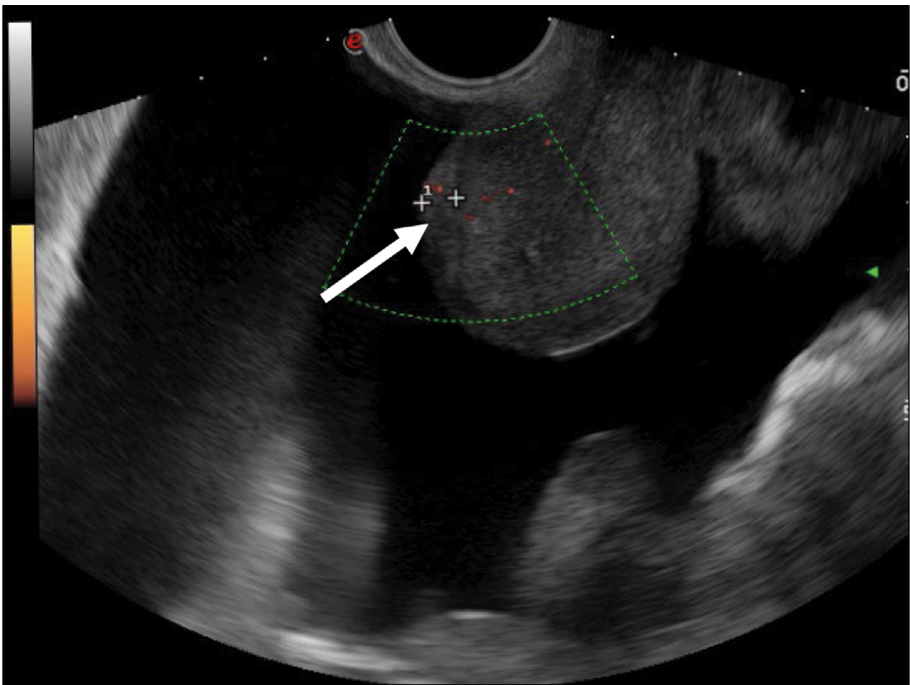


图2。功率多普勒超声图像。恶性卵巢甲状腺肿。子宫前的盆腔腹膜恶性上皮肿瘤（箭头）。图像上的肿瘤结节厚度为6 mm。

4年后，超声检查显示了第一个沿盆腔腹膜的基础疾病的复发病灶。

根据超声检查结果，在腹水背景下发现的沿盆腔腹膜的复发性恶性卵巢甲状腺肿病灶具有轮廓清晰及尺寸不大（4至12 mm）的等低回声结构。病灶外的盆腔腹膜厚度小于4 mm，但三维血管造影和超声波断层扫描显示了，即使是小的胚胎肿瘤病灶也有良好的血管。盆腔腹膜的结构中也有血流记录，其厚度约为4-5 mm（图5-7）。

为了确定恶性卵巢甲状腺肿的特定符号超声标志，我们将一个临床病例中的恶性甲状腺肿沿腹膜的复发性肿瘤病灶与12名患者的卵巢浆液性腺癌的复发性病灶进行了比较。比较子宫后间隙的肿瘤病灶，应注意到恶性卵巢甲状腺肿肿瘤病灶的新血管生成更为明显，小病灶（4至12 mm）的血流速度（peak systolic velocity, PS）被记录，范围为2至9 cm/s，最大血管阻力指数（Resistivity Index, RI max）为0.53。沿盆

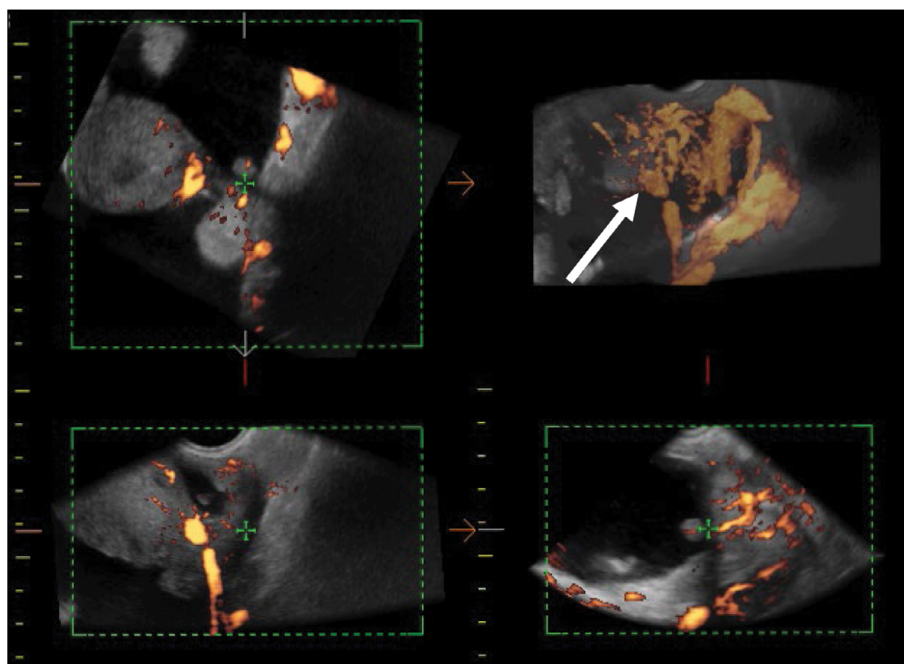


图3. 子宫后间隙沿腹膜的恶性甲状腺肿病灶的三维血管造影（箭头）。

腔腹膜的浆液性腺癌复发性病灶（小于9mm）没有血流记录，对于15–20 mm以内的病灶来说，血流速度在2–4 cm/s之间，小于2 cm/s（图5，8）。

因此，综上所述，在所提出的观察中，在MRI

上综合观察到甲状腺组织（胶质结节）、扩散受限区和其固体成分中的过高顺磁体体积聚，可能是恶性卵巢甲状腺肿的表现。恶性甲状腺肿的复发性病灶，即使很小（达到4–5 mm），也

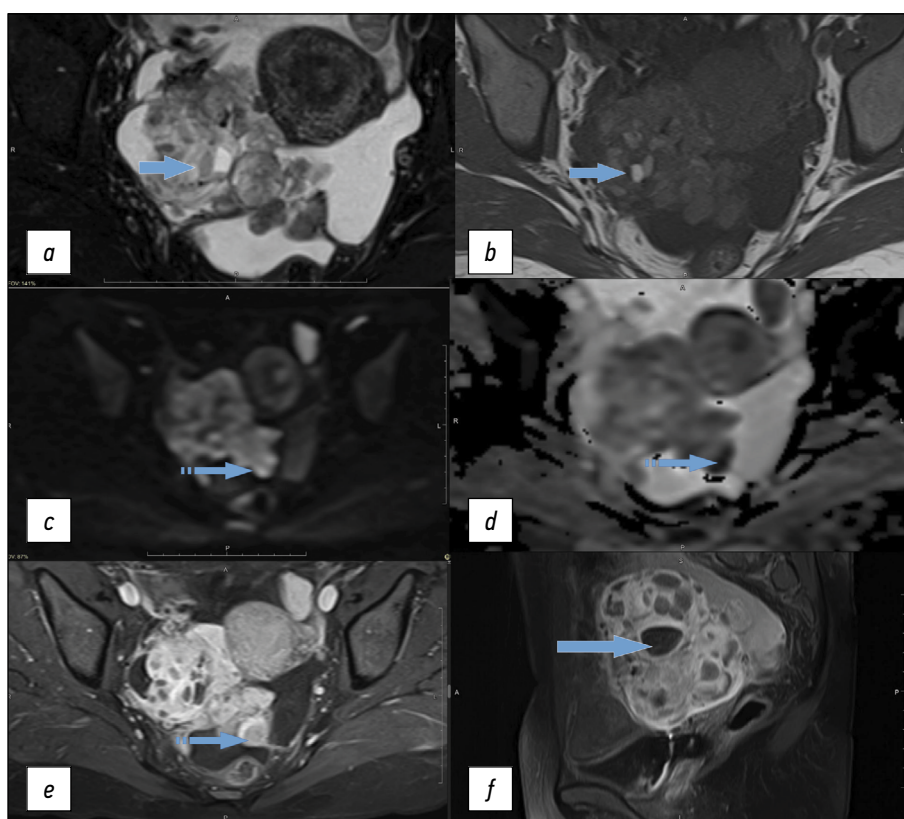


图4. 右侧卵巢恶性甲状腺肿患者R的盆腔内脏器磁共振成像：a——轴向平面的T2-FS-WI；b——轴向平面的T1-WI；c——DWI（b=1000）；d——ADC图；e——轴向平面的T1-FS-WI+对比剂；f——矢状面的T1-FS-WI+对比剂。实箭头表示右侧卵巢恶性甲状腺肿中的胶质结节；虚线箭头表示沿盆腔腹膜的病灶，其顺磁体体积聚是过高的，扩散受限，与主肿瘤的固体成分相似。

有良好的血管。右侧卵巢恶性甲状腺肿是在左侧卵巢原发性良性甲状腺肿的手术治疗2年后发现的。

患者的躯体状况并没有因腹水和持续的小盆腔复发性病灶而加重。

讨论

本研究分析了原发性和复发性恶性卵巢甲状腺肿的符号超声和MR成像。我们的发现与文献中

描述的这种肿瘤的个别观察基本一致。因此，恶性卵巢甲状腺肿在超声检查上表现为多囊性肿瘤，内部有不规则的间隔和异质性的回声固体成分。全面超声（功率多普勒成像、超声波断层扫描、三维血管造影）的结果显示，原发性恶性甲状腺肿和恶性卵巢甲状腺肿的小复发性病灶都有明显的新血管生成。一个特征是存在所谓的甲状腺肿珍珠（struma pearl），即轮廓光滑的显然圆形和固体区域，相当于富含胶质的甲状腺组织[8, 14-17]。

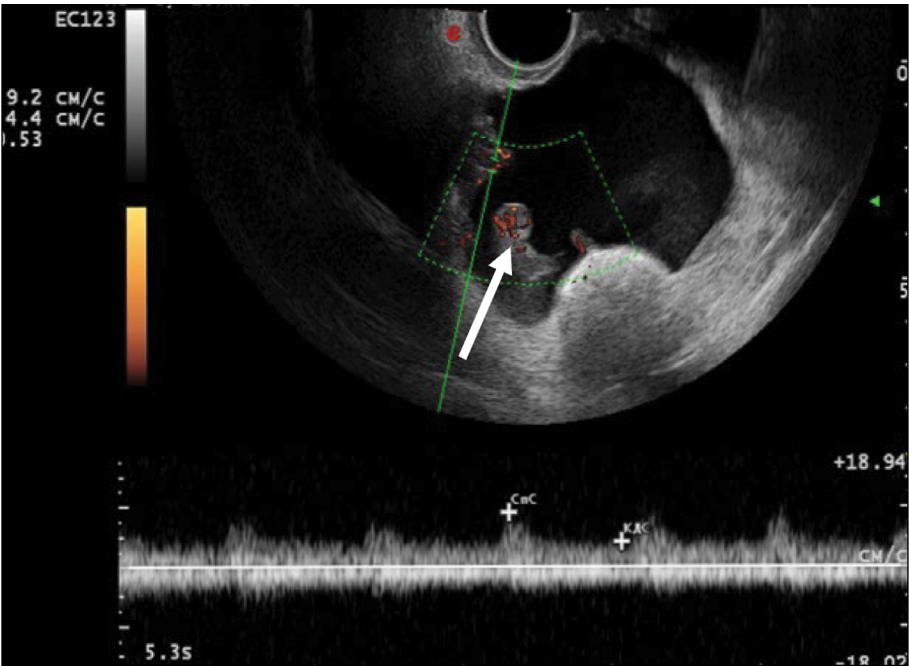


图5。功率多普勒超声图像。恶性卵巢甲状腺肿的复发性病灶（箭头）。

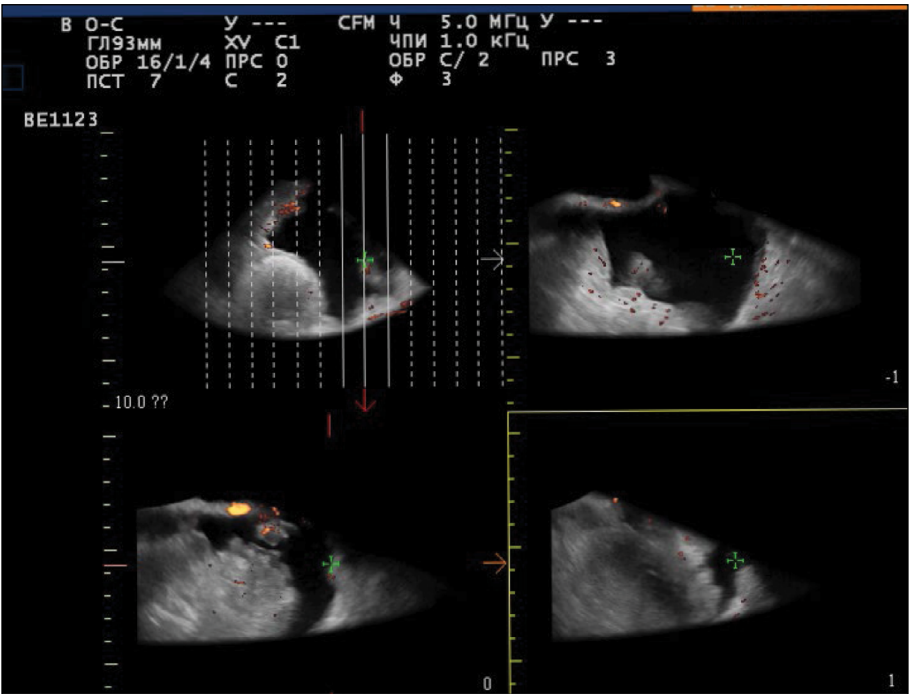


图6。恶性卵巢甲状腺肿复发性病灶的超声波断层扫描。

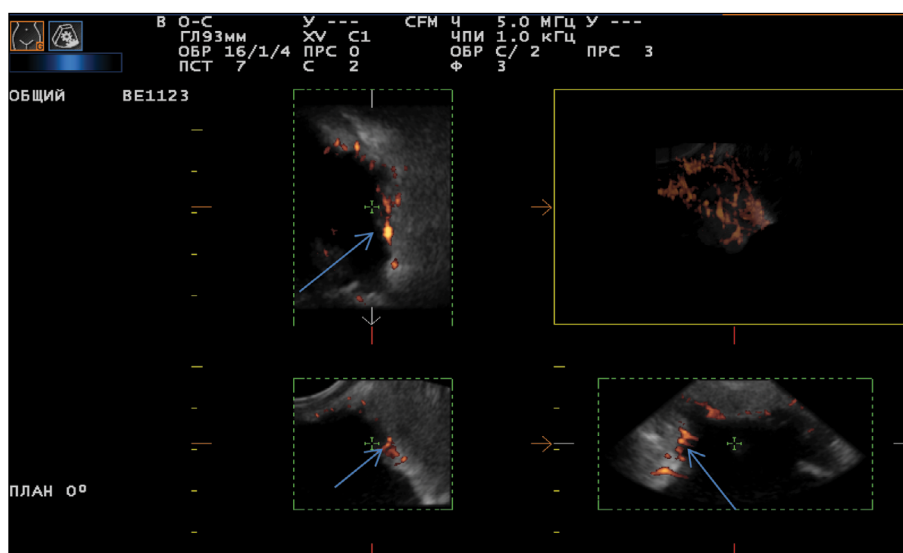


图7。在腹水的背景下，沿盆腔腹膜的恶性甲状腺肿复发性病灶的三维血管造影。

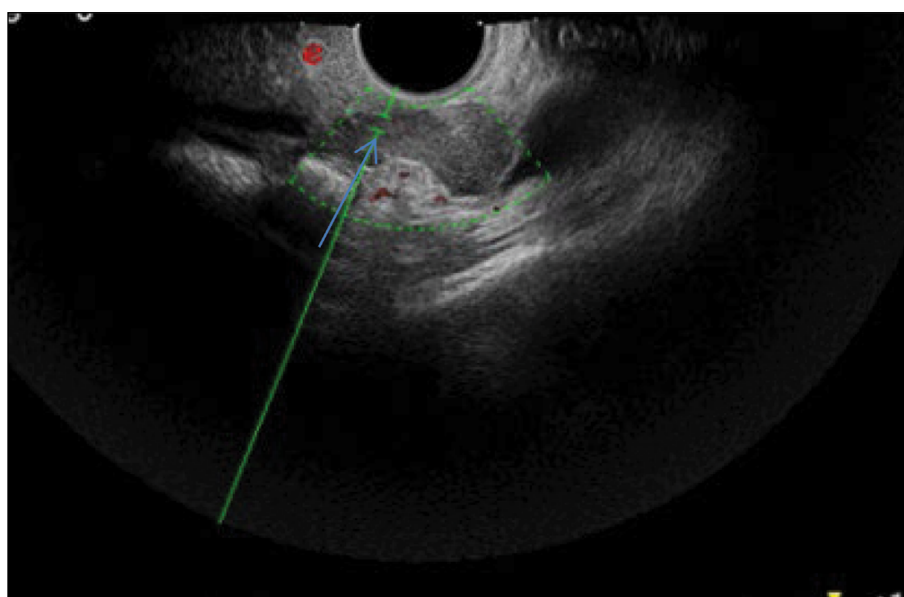


图8。一个IIIC期浆液性卵巢癌患者的子宫后间隙沿腹膜的肿瘤病灶的功率多普勒超声图像。

在我们的观察中，肿瘤并没有显示出恶性卵巢甲状腺肿的典型符号MR征象，而MRI可以怀疑在卵巢肿瘤的固体成分中的甲状腺组织中存在胶质结节包涵体。肿瘤固体成分及沿盆腔腹膜的病灶中存在不同程度的扩散受限。肿瘤固体成分在对比后系列上有极其明显的顺磁体积聚，而在胶质结节中没有积聚，这都是特定的。在R. Gil等人研究[14]中的MR图像上卵巢甲状腺肿被成像为多囊性肿瘤，有固体成分，通常在T1-WI有高信号强度，而囊肿在T2-WI有不同的信号强度，取决于液体的粘度。在N. Tamura等人研究[17]中，他们分析了18个卵巢甲状腺肿病例，只有54%的MRI扫描显示了积累造影剂的固体区域，并与恶性肿瘤的变体一致，而只有11%的病例发现了有扩散受限。

在我们的研究中，扩散受限是异质性的，但仍表明该过程的恶性性质，肿瘤中的灌注指数也是

如此。在S. Yamauchi等人研究[7]中也获得了与我们类似的数据：恶性卵巢甲状腺肿中的固体成分的特点是DWI上的MR信号增加，ADC图上的信号减少。因此，与病理形态学检查相比，恶性乳头状卵巢甲状腺肿的区域才对应于MRI上真正的扩散受限区域。

在本研究中，我们比较了恶性甲状腺肿复发性病灶和浆液性卵巢癌。应该注意的是，恶性甲状腺肿复发性病灶的结构与浆液性卵巢癌相似，具有等低回声结构，但根据超声血管造影和超声波断层扫描，浆液性卵巢癌的4-5 mm病灶中没有血流记录。需要强调的是，在浆液性卵巢癌中，我们没有记录沿盆腔腹膜结构中小于4 mm的血流病灶。在R. Ranade等人的科学研究[19]显示了，一名患者在手术治疗卵巢甲状腺肿6年后出现了腹膜甲状腺肿（struma peritonei），结构混合，存在钙化。

在C. Brogsitter等人的科学出版物[20]中,描述了一个腹膜甲状腺肿的临床病例,并明确了组织学检查的作用,因为它与卵巢癌有相似之处。腹膜甲状腺肿的许多方面仍未得到研究,但作者认为腹膜甲状腺肿与卵巢成熟畸胎瘤破裂或卵巢成熟畸胎瘤的卵巢切除术有联系。作者还指出,腹膜甲状腺肿的病程是“缓慢的”[20]。值得注意的是,在我们的临床病例中,也是如此,自发现腹膜多发病灶后的3年内,尽管放射性碘治疗的阳性病程较弱,但患者的躯体状况没有恶化。在所研究的数据库中,在MRI数据中没有发现恶性卵巢甲状腺肿——腹膜甲状腺肿——复发的现实观察。

结论

恶性卵巢甲状腺肿在术前是很难诊断的。虽然很难将卵巢甲状腺肿与卵巢腺癌区分开来,但使用超声检查和MRI检查对这些病症的鉴别诊断可能是合理的。

总之,可以说,在MRI上综合观察到甲状腺组织和其固体成分中的扩散受限区,可能是恶性卵巢甲状腺肿的表现。本研究显示了,即使是沿盆腔腹膜的恶性卵巢甲状腺肿的小复发性肿瘤病

灶(大小不超过4–5 mm)也有良好的血管,与浆液性卵巢癌相反,可以使用血管模式容积超声成像技术而发现的。

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. Nudnov N.V. — concept and design of the work; agreement on the final version of the text; Ivashina S.V. — writing the text of the article, analysis of the results, preparation of illustrations; Aksenova S.P. — writing the text of the article, analysis the results, preparing illustrations; manuscript editing.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Female Genital Tumours. WHO Classification of Tumours, 5th Edition, vol. 4. WHO Classification of Tumours Editorial Board, 2020. Режим доступа: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Who-Classification-Of-Tumours/Female-Genital-Tumours-2020>. Дата обращения: 15.04.2023.
2. Li S., Yang T., Li X. FIGO stage IV and age over 55 years as prognostic predictors in patients with metastatic malignant struma ovarii // *Front Oncol.* 2020. N 10. P. 584917. doi: 10.3389/fonc.2020.584917
3. Roth L.M., Karseladze A.I. Highly differentiated follicular carcinoma arising from struma ovarii: A report of 3 cases, a review of the literature, and a reassessment of so-called peritoneal strumosis // *Int J Gynecol Pathol.* 2008. Vol. 27, N 2. P. 213–222. doi: 10.1097/PGP.0b013e318158e958
4. Ayhan S., Kilic F., Ersak B., et al. Malignant struma ovarii: From case to analysis // *J Obstet Gynaecol Res.* 2021. Vol. 47, N 9. P. 3339–3351. doi: 10.1111/jog.14902
5. Kanasugi M., Nishiyama H., Sanpei M., et al. Ovarian strumal carcinoid: A case report // *Fukushima J Med Sci.* 2023. Vol. 69, N 1. P. 51–55. doi: 10.5387/fms.2022-22
6. Smith L.P., Brubaker L.W., Wolsky R.J. It does exist! Diagnosis and management of thyroid carcinomas originating in struma ovarii // *Surg Pathol Clin.* 2023. Vol. 16, N 1. P. 75–86. doi: 10.1016/j.path.2022.09.008
7. Yamauchi S., Kokabu T., Kataoka H., et al. Computed tomography, magnetic resonance imaging, and positron emission tomography/computed tomography findings for the diagnosis of malignant struma ovarii: A case report // *J Obstet Gynaecol Res.* 2023. Vol. 49, N 5. P. 1456–1461. doi: 10.1111/jog.15619
8. Yazawa R., Yazawa H., Fukuda K., Ohara M. Struma ovarii with massive ascites mimicking ovarian carcinoma treated with conservative laparoscopic surgery: A case report // *Fukushima J Med Sci.* 2023. Vol. 69, N 1. P. 37–43. doi: 10.5387/fms.2022-30
9. Shou L., Lu J., Yang J., et al. Follicular carcinoma originating from struma ovarii: A case report // *Medicine (Baltimore).* 2023. Vol. 102, N 1. P. e32658. doi: 10.1097/MD.00000000000032658
10. Elshafie O., Hussein S., Al Kalbani M., et al. Papillary follicular variant thyroid cancer in a malignant struma ovarii: A report of a rare case // *Endocrinol Diabetes Metab Case Rep.* 2022. Vol. 2022. P. 21–0169. doi: 10.1530/EDM-21-0169
11. Антонова И.Б., Фомин Д.К., Бабаева Н.А., и др. Злокачественная струма яичников. Обзор литературы и собственное наблюдение редкого варианта опухоли // *Трудный пациент.* 2018. Т. 16, № 8–9. С. 16–18.
12. Giovannopoulou E., Saliaris K., Kavoura E., et al. Highly differentiated follicular carcinoma of ovarian origin: A systematic review of the literature // *Curr Oncol.* 2022. Vol. 29, N 12. P. 9105–9116. doi: 10.3390/curroncol29120712
13. ResearchGate GmbH [интернет]. Alt C., Bharwani N., Brunesch L., et al.; ESUR Female Pelvis Imaging Working Group. Esur quick guide to female pelvis imaging [cite July 2019]. Режим доступа: https://www.esur.org/fileadmin/content/2019/ESUR_2019_ESUR_Quick_Guide_to_Female_Pelvis_Imaging.pdf. Дата обращения: 15.04.2023.
14. Gil R., Cunha T.M., Rolim I. Mature cystic teratoma with high proportion of solid thyroid tissue: A controversial case with unusual imaging findings // *J Radiol Case Rep.* 2017. Vol. 11, N 7. P. 20–30. doi: 10.3941/jrcr.v11i7.2853

15. Озерская И.А., Чекалова М.А., Иванов В.А., Казарян Г.Г. Ультразвуковые признаки опухолей яичников по стандартизованному протоколу // Медицинская визуализация. 2023. Т. 27, № 2. С. 110–124. doi: 10.24835/1607-0763-1144

16. Fujiwara S., Tsuyoshi H., Nishimura T., et al. Precise preoperative diagnosis of struma ovarii with pseud-Meigs' syndrome mimicking ovarian cancer with the combination of ¹³¹I scintigraphy and 18F-FDG PET: Case report and review of the literature // J Ovarian Res. 2018. Vol. 11, N 1. P. 11. doi: 10.1186/s13048-018-0383-2

17. Savelli L., Testa A.C., Timmerman D., et al. Imaging of gynecologic disease (4): Clinical and ultrasound characteristics of struma ovarii. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2008. Vol. 32, N 2. P. 210–219. doi: 10.1002/uog.5396

18. Tamura N., Murakami K., Ozaki R., et al. Current state of management of struma ovarii and preoperative imaging features: A retrospective case series study of 18 patients at a single institution // J Obstet Gynaecol Res. 2023. Vol. 49, N 3. P. 1007–1011. doi: 10.1111/jog.15545

19. Ranade R., Rachh S., Basu S. Late manifestation of struma peritonei and widespread functioning lesions in the setting of struma ovarii simulating highly differentiated follicular carcinoma // J Nucl Med Technol. 2015. Vol. 43, N 3. P. 231–233. doi: 10.2967/jnmt.114.149294

20. Brogsitter C., Wonsak A., Würl K., Kotzerke J. Peritoneal strumosis // Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2004. Vol. 31, N 7. P. 1057. doi: 10.1007/s00259-004-1548-3

REFERENCES

1. Female Genital Tumours. WHO Classification of Tumours, 5th Edition, vol. 4. WHO Classification of Tumours Editorial Board; 2020. Available from: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Who-Classification-Of-Tumours/Female-Genital-Tumours-2020>. Accessed: 15.04.2023.

2. Li S, Yang T, Li X. FIGO stage IV and age over 55 years as prognostic predictors in patients with metastatic malignant struma ovarii. *Front Oncol.* 2020;(10):1983. doi: 10.3389/fonc.2020.584917

3. Roth LM, Karseladze AI. Highly differentiated follicular carcinoma arising from struma ovarii: A report of 3 cases, a review of the literature, and a reassessment of so-called peritoneal strumosis. *Int J Gynecol Pathol.* 2008;27(2):213–222. doi: 10.1097/PGP.0b013e318158e958

4. Ayhan S, Kilic F, Ersak B, et al. Malignant struma ovarii: From case to analysis *J Obstet Gynaecol Res.* 2021;47(9):3339–3351. doi: 10.1111/jog.14902

5. Kanasugi M, Nishiyama H, Sanpei M, et al. Ovarian strumal carcinoid: A case report. *Fukushima J Med Sci.* 2023;69(1):51–55. doi: 10.5387/fms.2022-22

6. Smith LP, Brubaker LW, Wolsky RJ. It does exist! Diagnosis and management of thyroid carcinomas originating in struma ovarii. *Surg Pathol Clin.* 2023;16(1):75–86. doi: 10.1016/j.path.2022.09.008

7. Yamauchi S, Kokabu T, Kataoka H, et al. Computed tomography, magnetic resonance imaging, and positron emission tomography/computed tomography findings for the diagnosis of malignant struma ovarii: A case report. *J Obstet Gynaecol Res.* 2023;49(5):1456–1461. doi: 10.1111/jog.15619

8. Yazawa R, Yazawa H, Fukuda K, Ohara M. Struma ovarii with massive ascites mimicking ovarian carcinoma treated with conservative laparoscopic surgery: A case report. *Fukushima J Med Sci.* 2023;69(1):37–43. doi: 10.5387/fms.2022-30

9. Shou L, Lu J, Yang J, et al. Follicular carcinoma originating from struma ovarii: A case report. *Medicine (Baltimore).* 2023;102(1):e32658. doi: 10.1097/MD.00000000000032658

10. Elshafie O, Hussein S, Al Kalbani M, et al. Papillary follicular variant thyroid cancer in a malignant struma ovarii: A report of a rare case. *Endocrinol Diabetes Metab Case Rep.* 2022;2022:21-0169. doi: 10.1530/EDM-21-0169

11. Antonova IB, Fomin DK, Babaeva NA, et al. Malignant ovarian stroma. Literature review and own observation of a rare variant of the tumor. *Difficult Patient.* 2018;16(8-9):16–18. (In Russ).

12. Giovannopoulou E, Saliaris K, Kavoura E, et al. Highly differentiated follicular carcinoma of ovarian origin: A systematic review of the literature. *Curr Oncol.* 2022;29(12):9105–9116. doi: 10.3390/curroncol29120712

13. ResearchGate GmbH [Internet]. Alt C, Bharwani N, Brunesch L, et al.; ESUR Female Pelvis Imaging Working Group. Esur quick guide to female pelvis imaging [cite July 2019]. Available from: https://www.esur.org/fileadmin/content/2019/ESUR_2019_ESUR_Quick_Guide_to_Female_Pelvis_Imaging.pdf. Accessed: 15.04.2023.

14. Gil R, Cunha TM, Rolim I. Mature cystic teratoma with high proportion of solid thyroid tissue: A controversial case with unusual imaging findings. *J Radiol Case Rep.* 2017;11(7):20–30. doi: 10.3941/jrcr.v11i7.2853

15. Ozerskaya IA, Chekalova MA, Ivanov VA, Kazaryan GG. Ultrasound signs of ovarian tumors according to a standardized protocol. *Medical Imaging.* 2023;27(2):110–124. (In Russ). doi: 10.24835/1607-0763-1144

16. Fujiwara S, Tsuyoshi H, Nishimura T, et al. Precise preoperative diagnosis of struma ovarii with pseud-Meigs' syndrome mimicking ovarian cancer with the combination of ¹³¹I scintigraphy and 18F-FDG PET: Case report and review of the literature. *J Ovarian Res.* 2018;11(1):11. doi: 10.1186/s13048-018-0383-2

17. Savelli L, Testa AC, Timmerman D, et al. Imaging of gynecologic disease (4): Clinical and ultrasound characteristics of struma ovarii. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2008;32(2):210–219. doi: 10.1002/uog.5396

18. Tamura N, Murakami K, Ozaki R, et al. Current state of management of struma ovarii and preoperative imaging features: A retrospective case series study of 18 patients at a single institution. *J Obstet Gynaecol Res.* 2023;49(3):1007–1011. doi: 10.1111/jog.15545

19. Ranade R, Rachh S, Basu S. Late Manifestation of struma peritonei and widespread functioning lesions in the setting of struma ovarii simulating highly differentiated follicular carcinoma. *J Nucl Med Technol.* 2015;43(3):231–233. doi: 10.2967/jnmt.114.149294

20. Brogsitter C, Wonsak A, Würl K, Kotzerke J. Peritoneal strumosis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2004;31(7):1057. doi: 10.1007/s00259-004-1548-3

AUTHORS' INFO

* **Nikolai V. Nudnov**, MD, Dr. Sci. (Med), Professor;
address: 86 Profsoyuznaya street, 117997 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0001-5994-0468;
eLibrary SPIN: 3018-2527;
e-mail: nudnov@rncrr.ru

Svetlana V. Ivashina, MD, Cand. Sci. (Med),
Senior Research Associate;
ORCID: 0000-0002-9287-2636;
eLibrary SPIN: 7829-2899;
e-mail: s.ivashina@bk.ru

Svetlana P. Aksenova, MD, Cand. Sci. (Med), Research Associate;
ORCID: 0000-0003-2552-5754;
eLibrary SPIN: 4858-4627;
e-mail: fabella@mail.ru

ОБ АВТОРАХ

* **Нуднов Николай Васильевич**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86;
ORCID: 0000-0001-5994-0468;
eLibrary SPIN: 3018-2527;
e-mail: nudnov@rncrr.ru

Ивашина Светлана Вячеславовна, к.м.н.,
ст. науч. сотр.;
ORCID: 0000-0002-9287-2636;
eLibrary SPIN: 7829-2899;
e-mail: s.ivashina@bk.ru

Аксенова Светлана Павловна, к.м.н., науч. сотр.;
ORCID: 0000-0003-2552-5754;
eLibrary SPIN: 4858-4627;
e-mail: fabella@mail.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD289714>

Мальформация Абернети: клинический случай

А.В. Панюкова¹, В.Е. Синицын¹, Е.А. Мершина¹, Н.А. Ручёва²¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Медицинский научно-образовательный центр, Москва, Российская Федерация² Национальный медицинский исследовательский центр трансплантологии и искусственных органов имени академика В.И. Шумакова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Врождённые портокавальные шунты — редкие сосудистые аномалии, связанные с частичным или полным отведением портальной крови в системный кровоток. Врождённые внепечёночные портокавальные шунты называются мальформацией Абернети. Ввиду низкой частоты встречаемости и разнообразия клинических проявлений выявление данной патологии представляет диагностическую проблему.

В статье описан клинический случай мальформации Абернети типа Ib у 15-летнего пациента с длительным анамнезом повышенного артериального давления, рецидивирующими носовыми кровотечениями, болью в груди, головокружением, одышкой, низкой толерантностью к физической нагрузке, эпизодами крови в стуле, болью в эпигастральной области, тошнотой и зудом. В результате проведённого комплексного обследования у пациента была диагностирована аномалия развития портальной системы: расширенный конduit воротной вены, впадающий непосредственно в нижнюю полую вену. Выявлены также множественные узлы в паренхиме печени, расширение камер сердца, гипертрофия миокарда и лёгочная гипертензия. Учитывая выраженность симптомов, размеры и тип шунта, междисциплинарным консилиумом рекомендована трансплантация печени.

В статье рассматриваются алгоритмы диагностики и другие возможные варианты лечения аномалий развития портальной системы.

Ключевые слова: клинический случай; сосудистые мальформации; врождённые внепечёночные портосистемные шунты; мальформация Абернети; КТ-ангиография.

Как цитировать

Панюкова А.В., Синицын В.Е., Мершина Е.А., Ручёва Н.А. Мальформация Абернети: клинический случай // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 226–237. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD289714>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD289714>

Abernethy malformation: A case report

Alexandra V. Panyukova¹, Valentin E. Sinitsyn¹, Elena A. Merzhina¹, Natalia A. Rucheva²

¹ Lomonosov Moscow State University, Medical Research and Educational Center, Moscow, Russian Federation

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

ABSTRACT

Congenital portosystemic shunts are rare congenital vascular anomalies associated with partial or complete portal blood diversion into the systemic circulation. Congenital extrahepatic portosystemic shunts, termed Abernethy malformation, are a diagnostic challenge owing to its low incidence and clinical presentations. We report a case of Abernethy malformation type Ib in a 15-year-old male with a history of chronic epigastric pain and nausea, high arterial blood pressure, recurrent nose bleeds, chest pain, dizziness, dyspnea, low exercise tolerance, hematochezia, and itching. Imaging studies revealed a dilated portal vein conduit flowing into the inferior vena cava, bypassing the porta hepatis. Other findings included multiple liver nodules, heart chamber dilatation, myocardial hypertrophy, and pulmonary hypertension. Because of the severity of the patient's symptoms and shunt anatomy, liver transplantation was recommended after multidisciplinary panel consultations. Further, diagnostic algorithms and other treatment options are discussed.

Keywords: Case report; vascular malformations; congenital extrahepatic portosystemic shunt; Abernethy malformation; computed tomography angiography.

To cite this article

Panyukova AV, Sinitsyn VE, Merzhina EA, Rucheva NA. Abernethy malformation: A case report. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):226–237.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD289714>

Received: 06.03.2023

Accepted: 03.04.2023

Published: 12.05.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD289714>

Abernethy畸形：临床病例

Alexandra V. Panyukova¹, Valentin E. Sinitsyn¹, Elena A. Merzhina¹, Natalia A. Rucheva²

¹ Lomonosov Moscow State University, Medical Research and Educational Center, Moscow, Russian Federation

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

简评

先天性门体分流是与部分或全部门静脉血转入全身血液有关的罕见血管异常。先天性肝外门腔分流被称为Abernethy畸形。由于发病率低并临床表现多样，这种病理的识别是一个诊断问题。

本文描述了一个15岁患者的Ib型Abernethy畸形的临床病例，该患者长期有高血压、反复鼻出血、胸痛、头晕、呼吸困难、运动耐力低下、便血、上腹痛、恶心和瘙痒等病史。经过全面检查，患者被诊断为门静脉系统异常：门静脉导管扩张，直接流入下腔静脉。还发现了肝实质中的多个结节、扩张的心腔、心肌肥厚和肺动脉高压。鉴于症状的严重性以及分流的大小和类型，一个多学科科联合会诊建议进行肝移植。

我们在本文中讨论了门静脉系统异常的诊断算法和其他可能的治疗方案。

关键词：临床病例；血管畸形；先天性肝外门腔分流；Abernethy畸形；CT血管造影。

引用本文：

Panyukova AV, Sinitsyn VE, Merzhina EA, Rucheva NA. Abernethy畸形：临床病例. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):226–237.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD289714>

收到：06.03.2023

接受：03.04.2023

发布日期：12.05.2023

现实性

先天性门体分流(congenital portosystemic shunts, CPS)是与部分或全部门静脉血转入全身血液有关的罕见血管异常。据估计, CPS在新生儿中的发病率为1:30 000, 在老年患者中的发病率为1:50 000[1]。由于血管解剖的巨大变异性, CPS的分类非常复杂。CPS可分为肝内分流和肝外分流, 部分或完全无门静脉血流[2]。先天性肝外门腔分流被称为Abernethy畸形(John Abernethy), J. Abernethy于1793年首次描述了这一病理现象[3]。然而, 先天性肝外门腔分流的病例报道很少。

临床病例描述

关于患者

一名15岁的男孩因长期上腹痛和恶心入院。患者还伴有发作性高血压(高达160/90 mm Hg)、反复鼻出血、胸痛、头晕、呼吸困难、运动耐量低、便血和长期皮肤瘙痒。

病史: 入院前12年诊断出门脉高压(未提供医疗文件)。

实验和仪器诊断

肝功能检查显示了, 丙氨酸氨基转移酶活性中度升高(59.8 U/L, 正常值为13-50), 天门冬氨酸氨基转移酶水平升高(67.1 U/L, 正常值为15-46), γ -谷氨酰基转移酶(91 U/L, 正常值为2-42)、碱性磷酸酶(316 U/L, 正常值52-171)、总胆红素(39.2 μ mol/L, 正常值3.4-17.1)、直接胆红素(12.5 μ mol/L, 正常值0-5)水平升高, 白蛋白浓度略有下降(40.2g/L, 正常值41-55)。

血液常规检查和凝血检查都在正常范围内; 尿素氮和血清肌酐也在参考值范围内。

经胸超声心动图显示了心腔扩张、心肌肥厚(左心室壁厚为1.6 cm)、收缩期肺动脉高压(肺动脉收缩压为40 mm Hg)。观察到主动脉

异位(纤维环水平的直径为3.4 cm, 主动脉窦水平的为5.1 cm, 升主动脉水平的为4.0 cm)。未发现左心室流出道狭窄和心室壁运动减弱; 左心室功能保留。

腹部超声检查结果: 肝脏增大, 有很多结节; 实质结构改变; 纤维化的症状; 肝门区域无明显门静脉主干或分支; 肝脏血管形态变形; 肝静脉狭窄。还发现门静脉高压和脾脏中度肿大。

为了评估肝结节, 分析了血清甲胎蛋白肿瘤标志物水平: 浓度正常(1.72 IU/ml)。

为了确诊和明确血管解剖结构, 还进行了其他影像学检查。

增强造影剂和多平面重建的腹部电子计算机断层扫描(CT)显示了, 直径为12 mm的脾静脉(图1)和肠系膜上静脉合并在一起, 形成直径达28 mm的门静脉导管(图2, 图3)。门静脉导管绕过肝门直接流入下腔静脉(图4)。肝脏和脾脏中度肿大, 肝实质轻度异型造影剂强化。根据检查结果, 诊断为Abernethy畸形Ib型。

CT肺血管造影显示了, 无异常血管分流, 但证实了肺动脉干扩张(直径为40 mm)(图5)和心腔扩张, 以及心肌肥厚(图6)。

治疗和预后

在与亚专科医生会诊后, 由于保守治疗效果不佳、症状严重以及分流解剖结构, 建议进行肝移植。目前, 患者正在等待手术治疗。

讨论

发生机制

先天性门体分流和获得性门体分流的病因和发展有很大不同。先天性肝外门腔分流是由胎儿血管系统的异常形成或内陷发生的, 而获得性分流是继发于肝脏疾病[2]。文献中关于先天性肝外门腔分流形成的理论主要有两种: 先天性畸形和静脉导管异常。

门静脉系统的发育非常复杂, 发生在胚胎第4周至第10周。总静脉系统由胚胎的前心静脉和后



图1. 造影剂计算机断层扫描, 门静脉相, 轴向投影: 脾静脉(SV)扩张。



图2. 造影剂计算机断层扫描, 门静脉相, 正面投影: 脾静脉(SV)和肠系膜上静脉(SMV)合并形成门静脉导管(箭头)。



图3。造影剂计算机断层扫描，门静脉相，轴向投影：门静脉导管（箭头）。



图4。造影剂计算机断层扫描，门静脉相，正面投影：门静脉导管直接流入下腔静脉（箭头）；肝脏增大；实质异质强化。



图5。肺部计算机断层扫描血管造影，轴向投影：肺动脉干扩张。

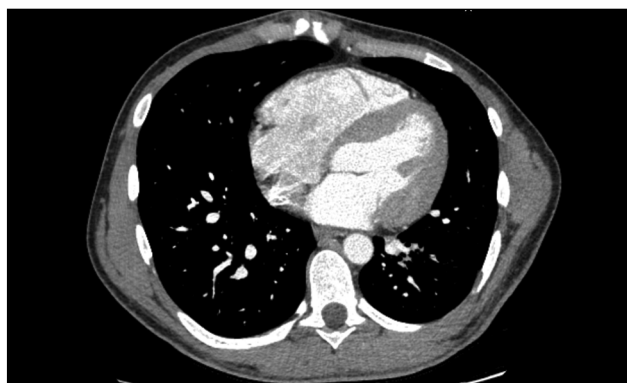


图6。肺部计算机断层扫描血管造影，轴向投影：心肌肥厚。

心静脉相互作用形成。门静脉系统由卵黄静脉形成，它们将血液从卵黄囊输送到静脉窦[4]。门静脉系统的发育中断导致先天性肝外门腔分流的发生。这种变异与合并先天性疾病密切相关。根据O. Bernard等人[1]研究结果，先天性心脏缺损是最常见的相关病变（265例中有45例）。其他报告的畸形包括肾脏、胆管（包括胆道闭锁）、消化系统、骨头和头脑的异常。

先天性肝外门腔分流发生的另一个机制是由于解剖缺陷或闭塞导致的胎儿静脉导管功能缺失。在正常发育的胎儿中，血液通过腔静脉从脐静脉流向下腔静脉，绕过肝脏。导管的功能性闭合是在出生后几分钟内自然发生的，而结构性闭合则是在大多数足月婴儿出生后的头几周发生的[5]。脐静脉和静脉导管在出生后最初几个月解剖学上闭合，分别成为肝圆韧带和静脉韧带[4]。静脉导管的异常可导致胎儿异常血管的形成。反过来，这些血管可能发展为异常分流。这导致门静脉系统发育不全。在某些先天性肝外门腔分流病例中，可发现无静脉导管[6, 7]。

分类法

先天性肝外门腔分流的一个广泛使用的分类是由G. Morgan和R. Superina于1994年提出的分类系统（表1）。根据该分类法，Abernethy畸形根据

肝内门脉系统的通畅程度分为两型[8]。I型为完全性门体分流，同时II型为部分血液分流至全身静脉，门静脉系统有一定程度的发育（图7）。根据先天性肝外门腔分流的类型，建议不同的治疗方案[9]。

临床表现和并发症

临床表现各不相同，取决于通过分流的血流量，其范围从无症状的成年患者的偶然发现[10, 11]到复杂先天性畸形[12]、严重低氧血症[13]、脑病[14, 15]或肝肿瘤[16]。对于大多数患者来说，症状是非特异性的，如肝衰竭的急性失代或肝硬化。X. Lin等人[17]研究了703例先天性肝外门腔分流患者的数据。这些数据共发表在451篇文章中。他们的研究报告显示，大多数Abernethy畸形患者为儿童或18岁以下的年轻人。血流分流程度较高的严重先天性畸形的诊断年龄通常较小。如果存在部分血液分流，这种疾病在成年前可能没有症状。

半乳糖血症可能是先天性肝外门腔分流的首发症状。半乳糖血症是在新生儿早期的常规筛查中即可诊断的。半乳糖在肝脏中将半乳糖-1-磷酸尿苷转移酶代谢为葡萄糖。然而，在先天性肝外门腔分流患儿中，半乳糖会绕过肝脏。这导致其在全身血液中的水平升高[18, 19]。一些研究者

表1. 根据G. Morgan和R. Superina[8]的门脉系统异常分类

I型	肝脏没有门静脉血液灌注——完全分流
	Ia: 肠系膜上静脉和脾静脉分别排入体循环
	Ib: 肠系膜上静脉和脾静脉形成一条排入体循环的门静脉主干
II型	肝脏有门静脉血液灌注——部分分流(如门静脉-肝静脉吻合术)
	IIa: 先天性
	IIb: 获得性

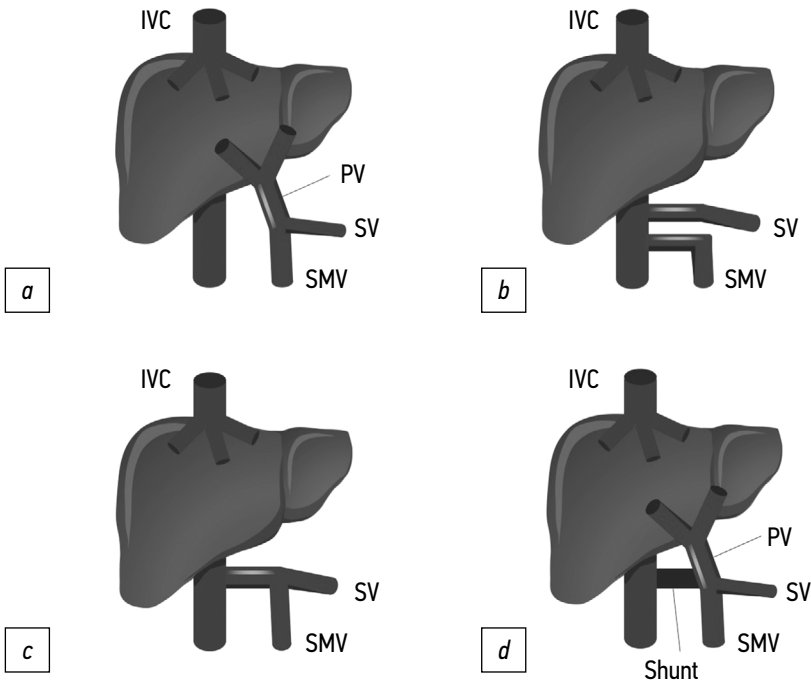


图7. 门静脉的正常解剖和分流的分类：a——门静脉的正常解剖；b——先天性肝外门腔分流，Ia型；c——先天性肝外门腔分流，Ib型；d——先天性肝外门腔分流，II型。

注：IVC (inferior vena cava) ——下腔静脉；PV (portal vein) ——门静脉；SV (splenic vein) ——脾静脉；SMV (superior mesenteric vein) ——肠系膜上静脉；Shunt——分流。

发现了，70%患有先天性肝外门腔分流的新生儿有高半乳糖血症[1]。新生儿早期可能出现的其他症状包括生长迟缓、新生儿胆汁淤积和肝性脑病[20]。

在病变较轻的患者中，先天性肝外门腔分流可能直到成年仍未被发现。表现可能与肝性脑病、肝肿瘤或肺动脉高压相关。

对于30%的先天性肝外门腔分流患者来说，可出现亚临床肝性脑病[21]。门静脉血液分流导致全身血液中的氨水平升高。氨在胃肠道的血液中形成。氨绕过肝脏直接进入下腔静脉。星形胶质细胞将氨代谢为谷氨酰胺。谷氨酰胺对脑有毒性作用[14]。然而，高氨血症可能不伴有脑病，尤其是在年轻时。临床脑病在老年患者中更为常见，这可能是由于代偿能力较低所致[15]。由于症状的特异性较低，此类病例的诊断可能比较困难[14, 22, 23]。血清氨浓度升高而无肝硬化体征，应该进行进一步检查，是否存在肝外分流。

CPS患者容易发展为多发性肝肿瘤。关于CPS患者肝实质组织学变化的文献资料数量有限。C. De Vito等人[24]描述了涉及22例CPS患者的病例系列报道，其中19例先天性肝外门腔分流患者在他们的机构接受了长达15年的检查和随访。根据他们的研究结果，外周肝实质中最具有特征性的组织学发现包括门静脉明显薄壁道、动脉胆汁二联体、门静脉束和肝小叶中增大动脉轮廓的存在，以及在儿童中经常缺乏生理性的门静脉周围空泡化肝细胞。

先天性肝外门腔分流患者肝肿瘤的病理生理学仍不清楚。发生机制之一是由于肝脏再生能力下降。低门静脉血流导致将胰岛素和胰高血糖素到肝细胞的输送减少，从而增加了肝细胞损伤和肿瘤发生的风险[25]。此外，肝动脉血流增加可能与实质细胞的去分化有关[16]。

肝脏结节性病变是各种类型Abernethy畸形的典型表现。肝结节在大多数情况下是良性的，包

括局灶性结节性增生、肝腺瘤和再生结节。大多数患者无症状。然而，对于其中一些患者来说，在腹腔发现肿块。在我们的病例中，肝结节是在腹部超声检查中意外发现的。

然而，并非所有肝脏肿块都是良性的。Abernethy畸形I型与肝母细胞瘤和肝细胞癌有关[26, 27]。肝母细胞瘤很少见于先天性肝外门腔分流患儿。这些肿瘤预后不良。大多数病例都是致命的[25, 26]。肝细胞癌多见于成人，但也有例外。因此，M. Benedict等人[28]发表了一例12个月大男孩的病例，他患有经组织学和免疫组化证实的肝细胞癌。肿瘤的诊断可能比较困难，因为有些病变的放射学特征不明确，可能被误认为良性肿块[11]。在这种情况下，通常需要进行活检。一种治疗方法是肝移植[29]。

一些先天性肝外门腔分流患者有肺动脉高压的体征，如呼吸困难[30, 31]。严重的肺动脉高压可导致心源性晕厥，原因是前负荷降低和脑灌注不足[17]。在我们的病例中，肺动脉高压被确诊。

肝肺综合征发生于伴有门静脉高压的肝脏疾病患者。来自肠道的血管活性物质通过门体分流绕过肝循环，直接流入肺血管床；这导致血管扩张剂和血管收缩剂之间的不平衡，诱发肺动脉高压[9]。在这种情况下，肝血管异常是可以纠正的。

诊断和治疗

目前，还没有关于先天性肝外门腔分流诊断和治疗的公布指南。A. Baiges等人[32]提出了治疗先天性肝外门腔分流患者的模式（图8）。该模式基于包括66例患者的国际多中心研究结果。

在我们的病例中，在进行腹部超声检查是怀疑为Abernethy畸形。通常，先天性肝外门腔分流的超声征象包括门静脉主干的缺失或发育不全、肝实质实性病灶、肝内门静脉血管和血流信号不足以及肝动脉肥大[33]。如果异常是超声检查时发现的，应该通过其他影像学方式，如CT或磁共振血管造影（MRA），进一步证实。增强CT可提供关于分流大小、方向和类型的重要信息。这有助于为每位患者选择最理想的治疗方法。此外，CT还可显示出和评估相关异常，包括肝脏肿块。MRA是显示出肝脏血管解剖的一种可靠和无创的方法。它不需要辐射，对软组织的对比度优于CT。此外，弥散加权图像和肝细胞特异性的造影剂可提供更多有价值的信息，以评估肝脏结节性病变和进一步作出决策。

治疗方法取决于分流的类型和大小、症状的严重程度、相关异常和并发症。无症状的患者可在医生指导下进行治疗。考虑到存在并发症的风险，L. Kwapisz等人[27]建议先天性肝外门腔分流患者接受常规临床检查、定期血液检查（包括肝功能检查）以及每年一次的肝脏影像学检查。

Abernethy畸形的治疗经验仍然是有限的。根据所描述的病例，目前的治疗方案包括介入或手术分流关闭术和肝移植。I型患者的长期治疗方案仅限于肝移植和手术前的支持治疗。对于II型先天性肝外门腔分流患者来说，根据并发症的发展和相关异常，有更多的治疗选择。其中之一是通过血管造影介入治疗（使用线圈或塞子）结扎或关闭门体分流[34]。但是，介入性关闭可能会导致复发性高氨血症，如之前的报道[35]。

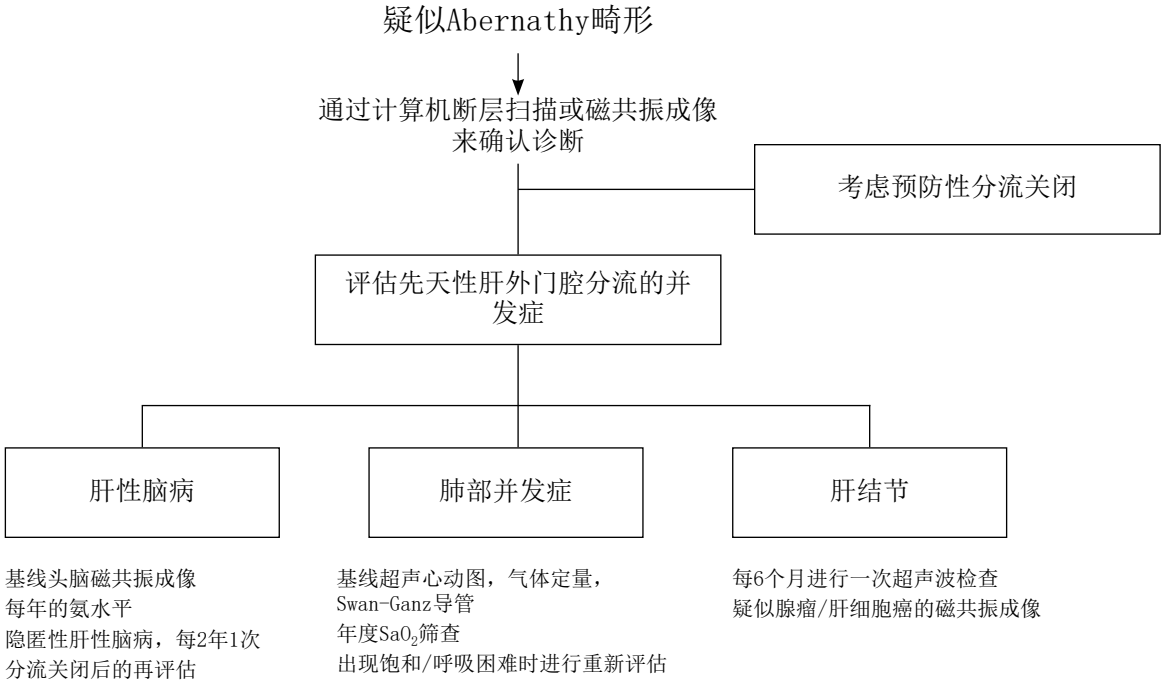


图8. 根据A. Baiges等人的研究，先天性肝外门腔分流患者的治疗模式[32]。

使用球囊导管进行对分流的诊断性闭塞可能有助于评估两种类型先天性肝外门腔分流患者的肝内门脉系统[35]。该检查可显示出门静脉的小分支。超声检查不能显示出这些分支。H. Kanazawa等人[36]，根据分流闭塞试验的结果，提出了肝内门脉系统的新分类（轻度、中度和重度）。肝内门脉系统分类与分流闭塞的门静脉压力、组织病理学检查结果、术后门静脉血流和肝脏再生相关。该分类有助于决定进行一期或二期分流关闭或肝移植。

结论

Abernethy畸形是一种罕见病。它与严重的并发症和不良预后有关。先天性肝外门腔分流的诊断具有挑战性，因为其发病率低、症状无特异性、不同器官系统是累及的以及表现中存在变异性。影像学在诊断和治疗计划中起着重要作用。

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bernard O., Franchi-Abella S., Branchereau S., et al. Congenital portosystemic shunts in children: Recognition, evaluation, and management // *Seminars Liver Dis.* 2012. Vol. 32, N 4. P. 273–287. doi: 10.1055/s-0032-1329896
2. Papamichail M., Pizania M., Heaton N. Congenital portosystemic venous shunt // *Eur J Pediatrics.* 2018. Vol. 177, N 3. P. 285–294. doi: 10.1007/s00431-017-3058-x
3. Abernethy J. Account of two instances of uncommon formation in the viscera of the human body: From the philosophical transactions of the royal society of London // *Med Facts Observations.* 1797. N 7. P. 100–108.
4. Guérin F., Blanc T., Gauthier F., et al. Congenital portosystemic vascular malformations // *Seminars Pediatric Sur.* 2012. Vol. 21, N 3. P. 233–244. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2012.05.006
5. Born M. The ductus venosus // *RoFo Fortschritte Gebiet Röntgenstrahlen Bildgebenden Verfahren.* 2021. Vol. 193, N 5. P. 521–526. doi: 10.1055/a-1275-0984
6. Baller S.E., Reinehr M., Haslinger C., et al. Case report of neonatal ductus venosus atresia // *J Neonatal-Perinatal Med.* 2021. Vol. 14, N 2. P. 307–312. doi: 10.3233/NPM-190398
7. Franchi-Abella S., Branchereau S., Lambert V., et al. Complications of congenital portosystemic shunts in children: Therapeutic options and outcomes // *J Pediatric Gastroenterol Nutrition.* 2010. Vol. 51, N 3. P. 322–330. doi: 10.1097/MPG.0b013e3181d9cb92
8. Morgan G., Superina R. Congenital absence of the portal vein: Two cases and a proposed classification system for portosystemic vascular anomalies // *J Pediatric Sur.* 1994. Vol. 29, N 9. P. 1239–1241. doi: 10.1016/0022-3468(94)90812-5
9. Tang H., Song P., Wang Z., et al. A basic understanding of congenital extrahepatic portosystemic shunt: Incidence, mechanism, complications, diagnosis, and treatment // *Intractable Rare Dis Res.* 2020. Vol. 9, N 2. P. 64–70. doi: 10.5582/irdr.2020.03005
10. Păcurar D., Dijmărescu I., Dijmărescu A.D., et al. A case report on an incidental discovery of congenital portosystemic shunt // *Medicine.* 2019. Vol. 98, N 31. P. e16679. doi: 10.1097/MD.00000000000016679

早期发现和个体化治疗对预防并发症至关重要。需要对患者进行长期随访和恶性肿瘤监测。

ADDITIONAL INFORMATION

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

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

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

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

11. Shah A., Aziz A., Awwad A., et al. Incidental radiological diagnosis of asymptomatic Abernethy malformations: Two case reports // *BJR|Case Reports.* 2017. Vol. 3, N 1. P. 20150496. doi: 10.1259/bjrcr.20220059
12. Yangin-Ergon E., Ermis N., Colak R., et al. Abernethy malformation type 2 and biliary atresia coexistence: A rare cause of infantile liver transplant // *Euroasian J Hepatogastroenterol.* 2018. Vol. 8, N 2. P. 163–166. doi: 10.5005/jp-journals-10018-1283
13. Sahu M.K., Bisoi A.K., Chander N.C., et al. Abernethy syndrome, a rare cause of hypoxemia: A case report // *Ann Pediatric Cardiol.* 2015. Vol. 8, N 1. P. 64–66. doi: 10.3389/fcvm.2021.784739
14. Lux D., Naito A., Hari Krishnan S. Congenital extrahepatic portosystemic shunt with progressive myelopathy and encephalopathy // *Practical Neurology.* 2019. Vol. 19, N 4. P. 368–371. doi: 10.1136/practneurol-2018-002111
15. Merola E., Cao M., La Starza S., et al. Portosystemic encephalopathy in an 86-year-old patient: A clinical challenge // *Acta Gastro-Enterologica Belgica.* 2016. Vol. 79, N 1. P. 58–59.
16. Sharma R., Suddle A., Quaglia A., et al. Congenital extrahepatic portosystemic shunt complicated by the development of hepatocellular carcinoma // *Hepatobiliary Pancreatic Dis Int.* 2015. Vol. 14, N 5. P. 552–557. doi: 10.1016/S1499-3872(15)60418-0
17. Lin X., Rao J., Xiang Y., et al. Case report: A rare syncope case caused by abernethy ii and a review of the literature // *Front Cardiovascul Med.* 2022. Vol. 8. P. 2050. doi: 10.3389/fcvm.2021.784739
18. Hasegawa T., Sato T., Ishii T., et al. Oral sodium phenylbutyrate for hyperammonemia associated with congenital portosystemic shunt: A case report // *J Pediatric Endocrinology Metabolism.* 2021. Vol. 34, N 3. P. 407–410. doi: 10.1515/jpem-2020-0603
19. Peček J., Fister P., Homan M. Abernethy syndrome in Slovenian children: Five case reports and review of literature // *World J Gastroenterol.* 2020. Vol. 26, N 37. P. 5731–5744. doi: 10.3748/wjg.v26.i37.5731
20. Pathak A., Agarwal N., Mandliya J., et al. Abernethy malformation: A case report // *BMC Pediatrics.* 2012. Vol. 12, N 1. P. 1. doi: 10.1186/1471-2431-12-57

21. Duarte-Mesquita R., Sousa M., Vilaverde F., Cardoso R. Abernethy malformation: Beware in cases of unexplained hepatic encephalopathy in adults // *BJR| Case Reports*. 2017. Vol. 4, N 2. P. 20170054. doi: 10.1259/bjrcr.20170054
22. Allegritti M., Enrico B., Basile E., et al. Non-cirrhotic extra-hepatic porto-systemic shunt causing adult-onset encephalopathy treated with endovascular closure // *Digestive Diseases and Sciences*. 2020. Vol. 65, N 4. P. 946–951. doi: 10.1007/s10620-019-06024-4
23. Alvi A.A., Pichardo J., Gupta S., et al. An interesting case of congenital intrahepatic porto-hepatic shunt as a cause of unexplained encephalopathy // *Cureus*. 2020. Vol. 12, N 4. P. e7639. doi: 10.14309/01.ajg.0000598392.71372.f2
24. De Vito C., Tyraskis A., Davenport M., et al. Histopathology of livers in patients with congenital portosystemic shunts (Abernethy malformation): A case series of 22 patients // *Virchows Archiv*. 2019. Vol. 474, N 1. P. 47–57. doi: 10.1007/s00428-018-2464-4
25. Lautz T.B., Shah S.A., Superina R.A. Hepatoblastoma in children with congenital portosystemic shunts // *J Pediatric Gastroenterology Nutrition*. 2016. Vol. 62, N 4. P. 542–545. doi: 10.1097/MPG.0000000000001012
26. Correa C., Luengas J.P., Howard S.C., Veintemilla G. Hepatoblastoma and abernethy malformation type I: Case report // *J Pediatric Hematology/Oncology*. 2017. Vol. 39, N 2. P. e79–e81. doi: 10.1097/MPH.0000000000000650
27. Kwapisz L., Wells M.M., Judaibi B. Al Abernethy malformation: Congenital absence of the portal vein // *Can J Gastroenterol Hepatol*. 2014. Vol. 28, N 11. P. 587–588. doi: 10.1155/2014/675812
28. Benedict M., Rodriguez-Davalos M., Emre S., et al. Congenital extrahepatic portosystemic shunt (abernethy malformation type Ib) with associated hepatocellular carcinoma: Case report and literature review // *Pediatric Developmental Pathology*. 2017. Vol. 20, N 4. P. 354–362. doi: 10.1177/1093526616686458
29. Özden İ., Yavru A., Güllüoğlu M., et al. Transplantation for large liver tumors in the setting of abernethy malformation // *Experimental Clin Transplantation*. 2017. Vol. 15, Suppl. 2. P. 82–85. doi: 10.6002/ect.TOND16.L23
30. Lin K. Y., Chen H., Yu L. Pulmonary arterial hypertension caused by congenital extrahepatic portocaval shunt: A case report // *BMC Cardiovascular Disorders*. 2019. Vol. 19, N 1. P. 1–5. doi: 10.1186/s12872-019-1124-1
31. Osorio M.J., Bonow A., Bond G.J., et al. Abernethy malformation complicated by hepatopulmonary syndrome and a liver mass successfully treated by liver transplantation // *Pediatric Transplantation*. 2011. Vol. 15, N 7. P. 149–151. doi: 10.1111/j.1399-3046.2010.01337.x
32. Baiges A., Turon F., Simón-Talero M., et al. Congenital extrahepatic portosystemic shunts (Abernethy malformation): An international observational study // *Hepatology*. 2020. Vol. 71, N 2. P. 658–669. doi: 10.1002/hep.30817
33. Ponziani F.R., Faccia M., Zocco M.A., et al. Congenital extrahepatic portosystemic shunt: Description of four cases and review of the literature // *J Ultrasound*. 2019. N 22. P. 349–358. doi: 10.1007/s40477-018-0329-y
34. Sheth R., Sivakumar K. The Abernethy malformation with inferior caval vein hypoplasia: A tailored technique for transcatheter closure and an insight into embryological perspective // *Cardiology Young*. 2018. Vol. 28, N 9. P. 1169–1171. doi: 10.1017/S1047951118000884
35. Li H., Ma Z., Xie Y., Tian F. Recurrent hyperammonemia after abernethy malformation Type 2 closure: A case report // *Ann Hepatol*. 2017. Vol. 16, N 3. P. 460–464. doi: 10.5604/01.3001.0009.8603
36. Kanazawa H., Nosaka S., Miyazaki O., et al. The classification based on intrahepatic portal system for congenital portosystemic shunts // *J Pediatric Sur*. 2015. Vol. 50, N 4. P. 688–695. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2015.01.009

REFERENCES

1. Bernard O, Franchi-Abella S, Branchereau S, et al. Congenital portosystemic shunts in children: Recognition, evaluation, and management. *Seminars Liver Dis*. 2012;32(4):273–287. doi: 10.1055/s-0032-1329896
2. Papamichail M, Pizaniyas M, Heaton N. Congenital portosystemic venous shunt. *Eur J Pediatrics*. 2018;177(3):285–294. doi: 10.1007/s00431-017-3058-x
3. Abernethy J. Account of two instances of uncommon formation in the viscera of the human body: From the philosophical transactions of the royal society of London. *Med Facts Observations*. 1797;(7):100–108.
4. Guérin F, Blanc T, Gauthier F, et al. Congenital portosystemic vascular malformations. *Seminars Pediatric Sur*. 2012;21(3):233–244. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2012.05.006
5. Born M. The ductus venosus. *RoFo Fortschritte Gebiet Röntgenstrahlen Bildgebenden Verfahren*. 2021;193(5):521–526. doi: 10.1055/a-1275-0984
6. Baller SE, Reinehr M, Haslinger C, et al. Case report of neonatal ductus venosus atresia. *J Neonatal-Perinatal Med*. 2021;14(2):307–312. doi: 10.3233/NPM-190398
7. Franchi-Abella S, Branchereau S, Lambert V, et al. Complications of congenital portosystemic shunts in children: Therapeutic options and outcomes. *J Pediatric Gastroenterol Nutrition*. 2010;51(3):322–330. doi: 10.1097/MPG.0b013e3181d9cb92
8. Morgan G, Superina R. Congenital absence of the portal vein: Two cases and a proposed classification system for portasystemic vascular anomalies. *J Pediatric Sur*. 1994;29(9):1239–1241. doi: 10.1016/0022-3468(94)90812-5
9. Tang H, Song P, Wang Z, et al. A basic understanding of congenital extrahepatic portosystemic shunt: Incidence, mechanism, complications, diagnosis, and treatment. *Intractable Rare Dis Res*. 2020;9(2):64–70. doi: 10.5582/irdr.2020.03005
10. Păcurar D, Dijmărescu I, Dijmărescu AD, et al. A case report on an incidental discovery of congenital portosystemic shunt. *Medicine*. 2019;98(31):e16679. doi: 10.1097/MD.00000000000016679
11. Shah A, Aziz A, Awwad A, et al. Incidental radiological diagnosis of asymptomatic Abernethy malformations: Two case reports. *BJR|Case Reports*. 2017;3(1):20150496. doi: 10.1259/bjrcr.20220059
12. Yangin-Ergon E, Ermis N, Colak R, et al. Abernethy malformation type 2 and biliary atresia coexistence: A rare cause of infantile liver transplant. *Euroasian J Hepatogastroenterol*. 2018;8(2):163–166. doi: 10.5005/jp-journals-10018-1283
13. Sahu MK, Bisoi AK, Chander NC, et al. Abernethy syndrome, a rare cause of hypoxemia: A case report. *Ann Pediatric Cardiol*. 2015;8(1):64–66. doi: 10.3389/fcvm.2021.784739
14. Lux D, Naito A, Harikrishnan S. Congenital extrahepatic portosystemic shunt with progressive myelopathy and

- encephalopathy. *Practical Neurol.* 2019;19(4):368–371. doi: 10.1136/practneurol-2018-002111
15. Merola E, Cao M, La Starza S. et al. Portosystemic encephalopathy in an 86-year-old patient: A clinical challenge. *Acta Gastro-Enterologica Belgica.* 2016;79(1):58–59.
16. Sharma R, Suddle A, Quaglia A, et al. Congenital extrahepatic portosystemic shunt complicated by the development of hepatocellular carcinoma. *Hepatobiliary Pancreatic Dis Int.* 2015;14(5):552–557. doi: 10.1016/S1499-3872(15)60418-0
17. Lin X, Rao J, Xiang Y, et al. Case report: A rare syncope case caused by abernethy II and a review of the literature. *Frontiers Cardiovascular Med.* 2022;8:2050. doi: 10.3389/fcvm.2021.784739
18. Hasegawa T, Sato T, Ishii T, et al. Oral sodium phenylbutyrate for hyperammonemia associated with congenital portosystemic shunt: A case report. *J Pediatric Endocrinol Metabolism.* 2021;34(3):407–410. doi: 10.1515/jpem-2020-0603
19. Peček J, Fister P, Homan M. Abernethy syndrome in Slovenian children: Five case reports and review of literature. *World J Gastroenterol.* 2020;26(37):5731–5744. doi: 10.3748/wjg.v26.i37.5731
20. Pathak A, Agarwal N, Mandliya J, et al. Abernethy malformation: a case report. *BMC Pediatrics.* 2012;12(1):1. doi: 10.1186/1471-2431-12-57
21. Duarte-Mesquita R, Sousa M, Vilaverde F, Cardoso R. Abernethy malformation: beware in cases of unexplained hepatic encephalopathy in adults. *BJR Case Reports.* 2017;4(1):20170054. doi: 10.1259/bjrcr.20170054
22. Allegritti M, Enrico B, Basile E, et al. Non-cirrhotic extra-hepatic porto-systemic shunt causing adult-onset encephalopathy treated with endovascular closure. *Digestive Dis Sci.* 2020;65(4):946–951. doi: 10.1007/s10620-019-06024-4
23. Alvi AA, Pichardo J, Gupta S, et al. An interesting case of congenital intrahepatic porto-hepatic shunt as a cause of unexplained encephalopathy. *Cureus.* 2020;12(4):e7639. doi: 10.14309/01.ajg.0000598392.71372.f2
24. De Vito C, Tyraskis A, Davenport M, et al. Histopathology of livers in patients with congenital portosystemic shunts (Abernethy malformation): A case series of 22 patients. *Virchows Archiv.* 2019;474(1):47–57. doi: 10.1007/s00428-018-2464-4
25. Lautz TB, Shah SA, Superina RA. Hepatoblastoma in children with congenital portosystemic shunts. *J Pediatric Gastroenterology Nutrition.* 2016;62(4):542–545. doi: 10.1097/MPG.0000000000001012
26. Correa C, Luengas JP, Howard SC, Veintemilla G. Hepatoblastoma and abernethy malformation type I: Case report. *J Pediatric Hematology/Oncology.* 2017;39(2):e79–e81. doi: 10.1097/MPH.0000000000000650
27. Kwapisz L, Wells MM, Judaibi BA. Abernethy malformation: Congenital absence of the portal vein. *Can J Gastroenterol Hepatol.* 2014;28(11):587–588. doi: 10.1155/2014/675812
28. Benedict M, Rodriguez-Davalos M, Emre S, et al. Congenital extrahepatic portosystemic shunt (abernethy malformation type Ib) with associated hepatocellular carcinoma: Case report and literature review. *Pediatric Developmental Pathology.* 2017;20(4):354–362. doi: 10.1177/1093526616686458
29. Özden İ, Yavru A, Güllüoğlu M, et al. Transplantation for large liver tumors in the setting of abernethy malformation. *Exp Clin Transplantation.* 2017;15(Suppl 2):82–85. doi: 10.6002/ect.TOND16.L23
30. Lin KY, Chen H, Yu L. Pulmonary arterial hypertension caused by congenital extrahepatic portocaval shunt: A case report. *BMC Cardiovascular Disorders.* 2019;19(1):1–5. doi: 10.1186/s12872-019-1124-1
31. Osorio MJ, Bonow A, Bond GJ, et al. Abernethy malformation complicated by hepatopulmonary syndrome and a liver mass successfully treated by liver transplantation. *Pediatric Transplantation.* 2011;15(7):149–151. doi: 10.1111/j.1399-3046.2010.01337.x
32. Baiges A, Turon F, Simón-Talero M, et al. Congenital extrahepatic portosystemic shunts (Abernethy malformation): An international observational study. *Hepatology.* 2020;71(2):658–669. doi: 10.1002/hep.30817
33. Ponziani FR, Faccia M, Zocco MA, et al. Congenital extrahepatic portosystemic shunt: description of four cases and review of the literature. *J Ultrasound.* 2019;22:349–358. doi: 10.1007/s40477-018-0329-y
34. Sheth R, Sivakumar K. The Abernethy malformation with inferior caval vein hypoplasia: A tailored technique for transcatheter closure and an insight into embryological perspective. *Cardiology Young.* 2018;28(9):1169–1171. doi: 10.1017/S1047951118000884
35. Li H, Ma Z, Xie Y, Tian F. Recurrent hyperammonemia after abernethy malformation type 2 closure: A case report. *Ann Hepatol.* 2017;16(3):460–464. doi: 10.5604/01.3001.0009.8603
36. Kanazawa H, Nosaka S, Miyazaki O, et al. The classification based on intrahepatic portal system for congenital portosystemic shunts. *J Pediatric Sur.* 2015;50(4):688–695. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2015.01.009

AUTHORS' INFO

* **Alexandra V. Panyukova**, MD;

address: 27/10 Lomonosovsky prospekt, 119192 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-5367-280X;
e-mail: panyukovaalexandra@gmail.com

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

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

ОБ АВТОРАХ

* **Панюкова Александра Вадимовна**;

адрес: Россия, 119192, Москва, Ломоносовский пр-т, д. 27, кор. 10;
ORCID: 0000-0002-5367-280X;
e-mail: panyukovaalexandra@gmail.com

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

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

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

Elena A. Mershina, MD, Cand. Sci. (Med.), Assistant Professor;
ORCID: 0000-0002-1266-4926;
eLibrary SPIN: 6897-9641;
e-mail: elena_mershina@mail.ru

Natalia A. Rucheva, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-8063-4462;
e-mail: rna1969@yandex.ru

Мершина Елена Александровна, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-1266-4926;
eLibrary SPIN: 6897-9641;
e-mail: elena_mershina@mail.ru

Ручьёва Наталья Александровна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-8063-4462;
e-mail: rna1969@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD121368>

Проверка гипотез исследования с использованием языка R

И.А. Блохин¹, М.Р. Коденко^{1, 2}, Ю.Ф. Шумская^{1, 3}, А.П. Гончар¹, Р.В. Решетников¹¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация² Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация³ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Для современных учёных становятся всё более важными компетенции в области статистической обработки данных. Очевидными преимуществами открытого программного обеспечения (open-source software) для статистического анализа являются доступность и многофункциональность. Наиболее широкими возможностями среди бесплатных решений обладают язык программирования и соответствующее программное обеспечение R, доступное в виде минималистичного консольного интерфейса или полноценной среды разработки RStudio/Posit.

Предлагаем вашему вниманию практическое руководство по сравнению двух групп с помощью инструментов языка R на примере сопоставления эффективной дозы, полученной при проведении стандартной компьютерной и низкодозной компьютерной томографии при COVID-19, в котором кратко обобщены теоретические подходы к обработке медицинских данных, а также рекомендации по корректной формулировке задач исследования и выбора оптимальных методов статистического анализа.

Основная задача практического руководства — познакомить читателя с интерфейсом Posit и базовым функционалом языка R на практическом примере решения реальной медицинской задачи. Представленный материал может быть полезен на начальном этапе освоения статистического анализа с помощью инструментов языка R.

Ключевые слова: R; RStudio; Posit; статистический анализ; медицинские данные; практическое руководство.

Как цитировать

Блохин И.А., Коденко М.Р., Шумская Ю.Ф., Гончар А.П., Решетников Р.В. Проверка гипотез исследования с использованием языка R // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 238–247. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD121368>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD121368>

Hypothesis testing using R

Ivan A. Blokhin¹, Maria R. Kodenko^{1,2}, Yuliya F. Shumskaya^{1,3},
Anna P. Gonchar¹, Roman V. Reshetnikov¹

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

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

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

ABSTRACT

Competencies in statistical data processing are becoming increasingly important for modern scientists. The apparent advantages of open-source software for statistical analysis are its accessibility and adaptability. The programming language and the corresponding software R, available as a minimalistic console interface or a complete development environment RStudio/Posit, have the widest possibilities among free solutions.

We present a practical guide for comparing two groups using the software R. This study compares the effective doses of standard computed tomography with low-dose computed tomography for COVID-19 patients. The practical guide summarizes theoretical approaches to medical data processing and recommendations for correctly formulating research tasks and selecting optimal statistical analysis methods.

The main goal of the practical guide is to introduce the reader to the Posit interface and the basic functionality of the R language by using a practical example of treating a real medical problem. The presented material can be useful as an introduction to statistical analysis using the programming language R.

Keywords: medical data, Posit, R, RStudio, statistical analysis, tutorial

To cite this article

Blokhin IA, Kodenko MR, Shumskaya YuF, Gonchar AP, Reshetnikov RV. Hypothesis testing using R. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):238–247.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD121368>

Received: 11.01.2023

Accepted: 18.01.2023

Published: 10.04.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD121368>

使用R语言进行研究假设检验

Ivan A. Blokhin¹, Maria R. Kodenko^{1,2}, Yuliya F. Shumskaya^{1,3},
Anna P. Gonchar¹, Roman V. Reshetnikov¹

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

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

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

简评

对于现代科学家来说，统计数据处理的能力越来越重要。用于统计分析的开源软件（open-source software）的明显优势是可用性和多功能性。在免费的解决方案中，R语言和相关软件大有可为，可作为一个最简控制台界面或作为一个完全合格的开发环境RStudio/Posit。

我们提供一份使用R语言工具比较两组数据的实用指南，以COVID-19的标准电子计算机断层扫描和低剂量电脑断层扫描的有效剂量比较为例。本指南简略地总结了医学数据处理的理论方法，以及正确制定研究目标和选择最佳统计分析方法的建议。

本实用指南的主要目的是通过一个解决真实医学问题的实际例子向读者介绍Posit界面和R语言的基本功能。所介绍的材料在借助R语言工具掌握统计分析的初始阶段可以有益处。

关键词：R; RStudio; Posit; 统计分析; 医学数据; 实用手册。

引用本文：

Blokhin IA, Kodenko MR, Shumskaya YuF, Gonchar AP, Reshetnikov RV. 使用R语言进行研究假设检验. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):238–247.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD121368>

收到: 11.01.2023

接受: 18.01.2023

发布日期: 10.04.2023

绪论

统计数据处理正在成为现代科学家的一项重要技能。1983年,读者只要知道描述性统计的基本概念(百分比、平均数和标准差)和统计假设检验的一种方法(学生t检验,亦称t检验)就足够了[1]。这些知识使我们能够理解著名的《新英格兰医学杂志》(New England Journal of Medicine)的760篇科学出版物中的三分之二。随着时间的推移,科学界面临了这种数据分析方法的局限性。2014年,《美国医学会杂志》(Journal of American Medical Association)宣布了一系列特种刊物¹,包括为临床医生解释统计分析方法的文章在内。如今,可以找到开放获取的概述性文章,不仅涉及数据分析的基本方面[2],而且还涉及选择适当的数据处理方法[3]。此外,关于在生物医学研究中使用统计方法的详细清单(生物医学研究中的统计分析方法, Statistical Analysis Methods in Biomedical Research)[4]是于2019年出版的。然而,要不是积极开展自动化软件,数据分析方法的实际应用将很困难。

鉴于大量的收费统计分析软件和商业提供的全面数据处理服务,开源软件(open-source software)的明显优势是可用性和多功能性[5]。在免费的解决方案中,R语言和相关软件大有可为[6],可作为一个最简控制台界面[7]或作为一个完全合格的开发环境RStudio/Posit[8]。

本文章的目的是通过一个解决真实医学问题的实际例子向读者介绍R语言的基本操作:比较患者在COVID-19的标准电子计算机断层扫描(CT)和低剂量电脑断层扫描(LDCT)期间接受的有效剂量。该任务的现实性在于监测辐射暴露的必要[9](因为放射检查的数量不断增加[10]),以及因此在于LDCT协议的开展[11]和临床证明[12, 13]的重要性。

在进行统计分析时,需要遵循一些基本步骤。

问题陈述和分析的无效假设的提出

无效假设是统计分析的出发点。在比较两组数据时,无效假设(H_0)的表述如下:“没有统计学意义的差异”。在这个例子中,对患者在COVID-19的标准电子计算机断层扫描(CT)和低剂量电脑断层扫描(LDCT)期间接受的有效剂量进行了比较。换句话说,这项任务的 H_0 的表述是:“CT和LDCT的辐射暴露是相当的”。

还要记住“替代假设”(H_1)。 H_1 是 H_0 的拮抗假说。它们应该是相互排斥的。在这个例子中,

替代假设 H_1 将是:“在CT和LDCT中,COVID-19患者的有效剂量有统计学意义的差异”。

统计学中的无效假设检验的结果是所谓的p值(p-value),即错误地拒绝 H_0 的概率。这个值可以解释为如下:“如果我们多次重复实验并拒绝无效假设,那么在100%的场合下,我们会对p值的看法错”。例如,对于0.03的p值,我们拒绝 H_0 ,支持 H_1 ,并且在3%的场合下犯错误。一个预选的边界值可以让我们决定是很多还是很少。感谢罗纳德·费舍尔,在大多数场合下,采取的边界值是0.05的p值[14]。回到这个例子,依靠0.05的边界值,对于0.03的p值,我们可以有把握地得出结论:被比较的样本是不同的。

原始数据的分析

对原始数据进行统计分析的方法的选择取决于数据类型和分布性质。数据分为定量数据和定性数据²。定量数据描述一个现象的大小或对象的数量。例如,胸部CT的辐射暴露,单位为毫西弗。定性数据或分类数据描述有关现象属于某一特定的群体。例如,患者性别或CT分级0-4级的一个类别。

在分析数据时,除了研究的主要假设外,总是有必要检验另一个假设(H_0):“数据服从正态分布”。正态分布是统计学领域中最重要性质之一。正态分布经常出现在自然发生的现象中。身高、体重、鞋码和人口和大量的其他群体特征都服从正态分布。正态分布仅由两个参数描述,即平均值和标准差。这一假设是一系列假设检验的统计方法的基础。

选择一种方法来检验正态分布的任务没有一个放之四海而皆准的解决方案。因此,X. Romão等人[15]对33种此类方法进行了比较。他们根据数据的类型提出了最佳解决方案。值得注意的是,方法的选择也取决于所研究的样本容量[16]。最受欢迎的是柯尔莫哥洛夫-斯米尔诺夫检验和夏皮罗-威尔克检验[17]。

研究中的无效假设检验

正确的统计分析方法应该考虑到被比较的样本中的数据类型、被比较的组数,以及它们之间是否存在关系。例如,正确的方法应该考虑到CT和LDCT的数据是来自同一个病人还是来自不同的病人。目前已经开发了50多种不同的统计测试。有专门的在线资源³被用于选择最佳方法。

在该例子中,我们使用了成对样本,因为CT和LDCT数据是为同一病人连续获得的。成对t检验适用于正态分布。威尔科克森符号秩检验适合于非正态分布的情况。

¹ JAMA guide to statistics and methods[电子资源]。访问方式: <https://jamanetwork.com/collections/44042/jama-guide-to-statistics-and-methods>。

² 医学统计[电子资源]。统计的一般问题。访问方式: <https://medstatistic.ru/statistics/statistics3.html>。

³ Statistics online—checks assumptions, interprets results (<https://www.statskingdom.com/>); 医学统计。统计分析方法的选择(<https://medstatistic.ru/calculators/calccchoice.html>)。

实例

我们安装了R软件包（版本4.2.2，<https://cloud.r-project.org/>）和Posit界面（版本353，<https://posit.co/download/rstudio-desktop/>，前身为RStudio），以进行统计分析。

1. Posit的基本界面可以分为控制台（console）、环境（environment）和文件管理器（files）（图1）。

使用File-Import Dataset选项来导入数据。我们导入了一个包含CT和LDCT有效剂量数据的Excel电子表格。

导入后，程序界面将发生变化。名为“data”的变量将出现在环境中（图2）。同时，一个新的区域，即数据视图部件，将出现在左上角的象限中。加载的表格将出现在这里。表中要比较的列被命名为“Effective Dose (CT)”和“Effective Dose (LDCT)”。在列名中使用

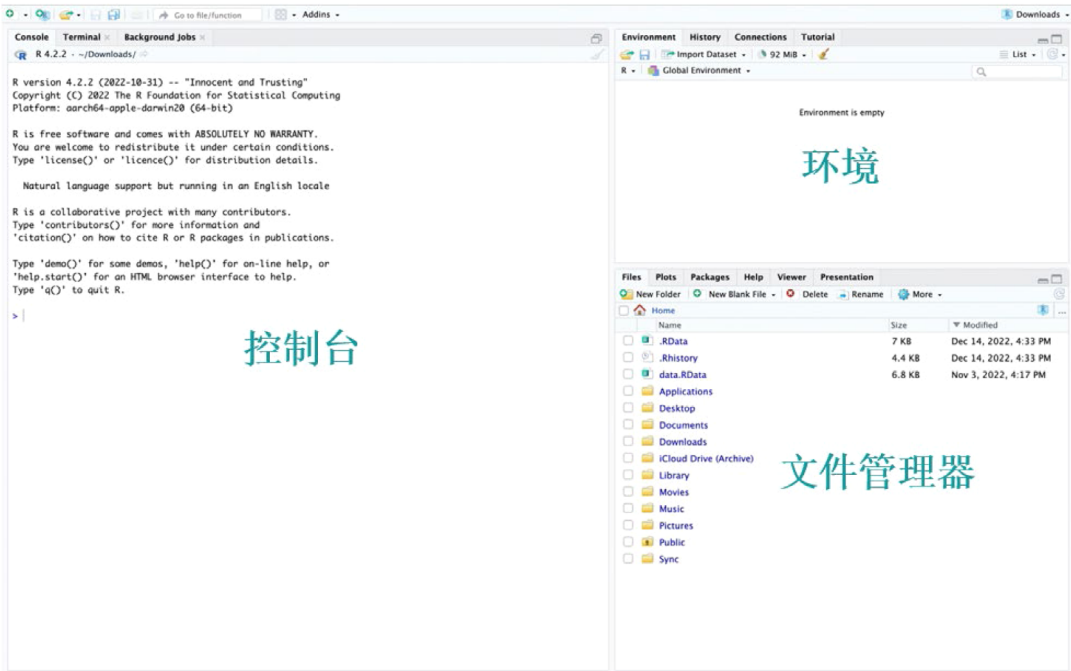


图1。Posit界面，显示控制台、环境和文件管理器的区域。

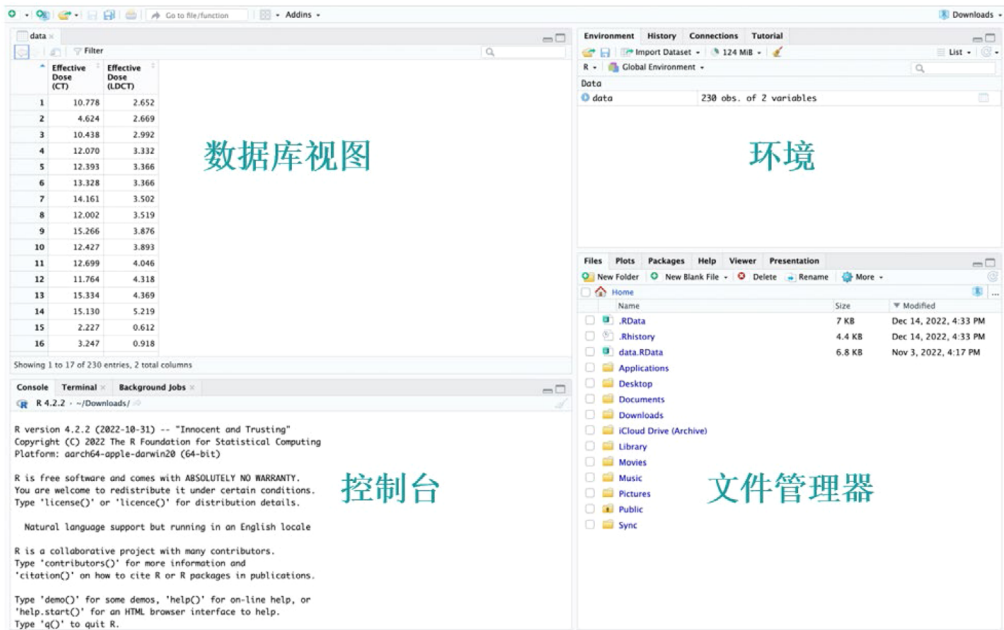


图2。导入文件后的Posit界面：在屏幕上的左上象限中出现了一个加载了数据集列的窗口，在右上象限中显示了列数（variables）和行数（obs.，来自英语的observations——观察资料）。

拉丁字符允许避免编码问题和Posit中字符的不正确显示。

为了进一步工作的方便，让我们通过在图3所示的控制台中运行命令为每一列创建一个单独的变量。

使用“\$”运算符（见图3）会在导入的表格中显示一个列的下拉菜单，以减轻命令输入。创

建变量之后，它们将出现在右上角的象限中，名为“values”（图4）。

2. 为了检验加载数据的正态分布，通过shapiro.test命令使用夏皮罗-威尔克检验（图5）。

得出的两个变量的p值都明显小于选择的p值为0.05的边界值，所以CT和LDCT的有效剂量的

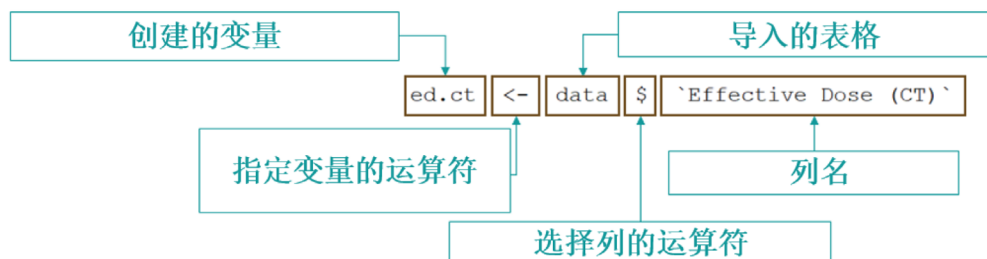


图3. 为CT有效剂量创建一个单独的变量，显示每个指令元素的功能。

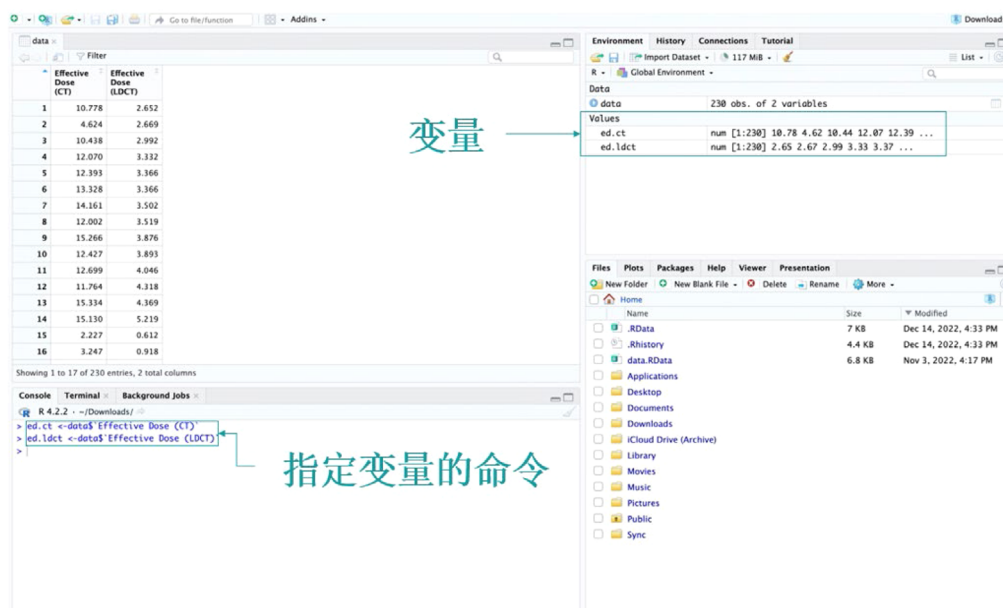


图4. 导入文件并指定变量后的Posit窗口：在右上象限中出现了新变量，每个变量的前五个数值都有预览；在左下象限中出现了执行命令的控制台界面。

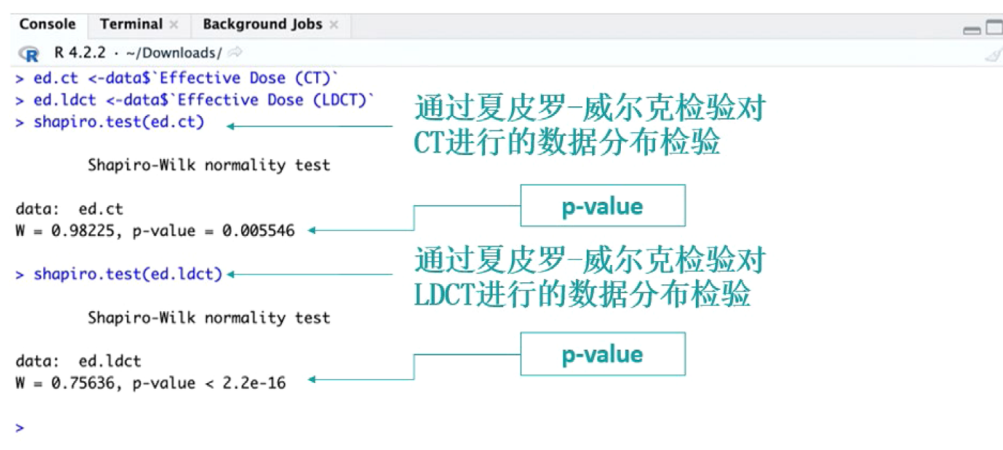


图5. 带有Posit控制台界面的区域。通过夏皮罗-威尔克检验进行的数据正态分布检验。

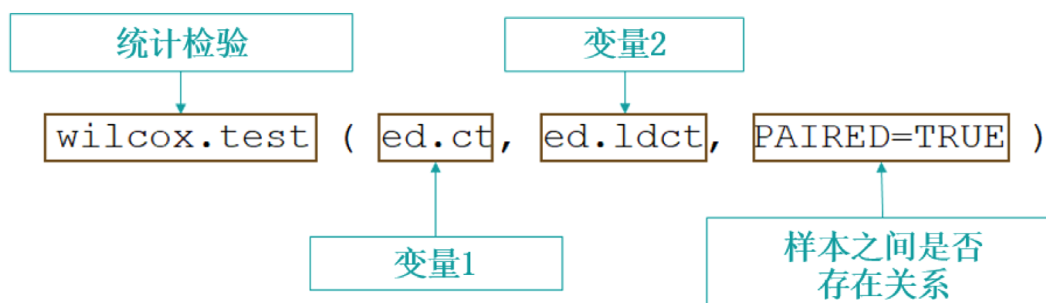


图6。进行威尔科克森符号秩检验，显示每个指令元素的功能。

```

R 4.2.2 ~./Downloads/
> wilcox.test(ed.ct, ed.ldct, PAIRED=TRUE)

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: ed.ct and ed.ldct
W = 50842, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
>
  
```

图7。通过威尔科克森符号秩检验进行无效假设检验。

数据分布与正常值不同。因此，使用威尔科克森符号秩检验来检验本研究的主要假设是合适的。

3. 对于非正态分布的相关定量样本，通过wilcox.test命令进行无效假设检验（图6，7）。

由此得出的p值明显小于选择的p值为0.05的边界值。因此，可以拒绝 H_0 ，支持 H_1 。这意味着CT和LDCT的辐射暴露数据有统计学意义的差异。

结论

本文的主要目的是通过一个解决真实医学问题的实际例子向读者介绍Posit界面和R语言的基本功能。

本文简略地总结了医学数据处理的理论方法，以及正确制定研究目标和选择最佳统计分析方法的建议。

所介绍的材料在借助R语言工具掌握统计分析的初始阶段可以有益处。

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a group of authors as a part of the medical research project (No. USIS [in the Unified State Information System for Accounting of Research, Development, and Technological Works]: 123031500005-2) «Scientific rationale for diagnostic radiology in oncology using radiomics».

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

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. I.A. Blokhin — writing the text of the article, editing and approval of the final version of the text of the manuscript; M.R. Kodenko, Yu.F. Shumskaya, A.P. Gonchar — editing and approval of the final version of the text of the manuscript; R.V. Reshetnikov — editing and approval of the final version of the text of the manuscript, advisory support.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Emerson J.D., Colditz G.A. Use of statistical analysis in the New England Journal of Medicine // New Engl J Med. 1983. Vol. 309, N 12. P. 709–713. doi: 10.1056/NEJM198309223091206
- Ali Z., Bhaskar S.B. Basic statistical tools in research and data analysis // Indian J Anaesth. 2016. Vol. 60, N 9. P. 662–669. doi: 10.4103/0019-5049.190623
- Mishra P., Pandey C.M., Singh U., et al. Selection of appropriate statistical methods for data analysis // Ann Card Anaesth. 2019. Vol. 22, N 3. P. 297–301. doi: 10.4103/aca.ACA_248_18
- Dwivedi A.K., Shukla R. Evidence-based statistical analysis and methods in biomedical research (SAMBR) checklists according to

design features // *Cancer Rep (Hoboken)*. 2020. Vol. 3, N 4. P. e1211. doi: 10.1002/cnr2.1211

5. Rigby P.C., German D.M., Cowen L., et al. Peer review on open-source software projects: Parameters, statistical models, and theory // *ACM Trans Softw Eng Methodol*. 2014. Vol. 23, N 4. P. 35.

6. Culpepper S.A., Aguinis H. R is for revolution: A cutting-edge, free, open source statistical package // *Organizational Research Methods*. 2011. Vol. 14, N 4. P. 735–740.

7. Ihaka R., Gentleman R. R: A language for data analysis and graphics // *J Computational Graphical Statistics*. 1996. Vol. 5, N 3. P. 299–314. doi:10.1080/10618600.1996.10474713

8. Niu G., Segall R.S., Zhao Z., et al. A survey of open source statistical software (OSSS) and their data processing functionalities // *Int J Open Source Software Processes*. 2021. Vol. 12, N 1. P. 1–20. doi: 10.4018/IJOSSP.2021010101

9. Shatenok M.P., Ryzhov S.A., Lantukh Z.A., et al. Patient dose monitoring software in radiology // *Digital Diagnostics*. 2022. Vol. 3, N 3. P. 212–230. doi: 10.17816/DD106083

10. Druzhinina U.V., Ryzhov S.A., Vodovatov A.V., et al. Coronavirus Disease-2019: Changes in computed tomography radiation burden across Moscow medical facilities // *Digital Diagnostics*. 2022. Vol. 3, N 1. P. 5–15. doi: 10.17816/DD87628

11. Gomboleviskiy V., Morozov S., Chernina V., et al. A phantom study to optimise the automatic tube current modulation for

chest CT in COVID-19 // *Eur Radiol Exp*. 2021. Vol. 5, N 1. P. 21. doi: 10.1186/s41747-021-00218-0

12. Blokhin I., Gomboleviskiy V., Chernina V., et al. Inter-observer agreement between low-dose and standard-dose CT with soft and sharp convolution kernels in COVID-19 pneumonia // *J Clin Med*. 2022. Vol. 11, N 3. P. 669. doi: 10.3390/jcm11030669

13. Blokhin I.A., Gonchar A.P., Kodenko M., et al. Impact of body mass index on the reliability of the CT0–4 grading system: A comparison of computed tomography protocols: 2 // *Digital Diagnostics*. 2022. Vol. 3, N 2. P. 108–118. doi: 10.17816/DD104358

14. Kennedy-Shaffer L. Before $p < 0.05$ to beyond $p < 0.05$: Using history to contextualize p-values and significance testing // *Am Stat*. 2019. Vol. 73, Suppl. 1. P. 82–90. doi: 10.1080/00031305.2018.1537891

15. Romão X., Delgado R., Costa A. An empirical power comparison of univariate goodness-of-fit tests for normality // *J Statist Computation Simulat*. 2010. Vol. 80, N 5. P. 545–591. doi: 10.1080/00949650902740824

16. Lumley T., Diehr P., Emerson S., Chen L. The importance of the normality assumption in large public health data sets // *Ann Rev Pub Health*. 2002. Vol. 23, N 1. P. 151–169. doi: 10.1146/annurev.publhealth.23.100901.140546

17. Mishra P., Pandey C.M., Singh U., et al. Descriptive statistics and normality tests for statistical data // *Ann Card Anaesth*. 2019. Vol. 22, N 1. P. 67–72. doi: 10.4103/aca.ACA_157_18

REFERENCES

1. Emerson J, Colditz GA. Use of statistical analysis in the New England Journal of Medicine. *New Engl J Med*. 1983;309(12):709–713. doi: 10.1056/NEJM198309223091206

2. Ali Z, Bhaskar SB. Basic statistical tools in research and data analysis. *Indian J Anaesth*. 2016;60(9):662–669. doi: 10.4103/0019-5049.190623

3. Mishra P, Pandey CM, Singh U, et al. Selection of appropriate statistical methods for data analysis. *Ann Card Anaesth*. 2019;22(3):297–301. doi: 10.4103/aca.ACA_248_18

4. Dwivedi AK, Shukla R. Evidence-based statistical analysis and methods in biomedical research (SAMBR) checklists according to design features. *Cancer Rep (Hoboken)*. 2020;3(4):e1211. doi: 10.1002/cnr2.1211

5. Rigby PC, German DM, Cowen L, et al. Peer review on open-source software projects: Parameters, statistical models, and theory. *ACM Trans Softw Eng Methodol*. 2014;23(4):35.

6. Culpepper SA, Aguinis H. R is for revolution: A cutting-edge, free, open source statistical package. *Organizational Research Methods*. 2011;14(4):735–740.

7. Ihaka R, Gentleman R. R: A language for data analysis and graphics. *J Computational Graphical Statistics*. 1996;5(3):299–314. doi: 10.1080/10618600.1996.10474713

8. Niu G, Segall RS, Zhao Z, et al. A survey of open source statistical software (OSSS) and their data processing functionalities. *Int J Open Source Software Processes*. 2021;12(1):1–20. doi: 10.4018/IJOSSP.2021010101

9. Shatenok MP, Ryzhov SA, Lantukh ZA, et al. Patient dose monitoring software in radiology. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):212–230. (In Russ). doi: 10.17816/DD106083

10. Druzhinina UV, Ryzhov SA, Vodovatov AV, et al. Coronavirus Disease-2019: Changes in computed tomography radiation burden across Moscow medical facilities. *Digital Diagnostics*. 2022;3(1):5–15. (In Russ). doi: 10.17816/DD87628

11. Gomboleviskiy V, Morozov S, Chernina V, et al. A phantom study to optimise the automatic tube current modulation for chest CT in COVID-19. *Eur Radiol Exp*. 2021;5(1):21. doi: 10.1186/s41747-021-00218-0

12. Blokhin I, Gomboleviskiy V, Chernina V, et al. Inter-observer agreement between low-dose and standard-dose CT with soft and sharp convolution kernels in COVID-19 pneumonia. *J Clin Med*. 2022;11(3):669. doi: 10.3390/jcm11030669

13. Blokhin IA, Gonchar AP, Kodenko M, et al. Impact of body mass index on the reliability of the CT0–4 grading system: A comparison of computed tomography protocols. *Digital Diagnostics*. 2022;3(2):108–118. (In Russ). doi: 10.17816/DD104358

14. Kennedy-Shaffer L. Before $p < 0.05$ to beyond $p < 0.05$: Using history to contextualize p-values and significance testing. *Am Stat*. 2019;73(Suppl. 1):82–90. doi: 10.1080/00031305.2018.1537891

15. Romão X, Delgado R, Costa A. An empirical power comparison of univariate goodness-of-fit tests for normality. *J Statist Computation Simulat*. 2010;80(5):545–591. doi: 10.1080/00949650902740824

16. Lumley T, Diehr P, Emerson S, Chen L. The Importance of the normality assumption in large public health data sets. *Ann Rev Pub Health*. 2002;23(1):151–169. doi: 10.1146/annurev.publhealth.23.100901.140546

17. Mishra P, Pandey CM, Singh U, et al. Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Ann Card Anaesth*. 2019;22(1):67–72. doi: 10.4103/aca.ACA_157_18

AUTHORS' INFO

*** Ivan A. Blokhin;**

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

Maria R. Kodenko;

ORCID: 0000-0002-0166-3768;
eLibrary SPIN: 5789-0319;
e-mail: KodenkoMR@zdrav.mos.ru

Yuliya F. Shumskaya;

ORCID: 0000-0002-8521-4045;
eLibrary SPIN: 3164-5518;
e-mail: ShumskayaYF@zdrav.mos.ru

Anna P. Gonchar;

ORCID: 0000-0001-5161-6540;
eLibrary SPIN: 3513-9531;
e-mail: GoncharAP@zdrav.mos.ru

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

ORCID: 0000-0002-9661-0254;
eLibrary SPIN: 8592-0558;
e-mail: r.reshetnikov@gmail.com

ОБ АВТОРАХ

*** Блохин Иван Андреевич;**

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

Коденко Мария Романовна;

ORCID: 0000-0002-0166-3768;
eLibrary SPIN: 5789-0319;
e-mail: KodenkoMR@zdrav.mos.ru

Шумская Юлия Федоровна;

ORCID: 0000-0002-8521-4045;
eLibrary SPIN: 3164-5518;
e-mail: ShumskayaYF@zdrav.mos.ru

Гончар Анна Павловна;

ORCID: 0000-0001-5161-6540;
eLibrary SPIN: 3513-9531;
e-mail: GoncharAP@zdrav.mos.ru

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

ORCID: 0000-0002-9661-0254;
eLibrary SPIN: 8592-0558;
e-mail: r.reshetnikov@gmail.com

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку