

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В МЕДИЦИНЕ

2026, ТОМ 8, № 2

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ ВРАЧЕЙ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Александр Владимирович Поздняков —

д. м. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Елена Владимировна Синельникова —

д. м. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Наталья Викторовна Марченко — д. м. н., профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации ФП и ДПО, Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Майя Михайловна Гребенюк — Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сергей Сергеевич Багненко — д. м. н., профессор, Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Игорь Валерьевич Бойков — д. м. н., профессор, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Алексей Васильевич Борсуков — д. м. н., профессор, Смоленский государственный медицинский университет (г. Смоленск, Российская Федерация)

Дмитрий Анатольевич Гранов — академик РАН, д. м. н., профессор, Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Таирхан Бекполатович Даутов — д. м. н., профессор, Национальный научный кардиохирургический центр (г. Астана, Казахстан)

Алексей Алексеевич Дмитращенко — д. м. н., профессор, 3 Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневского (г. Москва, Российская Федерация)

Игорь Сергеевич Железняк — д. м. н., профессор, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Ирина Эммануиловна Ицкович — д. м. н., профессор, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Наталья Александровна Карлова — д. м. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, медицинский факультет (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Юрий Борисович Лишманов — член-корреспондент РАН, д. м. н., профессор, Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН (г. Томск, Российская Федерация)

Владимир Николаевич Малаховский — д. м. н., профессор, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Андрей Владимирович Мищенко — д. м. н., профессор, Городская клиническая онкологическая больница № 1 Департамента здравоохранения города Москвы (г. Москва, Российская Федерация)

**Рецензируемый
научно-практический журнал
«Визуализация в медицине»**

Основан в 2016 году в Санкт-Петербурге.

ISSN 2658-6606 (Print)

ISSN 2658-6592 (Online)

Выпускается 4 раза в год.

Журнал реферируется РЖ ВИНТИ.

Журнал находится в открытом доступе (Open Access).

Издатели, учредители:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России (адрес: 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2)

Фонд НОИ «Здоровые дети — будущее страны» (адрес: 197371, Санкт-Петербург, ул. Парашютная, д. 31, к. 2, кв. 53).

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство: ПИ № ФС77-74241 от 02 ноября 2018 г.

Журнал входит в Перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (Распоряжение № 222-р от 10.06.2024).

Электронная версия:

<http://elibrary.ru>,
<https://visual-med.ru/>

Проект-макет: Титова Л.А.

Выпускающий редактор: Титова Л.А.

Технический редактор: Барышева А.Ю.

Корректор: Дич Т.А.

Верстка: Попова Я.В.

Адрес редакции: 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2.
Тел./факс: (812) 295-31-55.
e-mail: lt2007@inbox.ru

Статьи просьба направлять по адресу:
lt2007@inbox.ru
<https://visual-med.ru/>

Формат 60 × 90/8. Усл.-печ. л. 7,5.
Тираж 100 экз. Распространяется бесплатно. Оригинал-макет изготовлен ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России.

Отпечатано ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России. 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская ул., д. 2. Заказ 79. Дата выхода 14.09.2026.

Статьи, опубликованные в журнале Визуализация в медицине», распространяются по лицензии «С указанием авторства» — Creative Commons Attribution 4.0 License (CC BY 4.0). Пользователи вправе копировать, распространять в любом виде и формате в любых целях и адаптировать материалы статьи (перерабатывать, видоизменять, создавать новые произведения) при соблюдении следующих условий: оформление ссылки на оригинальную публикацию в журнале «Визуализация в медицине», указание на внесение изменений (в случае адаптации).

Вадим Олегович Панов — к. м. н., Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина

(г. Москва, Российская Федерация)

Игорь Николаевич Пронин — академик РАН, д. м. н., профессор, Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко

(г. Москва, Российская Федерация)

Владимир Викторович Рязанов — д. м. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет

(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Александр Викторович Савелло — д. м. н., профессор, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова

(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Константин Иванович Себелев — д. м. н., профессор, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова

(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Светлана Владимировна Серебрякова — д. м. н., профессор, Всероссийский центр экстренной

и радиационной медицины им. А.М. Никифорова

(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Валентин Евгеньевич Сеницын — д. м. н., профессор, университетская клиника Медицинского научно-образовательного центра МГУ

им. М.В. Ломоносова (г. Москва, Российская Федерация)

Андрей Владимирович Струц — к. ф-м. н., доцент, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет

(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Татьяна Николаевна Трофимова — член-корреспондент РАН, д. м. н., профессор, Санкт-Петербургский

государственный университет, медицинский факультет;

Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН;

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова

(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Андрей Александрович Тулунов — член-корреспондент РАН, д. м. н., профессор, Институт «Международный

томографический центр» Сибирского отделения РАН

(г. Новосибирск, Российская Федерация)

Игорь Евгеньевич Тюрин — д. м. н., профессор, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования

(г. Москва, Российская Федерация)

Владимир Максимович Черемисин — д. м. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, медицинский факультет

(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Владимир Александрович Фокин — д. м. н., профессор, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова

(г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

VISUALIZATION IN MEDICINE

2026, VOLUME 8, N 2

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL FOR DOCTORS

EDITOR-IN-CHIEF

Alexander V. Pozdnyakov — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Saint Petersburg State Pediatric Medical University
(Saint Petersburg, Russian Federation)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Elena V. Sinelnikova — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Saint Petersburg State Pediatric Medical University
(Saint Petersburg, Russian Federation)

Natalya V. Marchenko — Dr. Sci. (Med.), Professor of the
Department of Radiology and Medical Imaging, Faculty of
Postgraduate and Continuing Professional Education Saint
Petersburg State University (Saint Petersburg, Russian Federation)

EXECUTIVE SECRETARY

Maya M. Grebenyuk — Saint Petersburg State Pediatric
Medical University
(Saint Petersburg, Russian Federation)

EDITORIAL BOARD

Sergey S. Bagnenko — Dr. Sci. (Med.), Professor,
National Medical Research Center of Oncology
named after N.N. Petrov
(Saint Petersburg, Russian Federation)

Igor V. Boykov — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Kirov Military Medical Academy
(Saint Petersburg, Russian Federation)

Alexey V. Borsukov — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Smolensk State Medical University
(Smolensk, Russian Federation)

Dmitriy A. Granov — Academician of the RAS,
Dr. Sci. (Med.), Professor,
Russian Scientific Center of Radiology and Surgical
Technologies named after Academician A.M. Granov
(Saint Petersburg, Russian Federation)

Tairhan B. Dautov — Dr. Sci. (Med.), Professor, National
Scientific Cardiac Surgery Center (Astana, Kazakhstan)

Alexey A. Dmitrashchenko — Dr. Sci. (Med.), Professor,
3 Central Military Clinical Hospital named after A.A. Vishnevsky
(Moscow, Russian Federation)

Igor S. Zheleznyak — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Kirov Military Medical Academy
(Saint Petersburg, Russian Federation)

Irina E. Itskovich — Dr. Sci. (Med.), Professor,
North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov
(Saint Petersburg, Russian Federation)

Natalia A. Karlova — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Saint Petersburg State University, Faculty of Medicine
(Saint Petersburg, Russian Federation)

Yuriy B. Lishmanov — Corresponding Member of the RAS,
Dr. Sci. (Med.), Professor, Tomsk National Research
Medical Center of the RAS (Tomsk, Russian Federation)

Vladimir N. Malakhovskiy — Dr. Sci. (Med.), Professor,
Kirov Military Medical Academy
(Saint Petersburg, Russian Federation)

Andrey V. Mishchenko — Dr. Sci. (Med.), Professor,
City Clinical Oncology Hospital No. 1 of the Moscow City
Health Department (Moscow, Russian Federation)

**Peer-reviewed scientific
and practical journal**

Visualization in Medicine

Founded in 2016 in Saint Petersburg.

ISSN 2658-6606 (Print)

ISSN 2658-6592 (Online)

Issued 4 times a year.

The journal is refereed by RJ VINITI.

The journal is Open Access.

Publishers, founders:

Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education
“Saint Petersburg State Pediatric Medical
University” of the Ministry of Health
of the Russian Federation
(Address: 2 Litovskaya str., Saint Petersburg
194100 Russian Federation)
NOI Foundation “Healthy Children —
the Future of the Country”
(Address: 31, bldg. 2, apt. 53
Parashyutnaya str., Saint Petersburg 197371
Russian Federation).

The journal is registered by the Federal
Service for Supervision of Communications,
Information Technology, and Mass Media
(ROSKOMNADZOR)

PI N FS77-74241 November 02, 2018.

*The Journal is in the List of the leading
academic journals and publications
of the Supreme Examination Board
(VAK) publishing the results of doctorate
theses
(Order N 222-r dated 10.06.2024).*

Electronic version:

<http://elibrary.ru>,
<https://visual-med.ru/>

Layout project: Titova L.A.

Commissioning editor: Titova L.A.

Technical editor: Barysheva A.Yu.

Proof-reader: Dich T.A.

Layout: Popova Ya.V.

Address for correspondence:

2 Litovskaya str., Saint Petersburg 194100
Russian Federation.

Tel/Fax: +7 (812) 295-31-55.

e-mail: lt2007@inbox.ru

Please send articles to:

lt2007@inbox.ru

<https://visual-med.ru/>

Format 60 × 90/8. Cond.-printed sheets 7,5.

Circulation 100. Distributed for free.

The original layout is made
Saint Petersburg State Pediatric
Medical University.

Printed by Saint Petersburg State Pediatric
Medical University. 2 Litovskaya str.,
Saint Petersburg 194100
Russian Federation.

Order 79. Release date 14.09.2026.

“Visualization in Medicine” is an open ac-
cess journal which means that everybody
can read, download, copy, distribute, print,
search, or link to the full texts of these arti-
cles in accordance with Creative Commons
Attribution 4.0 License (CC BY 4.0).

Vadim O. Panov — Cand. Sci. (Med.), National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin (Moscow, Russian Federation)

Igor N. Pronin — Academician of the RAS, Dr. Sci. (Med.), Professor, Research Institute of Neurosurgery named after Academician N.N. Burdenko (Moscow, Russian Federation)

Vladimir V. Ryazanov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Saint Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russian Federation)

Alexander V. Savello — Dr. Sci. (Med.), Professor, Kirov Military Medical Academy (Saint Petersburg, Russian Federation)

Konstantin I. Sebelev — Dr. Sci. (Med.), Professor, Almazov National Medical Research Centre (Saint Petersburg, Russian Federation)

Svetlana V. Serebryakova — Dr. Sci. (Med.), Professor, All-Russian Center for Emergency and Radiation Medicine named after A.M. Nikiforov (Saint Petersburg, Russian Federation)

Valentin E. Sinitsyn — Dr. Sci. (Med.), Professor, University Clinic of the Medical Research and Educational Center of Moscow State University named after M.V. Lomonosov (Moscow, Russian Federation)

Andrey V. Struts — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Saint Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russian Federation)

Tatiana N. Trofimova — Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Med.), Professor, Saint Petersburg State University, Faculty of Medicine; Institute of the Human Brain named after N.P. Bekhtereva of the RAS; Pavlov First Saint Petersburg State Medical University (Saint Petersburg, Russian Federation)

Andrey A. Tulupov — Corresponding Member of the RAS, Dr. Sci. (Med.), Professor, Institute “International Tomographic Center” of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russian Federation)

Igor E. Tyurin — Dr. Sci. (Med.), Professor, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (Moscow, Russian Federation)

Vladimir M. Cheremisin — Dr. Sci. (Med.), Professor, Saint Petersburg State University, Faculty of Medicine (Saint Petersburg, Russian Federation)

Vladimir A. Fokin — Dr. Sci. (Med.), Professor, Almazov National Medical Research Centre (Saint Petersburg, Russian Federation)



СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

❖ ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

- В.Е. Казаринова, А.С. Гацук,
К.М. Арзамасов, Ю.А. Васильев*
Оценка эффективности алгоритмов глубокого
обучения для выявления признаков *spina bifida occulta*
на рентгенограммах позвоночника.....6

❖ ОБЗОРЫ

- И.В. Карпатский, Е.О. Жучкина,
О.И. Карпатский*
Роль визуализирующих и функциональных методик
в диагностике компрессионного стеноза трахеи
у больных шейно-загрудинным зобом17
- Т.Ю. Яковлева, А.В. Бармасов, А.М. Бармасова,
Т.С. Демьянова, А.А. Зуйкова, А.В. Семёнова*
Поляризационная микроскопия в медико-
биологических исследованиях.....29

❖ КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

- В.С. Передереева, Б.Л. Севрюгов, А.А. Денисов,
Д.Л. Дубицкий, К.В. Игнашев*
Лучевая диагностика аневризмы верхней брыжеечной
артерии. Клинический случай41

❖ СОБЫТИЯ

- Т.Н. Трофимова, Н.А. Карлова, М.Г. Бойцова,
Я.П. Зорин, И.Г. Камышанская*
Галерея истории лучевой диагностики50

❖ ORIGINAL PAPERS

- V.E. Kazarinova, A.S. Gatsuk,
K.M. Arzamasov, Yu.A. Vasilev*
Evaluating the performance of deep learning algorithms
for detecting *spina bifida occulta* on spinal
radiographs.....6

❖ REVIEWS

- I.V. Karpatsky, E.O. Zhuchkina,
O.I. Karpatsky*
The role of imaging and functional techniques
in the diagnosis of compressive tracheal stenosis
in patients with cervico-mediastinal goiter17
- T.Yu. Yakovleva, A.V. Barmasov, A.M. Barmasova,
T.S. Demyanova, A.A. Zuikova, A.V. Semenova*
Polarization microscopy in medical and biological
research29

❖ CLINICAL CASE

- V.S. Peredereeva, B.L. Sevryugov, A.A. Denisov,
D.L. Dubitskiy, K.V. Ignashev*
Radiological diagnostics of superior mesenteric artery
aneurysm. Clinical case41

❖ EVENTS

- T.N. Trofimova, N.A. Karlova, M.G. Boitsova,
Ya.P. Zorin, I.G. Kamyshanskaya*
Gallery of the history of radiological diagnostics.....50



УДК 004.89+616.711.7-007.254-053.1-073.75+616-07
<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.26.75.001>

Оценка эффективности алгоритмов глубокого обучения для выявления признаков *spina bifida occulta* на рентгенограммах позвоночника

Вероника Евгеньевна Казаринова¹, Андрей Сергеевич Гацук¹,
Кирилл Михайлович Арзамасов^{1, 2, 3}, Юрий Александрович Васильев¹

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, 127051, г. Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1, Российская Федерация

² МИРЭА — Российский технологический университет, 119454, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78, Российская Федерация

³ Самарский государственный медицинский университет, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, д. 89, Российская Федерация

Для цитирования: Казаринова В.Е., Гацук А.С., Арзамасов К.М., Васильев Ю.А. Оценка эффективности алгоритмов глубокого обучения для выявления признаков *spina bifida occulta* на рентгенограммах позвоночника.

Визуализация в медицине. 2026;8(2):6–16. <https://doi.org/10.56871/ViM.2026.26.75.001>.

Поступила: 22.05.2026

Одобрена: 01.07.2026

Принята к печати: 10.08.2026

Резюме. Введение. *Spina bifida occulta* — скрытый порок развития позвоночника, часто остающийся недиагностированным до появления неврологических симптомов. Разработка системы автоматизированного выявления данной патологии на рентгенограммах с использованием нейросетей требует обоснованного выбора архитектуры, обеспечивающей оптимальную диагностическую точность. **Цель исследования** — оценить эффективность алгоритмов глубокого обучения (ResNet50, EfficientNet-B7, RT-DETR-L, YOLO версий 8–12) для выявления признаков *spina bifida occulta* на рентгенограммах шейного, грудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника. **Материалы и методы.** Сформирован ретроспективный размеченный набор данных из 1732 рентгенограмм позвоночника (360 — шейный, 141 — грудной, 1231 — пояснично-крестцовый отдел), собранных за период 2022–2024 гг. Баланс классов «патология» : «норма» составил 50:50. Проведена автоматическая обрезка области позвоночного столба с использованием визуально-языковой модели Qwen3-VL. Обучающая подвыборка увеличена в 3 раза методами аугментации. Модели обучены и протестированы с расчетом чувствительности, специфичности, точности и AUC (ROC-анализ). **Результаты.** Лучшие результаты для шейного отдела достигнуты моделью YOLOv9t (AUC=0,926 [95% доверительный интервал (ДИ) 0,816–1,000]); для грудного — YOLOv10n и YOLOv11n (AUC=0,982 [95% ДИ 0,933–1,000]); для пояснично-крестцового — YOLOv8m (AUC=0,956 [95% ДИ 0,923–0,989]). ResNet50 и EfficientNet-B7 показали существенно более низкую эффективность (AUC — до 0,839). Модели YOLO обеспечивают не только классификацию изображений, но и детекцию порока на рентгенограммах в виде ограничивающих рамок. **Заключение.** Архитектуры семейства YOLO превосходят альтернативные модели глубокого обучения для выявления *spina bifida occulta* на рентгенограммах. Полученные метрики позволяют рекомендовать YOLOv9t, YOLOv10n, YOLOv11n и YOLOv8m в качестве основы для разработки программного обеспечения для автоматизированного выявления *spina bifida occulta* на рентгенограммах шейного, грудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника.

Ключевые слова: *spina bifida occulta*, рентгенография позвоночника, искусственный интеллект

✉ Вероника Евгеньевна Казаринова. E-mail: KazarinovaVE@zdrav.mos.ru

© Коллектив авторов, 2026

<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.26.75.001>

Evaluating the performance of deep learning algorithms for detecting *spina bifida occulta* on spinal radiographs

Veronika E. Kazarinova¹, Andrey S. Gatsuk¹, Kirill M. Arzamasov^{1,2,3}, Yuriy A. Vasilev¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department, 24/1, Petrovka str., Moscow, 127051, Russian Federation

² MIREA — Russian Technological University, 78 Vernadskogo ave., Moscow, 119454, Russian Federation

³ Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya str., Samara, 443099, Russian Federation

For citation: Kazarinova V.E., Gatsuk A.S., Arzamasov K.M., Vasilev Yu.A. Evaluating the performance of deep learning algorithms for detecting *Spina Bifida Occulta* on spinal radiographs. *Visualization in Medicine*. 2026;8(2):6–16. (In Russ.).

<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.26.75.001>.

Received: 22.05.2026

Revised: 01.07.2026

Accepted: 10.08.2026

Abstract. Introduction. *Spina bifida occulta* is a latent congenital spinal defect that often remains undiagnosed until neurological symptoms appear. The development of a system for the automated detection of this pathology on radiographs using neural networks requires a sound choice of architecture that ensures optimal diagnostic performance. **Aim** — to evaluate the performance of deep learning algorithms (ResNet50, EfficientNet-B7, RT-DETR-L, and YOLO versions 8–12) for detecting *spina bifida occulta* on cervical, thoracic, and lumbosacral spine radiographs. **Materials and methods.** A retrospective, labeled dataset was compiled from 1,732 spinal radiographs (360 cervical, 141 thoracic, and 1,231 lumbosacral) acquired between 2022 and 2024. The dataset was balanced 50:50 between pathological and normal cases. Automatic cropping of the spinal column region was performed using the Qwen3-VL vision-language model. The training subset was expanded threefold using data augmentation techniques. The models were trained and tested using sensitivity, specificity, accuracy, and area under the receiver operating characteristic curve (AUC-ROC). **Results.** For the cervical spine, the best performance was achieved by the YOLOv9t model (AUC=0.926 [95% confidence interval (CI): 0.816–1.000]); for the thoracic spine, by YOLOv10n and YOLOv11n (AUC=0.982 [95% CI: 0.933–1.000]); and for the lumbosacral spine, by YOLOv8m (AUC=0.956 [95% CI: 0.923–0.989]). ResNet50 and EfficientNet-B7 demonstrated significantly lower performance, yielding AUC values not exceeding 0.839. YOLO models enabled both image classification and defect localization on radiographs using bounding boxes. **Conclusion.** YOLO architectures outperform alternative deep learning models for detecting SBO on radiographs. These metrics support the integration of YOLOv9t, YOLOv10n, YOLOv11n, and YOLOv8m into software for automated detection of *Spina Bifida Occulta* on cervical, thoracic, and lumbosacral radiographs.

Keywords: *spina bifida occulta*, spine radiography, artificial intelligence

✉ Veronika E. Kazarinova. E-mail: KazarinovaVE@zdrav.mos.ru

© 2026 by the authors

ВВЕДЕНИЕ

Spina bifida occulta (SBO) представляет собой скрытую форму врожденного дефекта нервной трубки, характеризующуюся незаращением дужек одного или нескольких позвонков без пролапса нервных структур или мозговых оболочек в дефект, что принципиально отличает ее от более тяжелых форм, таких как миелоцистоцеле или миеломенингоцеле [1]. Порок преимущественно локализуется в пояснично-крестцовом отделе позвоночного столба (позвонки L_v–S₁ — до 70% случаев), реже — в шейном или грудном отделах, что связано с особенностями формирования позвоночного канала в период внутриутробного развития [2, 3].

В популяционных исследованиях оценка распространенности SBO значительно варьирует: от 2 до 54% в общей популяции [4–6]. Несмотря на то что большинство случаев протекает бессимптомно и может сопровождаться лишь отдельными кожными стигмами [7], у части пациентов с возрастом развиваются и прогрессируют неврологические проявления: хроническая дорсалгия, парестезии и онемение нижних конечностей, гиперрефлексия или мышечная слабость, а также нейрогенная дисфункция мочевого пузыря и/или кишечника [8–12].

Пренатальное выявление SBO с помощью ультразвукового исследования (УЗИ) затруднено из-за отсутствия характерных эхографических изменений анатомических структур. После рождения ребенка SBO чаще всего является случайной находкой при рентгенографии (РГ), выполненной по другому поводу. При появлении неврологических симптомов целенаправленную диагностику проводят с помощью РГ или магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в здравоохранении соответствует Национальной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. и успешно реализуется в рамках «Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения этих технологий в системе здравоохранения» [13]. Вместе с тем применение ИИ для диагностики SBO до настоящего времени остается нереализованным направлением.

Таким образом, актуальной задачей является создание программного обеспечения (ПО) для автоматизированного выявления SBO (шейной, грудной и пояснично-крестцовой локализаций) на РГ позвоночника у пациентов всех возрастов. Первым шагом на пути разработки такого ПО становится выбор архитектуры нейросети, обеспечивающей

наилучший баланс чувствительности, специфичности и общей точности при работе с данными медицинской визуализации.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить эффективность алгоритмов глубокого обучения по выявлению признаков SBO на РГ позвоночника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1. Набор данных

Для обучения и тестирования алгоритмов глубокого обучения были сформированы три набора данных, структурированных по отделам позвоночного столба [14, 15].

В исследование были включены результаты РГ шейного, грудного или пояснично-крестцового отделов позвоночника в прямой проекции, выполненной при оказании плановой медицинской помощи в амбулаторных условиях или в условиях стационара пациентам мужского и женского пола всех возрастов:

- имеющие рентгенологические признаки SBO на изображении и заключение врача-рентгенолога о наличии SBO в протоколе описания исследования;
- не имеющие рентгенологических признаков SBO на изображении, в протоколе описания исследования врачом-рентгенологом SBO не указана. Критериями исключения были следующие:
- низкое качество исследования;
- затрудненная визуализация в связи с техническими дефектами, двигательными артефактами или артефактами инородных объектов на уровне исследования.

Поиск, выгрузку и анонимизацию исследований из Единого радиологического информационного сервиса Единой медицинской информационно-аналитической системы (ЕРИС ЕМИАС) осуществляли с использованием «Платформы подготовки наборов данных» [16].

Разметку проводили на платформе CVAT: контуры признаков SBO выделял вручную врач-рентгенолог и сохранял в виде координат ограничивающих рамок, а случаи без патологии маркировали тегом «норма».

Итоговая выборка составила 1732 размеченные рентгенограммы (360 — шейный отдел позвоночника, 141 — грудной отдел, 1231 — пояснично-крестцовый отдел), собранные за период с 01.01.2022 по 31.12.2024 г. Баланс классов «патология» : «норма» был равен ~50:50. Минимальный возраст пациентов составил 2 года, максимальный —

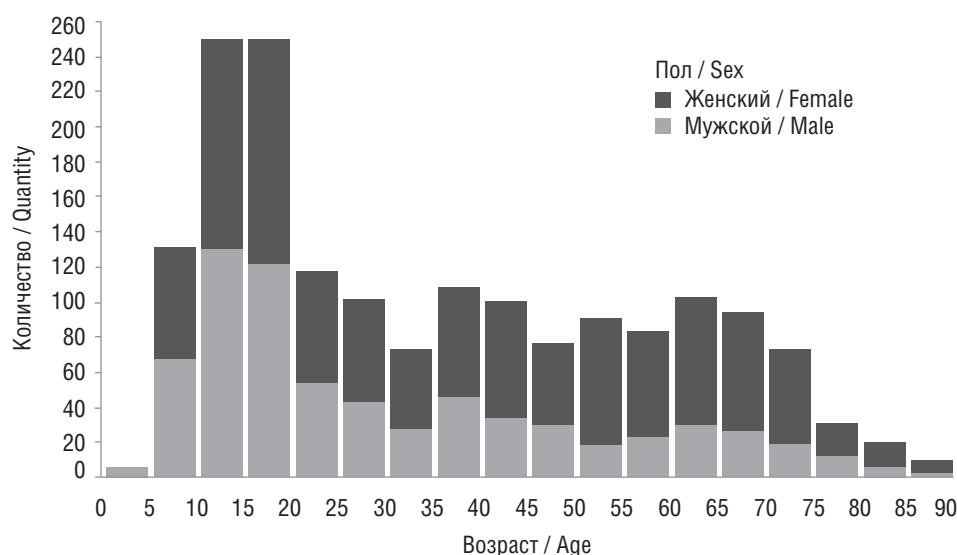


Рис. 1. Распределение пациентов по полу и возрасту (рисунок авторов данной статьи)
Fig. 1. Distribution of patients by gender and age (figure by the authors of this article)

90 лет, средний возраст — 34,7 года, медианный возраст — 30, мода — 17. Распределение по полу следующее: 1025 пациентов женского пола, 682 — мужского (рис. 1).

2. Предварительная обработка данных

На этапе предварительной обработки данных применяли метод автоматической обрезки области интереса — позвоночного столба — с использованием визуально-языковой модели qwen3-vl:8b-instruct. Модели был задан системный промпт, предписывающий выделить исключительно костные структуры позвоночного столба, расположенные по центру изображения, и вернуть координаты ограничивающих рамок в формате [x1, y1, x2, y2]. На основе полученных координат выполняли кадрирование оригинального изображения (рис. 2).

Полученные изображения были разделены на обучающую, валидационную и тестовую подвыборки в соотношении 80:10:10. К обучающей подвыборке применяли методы аугментации данных, что позволило увеличить ее объем в 3 раза.

3. Обучение и тестирование нейросетей

Для выявления SBO на РГ были исследованы следующие архитектуры нейросетей: ResNet50, EfficientNet-B7, YOLO (версии 8x/n/m, 9t/m/e, 10x/n/m, 11n/x/m, 12n/m) и RT-DETR-L. Обучение проводили на обучающей подвыборке с оценкой точности классификации на валидационной подвыборке после каждой эпохи. Модели сохранялись при достижении максимальной точности с применением механизма ранней остановки по лучшему состоянию.

Диагностическую точность оценивали на тестовой подвыборке с помощью ROC-анализа [17]. Рас-

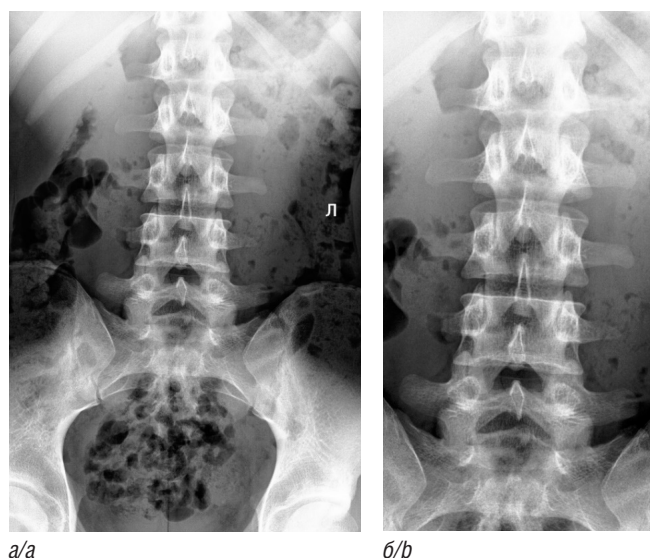


Рис. 2. Пример обработки данных: а — исходное изображение; б — результат обрезки изображения по области интереса (фото авторов)

Fig. 2. An example of data processing: a — the original image; b — the result of cropping the image by region of interest (photos by the authors)

считывали следующие метрики при оптимальном пороге классификации, определенном по максимальному индексу Юдена: точность, чувствительность и специфичность, а также площадь под ROC-кривой (AUC).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Метрики моделей, полученных в результате исследования, представлены в табл. 1–3. На рис. 3–5 продемонстрированы совмещенные графики ROC-

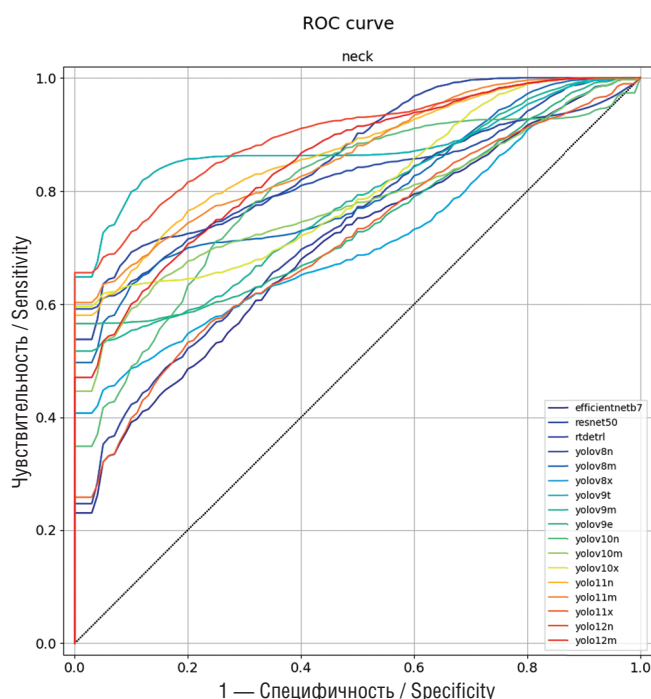


Рис. 3. ROC-кривые моделей на наборе данных шейного отдела позвоночника (рисунок авторов данной статьи)

Fig. 3. ROC curves of models on a dataset of the cervical spine (figure by the authors of this article)

кривых для всех сравниваемых моделей по каждому отделу позвоночного столба.

Шейный отдел

Лучший результат достигнут моделью YOLOv9t: точность — 0,919, чувствительность — 0,923, специфичность — 0,917, AUC=0,926. Высокие показатели также у YOLOv12n (AUC=0,913), YOLOv11m (AUC=0,901) и YOLOv8m (AUC=0,901).

Наименьшую эффективность показали EfficientNetB7 (AUC=0,699) и ResNet50 (AUC=0,727).

Грудной отдел

Наиболее высокие результаты получены для YOLOv10n и YOLOv11n: обе модели достигли точности 0,933 и AUC=0,982. Худшие результаты у ResNet50 (AUC=0,482), что указывает на случайный уровень распознавания.

Поясничный отдел

Лучшая модель — YOLOv8m: точность — 0,918, чувствительность — 0,945, специфичность — 0,896, AUC=0,956. Сравнимые результаты показали

Таблица 1

Метрики моделей на наборе данных шейного отдела позвоночника

Table 1

Metrics of models based on a dataset of the cervical spine

Модель / Model	Точность [95% ДИ] / Accuracy [95% CI]	Специфичность [95% ДИ] / Specificity [95% CI]	Чувствительность [95% ДИ] / Sensitivity [95% CI]	AUC [95% ДИ] / AUC [95% CI]
EfficientNetB7	0,730 [0,587–0,873]	0,913 [0,798–1,000]	0,429 [0,169–0,688]	0,699 [0,516–0,882]
ResNet50	0,757 [0,619–0,895]	0,957 [0,873–1,000]	0,429 [0,169–0,688]	0,727 [0,552–0,901]
RT-DETR-L	0,865 [0,755–0,975]	0,957 [0,873–1,000]	0,714 [0,478–0,951]	0,860 [0,734–0,987]
YOLOv8n	0,865 [0,755–0,975]	1,000 [1,000–1,000]	0,615 [0,351–0,880]	0,869 [0,731–1,000]
YOLOv8m	0,838 [0,719–0,957]	0,875 [0,743–1,000]	0,769 [0,540–0,998]	0,901 [0,804–0,997]
YOLOv8x	0,811 [0,685–0,937]	0,958 [0,878–1,000]	0,538 [0,267–0,809]	0,766 [0,592–0,940]
YOLOv9t	0,919 [0,831–1,000]	0,917 [0,806–1,000]	0,923 [0,778–1,000]	0,926 [0,816–1,000]
YOLOv9m	0,838 [0,719–0,957]	1,000 [1,000–1,000]	0,538 [0,267–0,809]	0,824 [0,677–0,970]
YOLOv9e	0,865 [0,755–0,975]	1,000 [1,000–1,000]	0,615 [0,351–0,880]	0,798 [0,628–0,968]
YOLOv10n	0,811 [0,685–0,937]	0,792 [0,629–0,954]	0,846 [0,650–1,000]	0,859 [0,740–0,978]
YOLOv10m	0,838 [0,719–0,957]	0,958 [0,878–1,000]	0,615 [0,351–0,880]	0,804 [0,629–0,980]
YOLOv10x	0,865 [0,755–0,975]	0,958 [0,878–1,000]	0,692 [0,441–0,943]	0,849 [0,709–0,990]
YOLOv11n	0,811 [0,685–0,937]	0,826 [0,671–0,981]	0,786 [0,571–1,000]	0,863 [0,734–0,992]
YOLOv11m	0,838 [0,719–0,957]	0,833 [0,684–0,982]	0,846 [0,650–1,000]	0,901 [0,795–1,000]
YOLOv11x	0,757 [0,619–0,895]	0,833 [0,684–0,982]	0,615 [0,351–0,880]	0,734 [0,550–0,918]
YOLOv12n	0,865 [0,755–0,975]	0,875 [0,743–1,000]	0,846 [0,650–1,000]	0,913 [0,800–1,000]
YOLOv12m	0,838 [0,719–0,957]	0,875 [0,743–1,000]	0,769 [0,540–0,998]	0,901 [0,804–0,997]

Таблица составлена авторами / The table is compiled by the authors

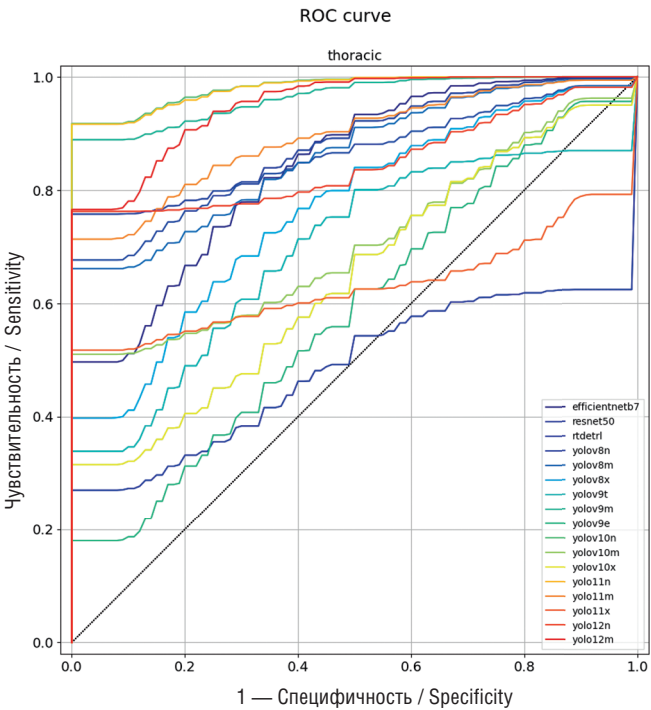


Рис. 4. ROC-кривые моделей на наборе данных грудного отдела позвоночника (рисунок авторов данной статьи)
Fig. 4. ROC curves of models on a dataset of the thoracic spine (figure by the authors of this article)

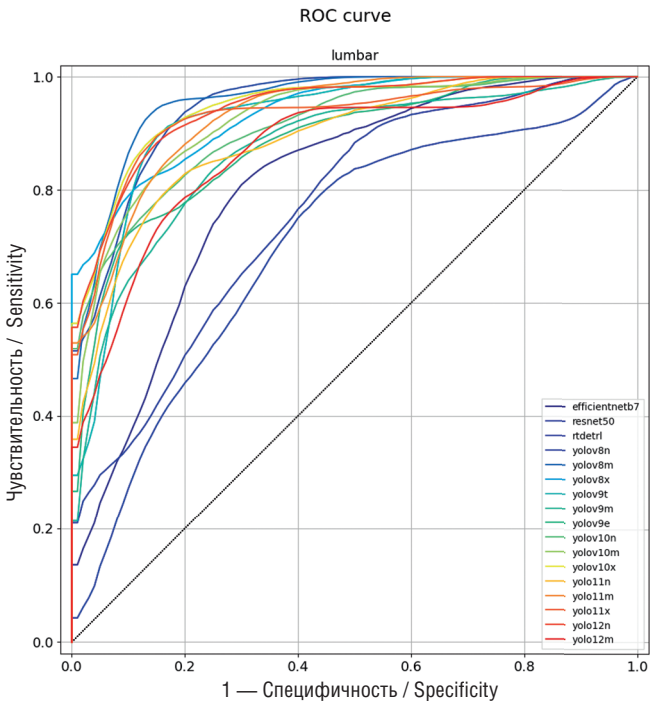


Рис. 5. ROC-кривые моделей на наборе данных пояснично-крестцового отдела позвоночника (рисунок авторов данной статьи)
Fig. 5. ROC curves of models on a dataset of the lumbosacral spine (figure by the authors of this article)

Таблица 2

Метрики моделей на наборе данных грудного отдела позвоночника

Table 2

Metrics of models based on the thoracic spine dataset				
Модель / Model	Точность [95% ДИ] / Accuracy [95% CI]	Специфичность [95% ДИ] / Specificity [95% CI]	Чувствительность [95% ДИ] / Sensitivity [95% CI]	AUC [95% ДИ] / AUC [95% CI]
EfficientNetB7	0,800 [0,598–1,000]	0,714 [0,380–1,000]	0,875 [0,646–1,000]	0,839 [0,625–1,000]
ResNet50	0,600 [0,352–0,848]	1,000 [1,000–1,000]	0,250 [0,000–0,550]	0,482 [0,154–0,810]
RT-DETR-L	0,867 [0,695–1,000]	1,000 [1,000–1,000]	0,750 [0,450–1,000]	0,893 [0,723–1,000]
YOLOv8n	0,800 [0,598–1,000]	1,000 [1,000–1,000]	0,625 [0,290–0,960]	0,857 [0,656–1,000]
YOLOv8m	0,800 [0,598–1,000]	1,000 [1,000–1,000]	0,625 [0,290–0,960]	0,857 [0,662–1,000]
YOLOv8x	0,733 [0,510–0,957]	0,857 [0,598–1,000]	0,625 [0,290–0,960]	0,768 [0,511–1,000]
YOLOv9t	0,733 [0,510–0,957]	0,714 [0,380–1,000]	0,750 [0,450–1,000]	0,696 [0,399–0,994]
YOLOv9m	0,933 [0,807–1,000]	1,000 [1,000–1,000]	0,875 [0,646–1,000]	0,964 [0,881–1,000]
YOLOv9e	0,667 [0,428–0,905]	0,714 [0,380–1,000]	0,625 [0,290–0,960]	0,589 [0,265–0,914]
YOLOv10n	0,933 [0,807–1,000]	1,000 [1,000–1,000]	0,875 [0,646–1,000]	0,982 [0,933–1,000]
YOLOv10m	0,733 [0,510–0,957]	1,000 [1,000–1,000]	0,500 [0,154–0,846]	0,714 [0,435–0,994]
YOLOv10x	0,667 [0,428–0,905]	0,571 [0,205–0,938]	0,750 [0,450–1,000]	0,643 [0,340–0,946]
YOLO11n	0,933 [0,807–1,000]	1,000 [1,000–1,000]	0,875 [0,646–1,000]	0,982 [0,933–1,000]
YOLO11m	0,867 [0,695–1,000]	0,857 [0,598–1,000]	0,875 [0,646–1,000]	0,893 [0,723–1,000]
YOLO11x	0,733 [0,510–0,957]	1,000 [1,000–1,000]	0,500 [0,154–0,846]	0,625 [0,299–0,951]
YOLO12n	0,867 [0,695–1,000]	1,000 [1,000–1,000]	0,750 [0,450–1,000]	0,839 [0,613–1,000]
YOLO12m	0,933 [0,807–1,000]	0,857 [0,598–1,000]	1,000 [1,000–1,000]	0,946 [0,830–1,000]

Таблица составлена авторами / The table is compiled by the authors

Таблица 3

Метрики моделей на наборе данных пояснично-крестцового отдела позвоночника

Table 3

Metrics of models based on the dataset of the lumbosacral spine

Модель / Model	Точность [95% ДИ] / Accuracy [95% CI]	Специфичность [95% ДИ] / Specificity [95% CI]	Чувствительность [95% ДИ] / Sensitivity [95% CI]	AUC [95% ДИ] / AUC [95% CI]
EfficientNetB7	0,762 [0,687–0,838]	0,672 [0,559–0,784]	0,873 [0,785–0,961]	0,805 [0,728–0,883]
ResNet50	0,697 [0,615–0,778]	0,537 [0,418–0,657]	0,891 [0,809–0,973]	0,761 [0,678–0,845]
RT-DETR-L	0,697 [0,615–0,778]	0,582 [0,464–0,700]	0,836 [0,739–0,934]	0,702 [0,608–0,797]
YOLOv8n	0,877 [0,819–0,935]	0,821 [0,729–0,913]	0,945 [0,885–1,000]	0,944 [0,908–0,981]
YOLOv8m	0,918 [0,869–0,967]	0,896 [0,822–0,969]	0,945 [0,885–1,000]	0,956 [0,923–0,989]
YOLOv8x	0,869 [0,809–0,929]	0,910 [0,842–0,979]	0,818 [0,716–0,920]	0,933 [0,893–0,974]
YOLOv9t	0,893 [0,839–0,948]	0,910 [0,842–0,979]	0,873 [0,785–0,961]	0,924 [0,876–0,972]
YOLOv9m	0,803 [0,733–0,874]	0,761 [0,659–0,863]	0,855 [0,761–0,948]	0,869 [0,803–0,934]
YOLOv9e	0,836 [0,770–0,902]	0,910 [0,842–0,979]	0,745 [0,630–0,861]	0,882 [0,822–0,942]
YOLOv10n	0,828 [0,761–0,895]	0,866 [0,784–0,947]	0,782 [0,673–0,891]	0,909 [0,858–0,959]
YOLOv10m	0,861 [0,799–0,922]	0,896 [0,822–0,969]	0,818 [0,716–0,920]	0,923 [0,877–0,970]
YOLOv10x	0,893 [0,839–0,948]	0,896 [0,822–0,969]	0,891 [0,809–0,973]	0,946 [0,909–0,983]
YOLO11n	0,828 [0,761–0,895]	0,806 [0,711–0,901]	0,855 [0,761–0,948]	0,888 [0,831–0,946]
YOLO11m	0,852 [0,790–0,915]	0,866 [0,784–0,947]	0,836 [0,739–0,934]	0,930 [0,889–0,972]
YOLO11x	0,885 [0,829–0,942]	0,881 [0,803–0,958]	0,891 [0,809–0,973]	0,927 [0,877–0,977]
YOLO12n	0,885 [0,829–0,942]	0,866 [0,784–0,947]	0,909 [0,833–0,985]	0,942 [0,904–0,981]
YOLO12m	0,820 [0,751–0,888]	0,851 [0,765–0,936]	0,782 [0,673–0,891]	0,868 [0,802–0,933]

Таблица составлена авторами / The table is compiled by the authors

YOLOv10x (AUC=0,946), YOLOv8n (AUC=0,944), YOLOv12n (AUC=0,942) и YOLOv11x (AUC=0,927). Эффективность EfficientNetB7 (AUC=0,805) и ResNet50 (AUC=0,761) была ниже, однако они превосходили свои же результаты на шейном отделе. RT-DETR-L показал невысокие метрики (AUC=0,702) из-за низкой специфичности (0,582).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведено обучение и тестирование 17 моделей глубокого обучения для выявления SBO на РГ трех отделов позвоночника: шейного, грудного и пояснично-крестцового. Результаты свидетельствуют о существенном превосходстве в данной задаче моделей семейства YOLO: YOLOv9t и YOLOv8m — лидеры по выявлению SBO на РГ шейного и пояснично-крестцового отделов позвоночника соответственно, а на РГ грудного отдела позвоночника сразу несколько YOLO-моделей достигли AUC >0,95. Модели ResNet50, EfficientNetB7 и RT-DETR-L уступили YOLO по всем метрикам, особенно по чувствительности.

Высокие показатели ROC-анализа свидетельствуют об эффективности бинарной классификации лидирующих моделей, что может быть использовано для автоматизированной сортировки иссле-

дований на «норму» и «патологию». Это один из возможных сценариев внедрения ПО на основе технологий ИИ в лучевую диагностику [18]. Однако в клинической практике при диагностике SBO наиболее релевантный сценарий внедрения ИИ — система поддержки принятия врачебных решений. В этом случае важна не только вероятность наличия заболевания, но и пространственная локализация порока. Модели ResNet50 и EfficientNetB7 по своей архитектуре не предназначены для детекции объектов на изображении: они обеспечивают только выходной вектор вероятностей. Чтобы компенсировать это ограничение применяют, например, метод Gradient-weighted Class Activation Mapping (GradCAM), который позволяет визуализировать области входного изображения, оказавшие наибольшее влияние на классификационное решение (рис. 6). Важно подчеркнуть, что, хотя GradCAM зачастую демонстрирует косвенное соответствие между значимой областью и реальной локализацией патологии на РГ, это не является полноценной детекцией. Во-первых, тепловая карта GradCAM не имеет строгих границ, во-вторых, ее пространственное разрешение ограничено размером карт признаков, который уменьшается с глубиной сверточных слоев. Следовательно, GradCAM пригоден при

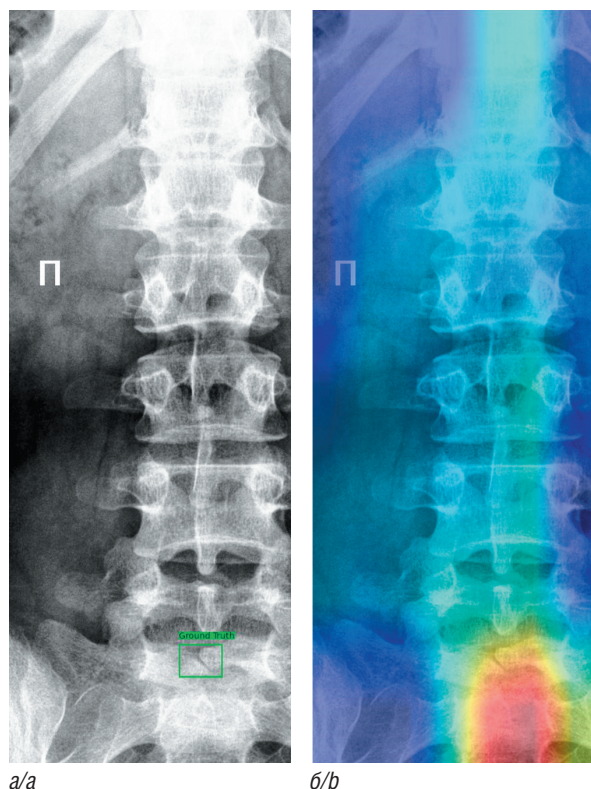


Рис. 6. Пример предсказания патологии моделью EfficientNetB7: *a* — изображение с истинной разметкой; *б* — тепловая карта GradCAM (фото авторов)

Fig. 6. Example of pathology prediction by the EfficientNetB7 model: *a* — an image with true markup; *b* — a GradCAM heat map (photos by the authors)

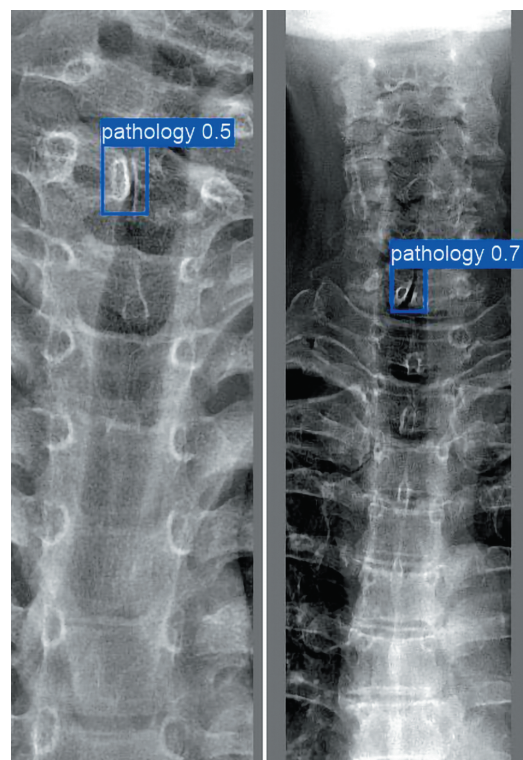


Рис. 7. Пример предсказания патологии моделью YOLOv9t: синим прямоугольником оконтурены признаки *spina bifida occulta*, числовое значение отображает степень уверенности (фото авторов)

Fig. 7. Example of pathology prediction by the YOLOv9t model: *Spina Bifida Occulta* signs are outlined in a blue rectangle, the numerical value shows the degree of confidence (photos by the authors)

интерпретации результатов в формате «объяснимо-го ИИ», но не может заменить алгоритмы детекции.

Модели семейства YOLO и RT-DETR-L относятся к классу нейросетей для детекции объектов. Как показано на рис. 7, на выходе они генерируют степень уверенности в наличии патологии и координаты ограничивающих рамок порока, что имеет большую диагностическую ценность.

Следует отметить, что в мировой практике существуют решения для диагностики *spina bifida* по данным УЗИ [19–22]. Однако они ограничены задачами пренатального выявления открытой формы порока — *spina bifida aperta*. Единственная известная работа, посвященная анализу РГ позвоночника, фокусируется исключительно на SBO пояснично-крестцовой локализации [23]. Лучшая модель в этом исследовании достигла точности 85,5%, чувствительности — 80,8%, специфичности — 89,7% и AUC=0,92, что сопоставимо с результатами нашего исследования. Однако эта разработка решает лишь задачу классификации РГ без детекции SBO на снимке. Таким образом, в отличие от перечисленных ра-

бот, наше исследование нацелено на решение более широкой клинической задачи: разработка охватывает шейный, грудной и пояснично-крестцовый отделы позвоночника. Более того, мы переходим от простой классификации к детекции SBO, что позволяет получить более значимую клиническую информацию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования оценена эффективность 17 алгоритмов глубокого обучения для выявления SBO на РГ шейного, грудного и пояснично-крестцового отделов позвоночника. Установлено, что модели семейства YOLO превосходят ResNet50, EfficientNet-B7 и RT-DETR-L по метрикам диагностической точности в данной задаче. Для шейного отдела лучший результат показала модель YOLOv9t, для грудного лучшими были YOLOv10n и YOLOv11n, для пояснично-крестцового — YOLOv8m.

Практическим выводом является преимущество детекционных архитектур (YOLO, RT-DETR-L) над классификационными (ResNet, EfficientNet)

в данной задаче, поскольку первые позволяют не только классифицировать РГ, но и предоставлять пространственную локализацию порока (координаты ограничивающих рамок). Методы построения тепловых карт, например, GradCAM, не могут служить полноценной заменой детекции.

Таким образом, архитектуры семейства YOLO могут быть рекомендованы в качестве основы для разработки ПО для автоматизированного выявления SBO на РГ. Полученные ROC-кривые и метрики диагностической точности демонстрируют потенциал применения методов глубокого обучения в диагностике SBO.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

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

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы «Искусственный интеллект для одновременного анализа изображений и ЭМК (мультимодальный ИИ)» в соответствии с приказом от 27.11.2025 г. № 1213 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы, государственным бюджетным (автономным) учреждениям, подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2026 год и плановый период 2027 и 2028 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

Этическая экспертиза. Данное исследование одобрено независимым этическим комитетом при ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» (выписка из протокола № 01/2026 от 22 января 2026 г.).

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Funding. This article was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled “Artificial intelligence for synchronous evaluation of images and EHR (multimodal AI)”, in accordance with the

Order No. 1213 dated November 27, 2025 “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 2026 and the planned period of 2027 and 2028” issued by the Moscow Health Care Department.

Ethical statement. This study was approved by the Independent Ethics Committee of the State Budget Funded Health Care Institution of the City of Moscow “Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department” (extract from protocol No. 01/2026 dated January 22, 2026).

ЛИТЕРАТУРА

1. Schindelmann K.H., Paschereit F., Steege A., Stoltenburg-Didinger G., Kaendl A.M. Systematic classification of Spina bifida. *J Neuropathol Exp Neurol.* 2021;80(4):294–305. <https://doi.org/10.1093/jnen/nlab007>. EDN: DEOKYD.
2. Sipos T.C., Denes L., Brinzaniuc K., Sipos R.S., Raduly G., Pap Z. Study of Spina bifida occulta based on age, sex and localization. *ARS Medica Tomitana.* 2019;25(3):95–99. <https://doi.org/10.2478/arsm-2019-0020>.
3. Заточная В.В. Формирование позвоночного канала в эмбриогенезе человека. *Морфологические ведомости.* 2018;26(1):33–37. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.18\(26\).01.33-37](https://doi.org/10.20340/mv-mn.18(26).01.33-37). EDN: XYTINV.
4. Härle A. Incidence of Spina bifida occulta and its importance in orthopaedic diseases. In: Spina bifida — neural tube defects: Basic research, interdisciplinary diagnostics and treatment, results and prognosis. P. Gless, J. Lorber, D. Voth, eds. Berlin, Boston: De Gruyter; 1986. P. 249–256. <https://doi.org/10.1515/9783110850307-032>.
5. Fidas A., MacDonald H.L., Elton R.A., Wild S.R., Chisholm G.D., Scott R. Prevalence and patterns of spina bifida occulta in 2707 normal adults. *Clin Radiol.* 1987;38(5):537–542. [https://doi.org/10.1016/s0009-9260\(87\)80150-2](https://doi.org/10.1016/s0009-9260(87)80150-2).
6. Eubanks J.D., Cheruvu V.K. Prevalence of sacral spina bifida occulta and its relationship to age, sex, race, and the sacral table angle: an anatomic, osteologic study of three thousand one hundred specimens. *Spine.* 2009;34(15):1539–1543. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181a98560>.
7. Bessis D. Cutaneous signs of occult cranial and spinal dysraphism. *Ann Dermatol Venereol.* 2020;147(8-9):504–519. <https://doi.org/10.1016/j.annder.2020.02.011>. EDN: BLFVKO.
8. Mirzaei S., Khoshkholghsima M., Sabaghzadeh A., Kurdkandi H.Z. Cervicothoracic (C₆, C₇ & T₁) spina bifida occulta — A case report. *Int J Surg Case Rep.* 2024;117:109477. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2024.109477>. EDN: DJAPBA.
9. Sakti Y.M., Lanodiyu Z.A., Sakadewa G.P., Cein C.R., Baskara A.A.N.N., Rahayu B.F.P. Spina bifida occulta at the lumbar spine level manifested as chronic low back pain and unpredictable neurologic deficit: A case report. *Int J Surg Case Rep.* 2024;116:109320. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2024.109320>. EDN: NMEPSY.

10. Goto T., Sakai T., Sato N., Katoh S., Sairyo K. An adolescent athlete with low back pain associated with Spina bifida occulta at the thoracolumbar junction: A case report. *J Med Invest.* 2019;66(1.2):199–200. <https://doi.org/10.2152/jmi.66.199>.
11. Taskaynatan M.A., Izci Y., Ozgul A., Hazneci B., Dursun H., Kalyon T.A. Clinical significance of congenital lumbosacral malformations in young male population with prolonged low back pain. *Spine.* 2005;30(8):E210–E213. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000158950.84470.2a>.
12. Muranaka I., Kyoda Y., Nofuji S. et al. A case of neuropathic lower urinary tract dysfunction due to Spina bifida occulta discovered at the age of 19 years and successfully treated with multidisciplinary therapy. *Hinyokika Kyo.* 2024;70(2):55–59. https://doi.org/10.14989/ActaUrolJap_70_2_55.
13. Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Арзамасов К.М. и др. Искусственный интеллект в лучевой диагностике: Per Aspera Ad Astra. М.: НПКЦ ДиТ ДЗМ; 2025. 493 с. EDN: OOWUTV.
14. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025622039 Российская Федерация. MosMedData: рентгенография шейного и грудного отдела позвоночника с наличием или отсутствием Spina Bifida: заявл. 11.04.2025; опублик. 12.05.2025. Ю.А. Васильев, А.В. Владимирский, О.В. Омелянская и др.; заявитель ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ».
15. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625146 Российская Федерация. MosMedData: рентгенография пояснично-крестцового отдела позвоночника с наличием или отсутствием Spina Bifida у взрослых: № 2024624865: заявл. 31.10.2024; опублик. 13.11.2024. Ю.А. Васильев, А.В. Владимирский, О.В. Омелянская и др.; заявитель ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ».
16. Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Омелянская О.В. и др. Автоматизированная платформа для формирования наборов данных в лучевой диагностике. *Менеджер здравоохранения.* 2025;(7):52–67. <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2025-7-52-67>. EDN: YAVSYA.
17. Kirpichev Yu., Vasilev Yu., Vladzmyrskyy A. et al. Free web tool for comprehensive ROC analysis. *Biological Communications.* 2025;70(3):215–222. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2025.305>. EDN: RTOVSR.
18. Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Арзамасов К.М. и др. Внедрение медицинских изделий с технологиями искусственного интеллекта в лучевую диагностику: методические рекомендации. Ч. 1. Сценарии и оценка эффективности. М.: НПКЦ ДиТ ДЗМ; 2025. 32 с. EDN: MKJYJC.
19. Asha R., Subashka Ramesh S.S. An optimized modified faster region convolutional neural network for Spina bifida identification from ultrasound images. *Biomed Signal Process Control.* 2023;86:105253. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105253>. EDN: KZVSBL.
20. Asha R., Subashka Ramesh S.S. Segmentation and classification of fetal Spina bifida using DED with FM2DCN. *Multimed Tools Appl.* 2024;83(25):66981–66999. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18160-9>. EDN: RKUKQI.
21. Omopintemi A.H., David A.O., Adeyemi O.A. Machine learning algorithm for classification of infant congenital anomaly. In: Intelligent Sustainable Systems (WorldS4 2024). Lecture notes in networks and systems. Vol. 1178. A. Nagar, D.S. Jat, D. Mishra, A. Joshi, eds. Springer, Singapore; 2025. P. 265–276. https://doi.org/10.1007/978-981-97-9559-8_23.
22. Chen L., Tian Y., Deng Y. Neural network algorithm-based three-dimensional ultrasound evaluation in the diagnosis of fetal Spina bifida. *Scientific Programming.* 2021;1:3605739. <https://doi.org/10.1155/2021/3605739>. EDN: LVIUJS.
23. Duran S., Üreten K., Maraş Y. et al. Automatic detection of Spina bifida occulta with deep learning methods from plain pelvic radiographs. *Res Biomed Eng.* 2023;39(3):655–661. <https://doi.org/10.1007/s42600-023-00296-6>. EDN: EEZHWM.

REFERENCES

1. Schindelmann K.H., Paschereit F., Steege A., Stoltenburg-Didinger G., Kaindl A.M. Systematic classification of Spina bifida. *J Neuropathol Exp Neurol.* 2021;80(4):294–305. <https://doi.org/10.1093/jnen/nlab007>. EDN: DEOKYD.
2. Sipos T.C., Denes L., Brinzaniuc K., Sipos R.S., Raduly G., Pap Z. Study of Spina bifida occulta based on age, sex and localization. *ARS Medica Tomitana.* 2019;25(3):95–99. <https://doi.org/10.2478/arsm-2019-0020>.
3. Zatochnaya V.V. The formation of the spinal canal in the human embryogenesis. *Morphological Newsletter.* 2018;26(1):33–37. (In Russ.). [https://doi.org/10.20340/mv-mn.18\(26\).01.33-37](https://doi.org/10.20340/mv-mn.18(26).01.33-37). EDN: XYTINV.
4. Härle A. Incidence of Spina bifida occulta and its importance in orthopaedic diseases. In: Spina bifida — neural tube defects: Basic research, interdisciplinary diagnostics and treatment, results and prognosis. P. Gless, J. Lorber, D. Voth, eds. Berlin, Boston: De Gruyter; 1986. P. 249–256. <https://doi.org/10.1515/9783110850307-032>.
5. Fidas A., MacDonald H.L., Elton R.A., Wild S.R., Chisholm G.D., Scott R. Prevalence and patterns of spina bifida occulta in 2707 normal adults. *Clin Radiol.* 1987;38(5):537–542. [https://doi.org/10.1016/s0009-9260\(87\)80150-2](https://doi.org/10.1016/s0009-9260(87)80150-2).
6. Eubanks J.D., Cheruvu V.K. Prevalence of sacral spina bifida occulta and its relationship to age, sex, race, and the sacral table angle: an anatomic, osteologic study of three thousand one hundred specimens. *Spine.* 2009;34(15):1539–1543. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181a98560>.
7. Bessis D. Cutaneous signs of occult cranial and spinal dysraphism. *Ann Dermatol Venereol.* 2020;147(8-9):504–519. <https://doi.org/10.1016/j.annder.2020.02.011>. EDN: BLFVKO.
8. Mirzaei S., Khoshkholghsima M., Sabaghzadeh A., Kurdkan-di H.Z. Cervicothoracic (C₆, C₇ & T₁) spina bifida occulta — A case report. *Int J Surg Case Rep.* 2024;117:109477. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2024.109477>. EDN: DJAPBA.
9. Sakti Y.M., Lanodiyyu Z.A., Sakadewa G.P., Cein C.R., Baskara A.A.N.N., Rahayu B.F.P. Spina bifida occulta at the lumbar spine level manifested as chronic low back pain and unpredictable neurologic deficit: A case report. *Int J Surg Case Rep.* 2024;116:109320. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2024.109320>. EDN: NMEPSY.
10. Goto T., Sakai T., Sato N., Katoh S., Sairyo K. An adolescent athlete with low back pain associated with Spina bifida occulta

- at the thoracolumbar junction: A case report. *J Med Invest*. 2019;66(1.2):199–200. <https://doi.org/10.2152/jmi.66.199>.
11. Taskaynatan M.A., Izci Y., Ozgul A., Hazneci B., Dursun H., Kalyon T.A. Clinical significance of congenital lumbosacral malformations in young male population with prolonged low back pain. *Spine*. 2005;30(8):E210–E213. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000158950.84470.2a>.
 12. Muranaka I., Kyoda Y., Nofuji S. et al. A case of neuropathic lower urinary tract dysfunction due to Spina bifida occulta discovered at the age of 19 years and successfully treated with multidisciplinary therapy. *Hinyokika Kyo*. 2024;70(2):55–59. https://doi.org/10.14989/ActaUrolJap_70_2_55.
 13. Vasilev Yu.A., Vladzimirskyy A.V., Arzamasov K.M. et al. Artificial intelligence in diagnostic radiology: Per Aspera Ad Astra. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department; 2025. 493 p. (In Russ.). EDN: OOWUTV.
 14. Certificate of State registration of the database No. 2025622039 Russian Federation. MosMedData: radiography of the cervical and thoracic spine with or without Spina Bifida. The application 11.04.2025, publ. 12.05.2025. Yu.A. Vasilev, A.V. Vladzimirskyy, O.V. Omelyanskaya et al.; the applicant Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine. (In Russ.).
 15. Certificate of State registration of the database No. 2024625146 Russian Federation. MosMedData: radiography of the lumbosacral spine with or without Spina Bifida in adults: No. 2024624865. The application 31.10.2024, publ. 13.11.2024. Yu.A. Vasilev, A.V. Vladzimirskyy, O.V. Omelyanskaya et al.; the applicant Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine. (In Russ.).
 16. Vasilev Yu.A., Vladzimirskyy A.V., Omelyanskaya O.V. et al. Platform for automated generation of radiological datasets. *Manager zdravoohranenia*. 2025;(7):52–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2025-7-52-67>. EDN: YAVSYA.
 17. Kirpichev Yu., Vasilev Yu., Vladzimirskyy A. et al. Free web tool for comprehensive ROC analysis. *Biological Communications*. 2025;70(3):215–222. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2025.305>. EDN: RTOVSR.
 18. Vasilev Yu.A., Vladzimirskyy A.V., Arzamasov K.M. et al. Implementation of medical devices incorporating artificial intelligence technologies in diagnostic imaging: methodological recommendations. Part 1. Scenarios and performance assessment. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department; 2025. 32 p. (In Russ.). EDN: MKJYJC.
 19. Asha R., Subashka Ramesh S.S. An optimized modified faster region convolutional neural network for *Spina bifida* identification from ultrasound images. *Biomed Signal Process Control*. 2023;86:105253. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105253>. EDN: KZVSBL.
 20. Asha R., Subashka Ramesh S.S. Segmentation and classification of fetal Spina bifida using DED with FM2DCN. *Multimed Tools Appl*. 2024;83(25):66981–66999. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18160-9>. EDN: RKUKQI.
 21. Omopintemi A.H., David A.O., Adeyemi O.A. Machine learning algorithm for classification of infant congenital anomaly. In: Intelligent Sustainable Systems (WorldS4 2024). Lecture notes in networks and systems. Vol. 1178. A. Nagar, D.S. Jat, D. Mishra, A. Joshi, eds. Springer, Singapore; 2025. P. 265–276. https://doi.org/10.1007/978-981-97-9559-8_23.
 22. Chen L., Tian Y., Deng Y. Neural network algorithm-based three-dimensional ultrasound evaluation in the diagnosis of fetal Spina bifida. *Scientific Programming*. 2021;1:3605739. <https://doi.org/10.1155/2021/3605739>. EDN: LVIUJS.
 23. Duran S., Üreten K., Maraş Y. et al. Automatic detection of Spina bifida occulta with deep learning methods from plain pelvic radiographs. *Res Biomed Eng*. 2023;39(3):655–661. <https://doi.org/10.1007/s42600-023-00296-6>. EDN: EEZHWM.

ОБ АВТОРАХ

✉ **Вероника Евгеньевна Казаринова** — младший научный сотрудник. E-mail: KazarinovaVE@zdrav.mos.ru; <https://orcid.org/0009-0001-3568-8138>; SPIN: 5901-5577

Андрей Сергеевич Гацук — младший научный сотрудник. E-mail: GatsukAS@zdrav.mos.ru; <https://orcid.org/0009-0000-0549-4204>; SPIN: 3120-6428

Кирилл Михайлович Арзамасов — д.м.н., руководитель научного отдела, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы; доцент кафедры технологий искусственного интеллекта, МИРЭА — Российский технологический университет; доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии, Самарский государственный медицинский университет. E-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>; SPIN: 3160-8062

Юрий Александрович Васильев — д.м.н., доцент, главный врач. E-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5283-5961>; SPIN: 4458-5608

AUTHORS' INFO

✉ **Veronika E. Kazarinova** — Junior Researcher. E-mail: KazarinovaVE@zdrav.mos.ru; <https://orcid.org/0009-0001-3568-8138>; SPIN: 5901-5577

Andrey S. Gatsuk — Junior Researcher. E-mail: GatsukAS@zdrav.mos.ru; <https://orcid.org/0009-0000-0549-4204>; SPIN: 3120-6428

Kirill M. Arzamasov — Dr. Sci. (Med.), Head of the Scientific Department, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department; Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence Technologies, MIREA — Russian Technological University; Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Samara State Medical University. E-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7786-0349>; SPIN: 3160-8062

Yuriy A. Vasilev — Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Medical Director. E-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5283-5961>; SPIN: 4458-5608



УДК [616.441-006.5-06+616.231-007.271]-07-072.7
<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.78.70.002>

Роль визуализирующих и функциональных методик в диагностике компрессионного стеноза трахеи у больных шейно-загрудинным зобом

Игорь Владимирович Карпатский, Екатерина Олеговна Жучкина, Олег Игоревич Карпатский

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

Для цитирования: Карпатский И.В., Жучкина Е.О., Карпатский О.И. Роль визуализирующих и функциональных методик в диагностике компрессионного стеноза трахеи у больных шейно-загрудинным зобом. *Визуализация в медицине*. 2026;8(2):17–28. <https://doi.org/10.56871/ViM.2026.78.70.002>.

Поступила: 15.05.2026

Одобрена: 17.06.2026

Принята к печати: 10.08.2026

Резюме. Введение. Шейно-загрудинный зоб приводит к постепенной компрессии трахеи, которая нередко протекает субклинически, что затрудняет своевременную диагностику. Диссоциация между клиническими проявлениями и степенью стеноза обуславливает необходимость комплексного применения визуализирующих и функциональных методов, однако их роль и сравнительная ценность остаются недостаточно систематизированными. **Цель** — на основе анализа современной литературы оценить диагностическую ценность лучевых и функциональных методик в выявлении, определении степени тяжести и характера компрессионного стеноза трахеи у пациентов с шейно-загрудинным зобом. **Материалы и методы.** Проведен систематический поиск в базах PubMed и eLIBRARY за 1996–2026 гг. Проанализировано 180 публикаций, посвященных клинко-патологическим аспектам шейно-загрудинного зоба, компрессионным стенозам трахеи и нарушениям воздушного потока. **Результаты.** Мультиспиральная компьютерная томография является «золотым стандартом» визуализации ретростернального компонента, позволяет точно оценить протяженность, конфигурацию стеноза, степень девиации трахеи и топографо-анатомические взаимоотношения, что критически важно для планирования хирургического доступа и анестезиологического пособия. Ультразвуковое исследование дает дополнительную информацию об объеме щитовидной железы и коррелирует с наличием компрессии, но ограничено в оценке загрудинных структур. При помощи спирометрии с анализом петли «поток–объем» удастся выявить функционально значимую обструкцию верхних дыхательных путей даже при субклиническом течении. Наиболее чувствительным критерием служит изменение инспираторной части кривой. Интеграция данных мультиспиральной компьютерной томографии и спирометрии позволяет не только верифицировать стеноз, но и прогнозировать вентиляционные нарушения. **Заключение.** Оптимальный диагностический алгоритм при компрессионном стенозе трахеи у больных шейно-загрудинным зобом должен включать мультиспиральную компьютерную томографию как базовый анатомический метод и спирометрию для объективизации функционального резерва, что обеспечивает раннюю маршрутизацию пациентов и снижает риск необратимых дыхательных расстройств.

Ключевые слова: шейно-загрудинный зоб, компрессионный стеноз трахеи, мультиспиральная компьютерная томография, спирометрия, петля «поток–объем»

✉ Игорь Владимирович Карпатский. E-mail: ikar122@inbox.ru

© Карпатский И.В., Жучкина Е.О., Карпатский О.И., 2026

<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.78.70.002>

The role of imaging and functional techniques in the diagnosis of compressive tracheal stenosis in patients with cervico-mediastinal goiter

Igor V. Karpatsky, Ekaterina O. Zhuchkina, Oleg I. Karpatsky

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., Saint Petersburg, 194100, Russian Federation

For citation: Karpatsky I.V., Zhuchkina E.O., Karpatsky O.I. The role of imaging and functional techniques in the diagnosis of compressive tracheal stenosis in patients with cervico-mediastinal goiter. *Visualization in Medicine*. 2026;8(2):17–28. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/ViM.2026.78.70.002>.

Received: 15.05.2026

Revised: 17.06.2026

Accepted: 10.08.2026

Abstract. Introduction. Cervico-mediastinal goiter leads to gradual tracheal compression that often remains subclinical, delaying timely diagnosis. The dissociation between clinical manifestations and the degree of stenosis necessitates the combined use of imaging and functional methods; however, their roles and comparative value have not yet been sufficiently systematized. **Aim.** To evaluate the diagnostic value of imaging and functional techniques in detecting, grading, and characterizing compressive tracheal stenosis in patients with cervico-mediastinal goiter, based on an analysis of the current literature. **Material and methods.** A systematic search was performed in PubMed and eLIBRARY databases for the period 1996–2026. A total of 180 publications addressing the clinical and pathophysiological aspects of cervico-mediastinal goiter, compressive tracheal stenosis, and airflow disturbances were analyzed. **Results.** Multislice computed tomography is the “gold standard” for visualizing the retrosternal component; it accurately assesses the length and configuration of the stenosis, the degree of tracheal deviation, and topographic anatomical relationships, which is critically important for planning surgical access and anesthetic management. Ultrasound provides additional information on thyroid volume and correlates with the presence of compression, but it is limited in evaluating retrosternal structures. Spirometry with flow–volume loop analysis detects functionally significant upper airway obstruction even in subclinical cases; the most sensitive criterion is a change in the inspiratory limb of the curve. Integration of multislice computed tomography and spirometry data allows not only verification of the stenosis but also prediction of ventilatory impairment. **Conclusion.** The optimal diagnostic algorithm for compressive tracheal stenosis in patients with cervico-mediastinal goiter should include multislice computed tomography as the basic anatomical method and spirometry for objective assessment of functional reserve, thereby ensuring early patient routing and reducing the risk of irreversible respiratory disorders.

Keywords: cervico-mediastinal goiter, compressive tracheal stenosis, multislice computed tomography, spirometry, flow–volume loop

✉ Igor V. Karpatsky. E-mail: ikar122@inbox.ru

© Karpatsky I.V., Zhuchkina E.O., Karpatsky O.I., 2026

ВВЕДЕНИЕ

Шейно-загрудный зоб (ШЗЗ) представляет собой одну из клинически значимых форм патологии щитовидной железы (ЩЖ) и характеризуется распространением ее ткани за грудину в переднее, реже — заднее средостение [1]. Распространенность ШЗЗ отличается значительной вариабельностью и находится в пределах от 2,6 до 30,4% в зависимости от эндемичности региона. Средний уровень ШЗЗ среди всех хирургических заболеваний ЩЖ составляет около 10–15% [2].

Увеличение объема ЩЖ приводит к сдавлению жизненно важных анатомических структур шеи и средостения, прежде всего трахеи, пищевода и сосудисто-нервных образований [3]. Наибольшее клиническое значение имеет компрессионное воздействие на трахею, поскольку постепенное уменьшение ее просвета может сопровождаться нарушениями функции внешнего дыхания (ФВД) [4]. Особенность данной патологии заключается в медленном прогрессировании компрессии, вследствие чего длительное время формируются компенсаторные механизмы адаптации к хроническому повышению сопротивления дыхательных путей [5]. Диссоциация между выраженностью клинических проявлений и степенью стенозирования трахеи подчеркивает решающую роль инструментальных методик обследования, таких как мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) и спирометрия.

В последнее время все больше внимания уделяется не только степени сужения просвета трахеи, но и характеру деформации, протяженности стеноза и связанным с ними изменениям аэродинамики воздушного потока, что позволяет более точно прогнозировать функциональные нарушения и выбирать тактику хирургического лечения.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести анализ современных литературных данных о диагностической ценности методов лучевой диагностики и ФВД в выявлении, определении степени выраженности и характера компрессионного стеноза трахеи у пациентов с ШЗЗ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В электронных библиографических базах данных PubMed и eLIBRARY проведен систематический поиск научных публикаций, посвященных клинико-патофизиологическим аспектам ШЗЗ, компрессионным стенозам трахеи и вторичным нару-

шениям воздушного потока. Глубина поиска составила 30 лет (1996–2026). Изучено 180 источников, соответствовавших критериям тематической релевантности и научной достоверности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В клинической практике имеется необходимость разграничения различных степеней ШЗЗ. Однако единой общепринятой классификации в настоящее время не существует [6, 7]. Каждый из предложенных вариантов преследует определенные, зачастую строго утилитарные цели.

По этиологии все загрудные зобы можно разделить на первичные и вторичные. К первым относят эктопированные в средостение в ходе эмбриогенеза зобы. Они встречаются достаточно редко, не более чем в 1% наблюдений, и кровоснабжаются из медиастинальных артерий (рис. 1). К вторичным относят изначально шейные зобы, опускающиеся за грудину по мере увеличения объема патологически измененной тиреоидной ткани. Они кровоснабжаются системой щитовидных артерий.



Рис. 1. Трехмерная реконструкция компьютерной томограммы с контрастным усилением (артериальная фаза). Истинный внутригрудной зоб (указан стрелкой) (фото авторов)

Fig. 1. Three-dimensional reconstruction of a contrast-enhanced tomography scan (arterial phase). True intrathoracic goiter (indicated by arrow) (photo by the authors)

Таблица 1

Классификация шейно-загрудинного зоба по А.Ф. Романчишену (2013)

Table 1

Classification of cervicomediastinal goiter by A.F. Romanchishen (2013)

Степень / Degree	Характеристика / Characteristic
I	Нижние полюсы долей щитовидной железы имеют тенденцию к распространению за грудину / The inferior poles of the thyroid lobes tend to extend behind the sternum
II	Нижние полюсы долей щитовидной железы расположены ретростернально, но выводятся на шею при пальпации в момент глотания больного / The inferior poles of the thyroid lobes are located retrosternally but can be brought out into the neck by palpation during swallowing
III	Расположенные загрудинно нижние отделы щитовидной железы не выводятся на шею при пальпации в момент глотания / The retrosternal lower portions of the thyroid gland cannot be brought out into the neck by palpation during swallowing
IV	На шее пальпаторно определяются лишь верхушки долей щитовидной железы / Only the upper poles of the thyroid lobes are palpable in the neck
V	Вся зобно измененная железа расположена в средостении / The entire goiter-transformed thyroid gland is located in the mediastinum

В российской литературе часто упоминается клиническая пятистепенная классификация по А.Ф. Романчишену (табл. 1), основанная на степени загрудинного расположения долей ЩЖ и их пальпаторной доступности [8]. Такое разделение имеет не только диагностическое, но и практическое значение, поскольку определяет вариант оперативного доступа и объем хирургического вмешательства [9].

Для описания данных МСКТ может применяться классификация G. Mercante и соавт. (2011) [10]. В соответствии с ней оценивают распространение зоба в трех плоскостях.

1. Краниокаудальная (сагиттальная) плоскость:

- I степень — нижний полюс образования находится между верхней апертурой грудной клетки и выпуклостью дуги аорты;
- II степень — нижний полюс образования находится между выпуклостью и вогнутостью дуги аорты;
- III степень — нижний полюс образования находится ниже вогнутости дуги аорты.

2. Переднезадняя (аксиальная) плоскость:

- тип А (преваскулярный) — основная масса ЩЖ расположена кпереди от сосудов;
- тип В (ретроваскулярный, паратрахеальный) — основная масса ЩЖ расположена позади сосудов и паратрахеально;
- тип С (ретротрахеальный) — основная масса ЩЖ расположена позади трахеи.

3. Латеро-латеральная (корональная) плоскость:

- унилатеральный зоб — в средостении располагается только одна доля;
- билатеральный зоб — в средостении располагаются обе доли ЩЖ.

Для оптимизации хирургической тактики и выбора операционного доступа в 2017 г. I.T. Cvasciuc и соавт. предложили четырехступенчатую систему оценки, основанную на форме расположенной за грудиной тиреоидной ткани (табл. 2) [11].

При прогрессирующем увеличении объема и массы ЩЖ она начинает оказывать механическое воздействие на прилежащие органы шеи и верхнего средостения. Наиболее часто компрессии подвергается трахея. Сдавление обычно максимально выражено на уровне верхней грудной апертуры. В норме трахея обладает определенной подвижностью и способностью адаптироваться к изменениям положения окружающих структур за счет своей эластичности и хрящевого каркаса [12]. Однако при длительном давлении со стороны увеличенной ЩЖ эта способность постепенно утрачивается, она подвергается выраженным деформационным изменениям, степень и характер которых зависят от направления и силы компрессии. В норме просвет трахеи имеет округлый или слегка овальный вид, но при сдавлении он постепенно сплющивается, приобретая различные формы. В ряде случаев наблюдаются асимметричное сужение просвета, его деформация в виде дуги или серпа [13, 14]. В литературе также описаны наблюдения, когда массивный зоб вызывал сдавление трахеи с ее частичным разделением на два канала, что значительно усугубляло дыхательные расстройства [15].

Стеноз трахеи сопровождается нарушением аэродинамики, что вызывает появление одышки, стридора и чувства сдавления в области груди и шеи [4]. Нередко клиническая картина усиливается в горизонтальном положении и при поворотах головы, что часто связано с изменением направления

Таблица 2

Классификация шейно-загрудинного зоба по I.T. Cvasciuc и соавт. (2017)

Table 2

Classification of cervicomedistinal goiter by I.T. Cvasciuc et al. (2017)

Тип / Type	Определение / Definition	Операция / Operation
A	Зоб пирамидальной формы вершиной вниз / The goiter is pyramidal in shape with the apex pointing downwards	Шейный доступ / Cervical approach
B	Зоб пирамидальной формы вершиной вверх / The goiter is pyramidal in shape with the apex pointing upwards	Шейный доступ ± продольно-поперечная стернотомия или торакотомия / Cervical approach ± longitudinal-transverse sternotomy or thoracotomy
C	Двусторонний зоб с узкой шейкой или ножкой, на которой находится загрудинное образование / Bilateral goiter with a narrow neck or pedicle bearing a retrosternal mass	Шейный доступ ± продольно-поперечная стернотомия / Cervical approach ± longitudinal-transverse sternotomy
D	Эктопический или рецидивный внутригрудной зоб, не связанный с тиреоидной тканью на шее / Ectopic or recurrent intrathoracic goiter with no connection to cervical thyroid tissue	Продольно-поперечная стернотомия или торакотомия / Longitudinal-transverse sternotomy or thoracotomy

Таблица 3

Сравнительная характеристика российских классификаций стенозов трахеи

Table 3

Comparative characteristics of Russian classifications of tracheal stenosis

Степень / Degree	Шафировский Б.Б., 1995 / Shafirovsky B.B., 1995		Паршин В.Д., 2020 / Parshin V.D., 2020
	название / denomination	характеристика / characteristic	
I	Компенсированный / Compensated	Меньше половины диаметра трахеи (свыше 10 мм) — клинические проявления отсутствуют или минимальны / Less than half the diameter of the trachea (over 10 mm) — clinical manifestations are absent or minimal	Просвет сужен на 1/3 диаметра нормальной трахеи конкретного пациента / The lumen is narrowed by 1/3 of the diameter of the normal trachea of a particular patient
II	Субкомпенсированный / Subcompensated	От половины до 2/3 диаметра (6–10 мм). Одышка при физической нагрузке / From half to 2/3 of the diameter (6–10 mm). Shortness of breath during physical exertion	От 1/3 до 2/3 диаметра / From 1/3 to 2/3 of the diameter
III	Декомпенсированный докритический / Decompensated subcritical	Свыше 2/3 просвета (3–6 мм). Одышка при небольшой физической нагрузке / More than 2/3 of the lumen (3–6 mm). Shortness of breath with slight physical exertion	Более 2/3 диаметра / More than 2/3 of the diameter
IV	Декомпенсированный критический / Decompensated critical	Просвет сужения менее 3 мм. Одышка в покое, часто стридор / The lumen of the stenosis is less than 3 mm. Dyspnea at rest, often stridor	Полная атрезия / Complete atresia

давления увеличенных долей ЩЖ на трахею. Из-за этого некоторые пациенты вынуждены спать в положении полусидя, с приподнятым головным концом кровати, на животе или на стороне загрудинного узла при одностороннем увеличении ЩЖ [16, 17].

Помимо дыхательных путей, значительное увеличение железы может вызвать компрессию пищевода, который располагается позади трахеи. Давление на его стенку приводит к ощущению инородного тела, дисфагии и дискомфорту при глотании [18,

19]. Возможно также сдавление крупных сосудов средостения с развитием синдрома верхней полой вены [20–22]. В диагностике может помочь симптом Пембертона: при вертикальном подъеме рук на 2–3 минуты происходит сужение верхней грудной апертуры и увеличивается давление зоба на сосуды. Реакция является положительной, если у пациента наблюдается расширение шейных вен, лицо окрашивается в синюшно-багровый цвет [21, 23]. В литературе также описана вероятность развития

легочной гипертензии, сердечной недостаточности и нарушения сердечного ритма при больших размерах ШЗЗ [24].

В ответ на постепенное развитие механической обструкции дыхательных путей в организме формируются компенсаторные реакции. На начальных стадиях наблюдается усиление работы дыхательной мускулатуры и увеличение глубины и частоты дыхания, что позволяет поддерживать адекватный газообмен. По мере прогрессирования компрессии формируется хроническая дыхательная недостаточность (ДН) [5, 25]. Со временем компенсаторные механизмы истощаются, что проявляется выраженной одышкой даже в покое, цианозом губ, головокружением, приступообразным кашлем и признаками гипоксического поражения органов [12, 15].

В отечественной и зарубежной литературе отсутствуют валидные классификации компрессионных стенозов трахеи. Существующие классификации преимущественно относятся к рубцовым стриктурам. Ключевыми критериями стадирования выступают величина (в процентах) сужения просвета трахеи и протяженность пораженного участка. Большинство работ по ШЗЗ, осложненному компрессионным синдромом, опираются именно на них. Основные различия между классификациями заключаются в выборе границ между стадиями [26], что наглядно иллюстрируется на примере двух следующих вариантов (табл. 3).

В англоязычной литературе для оценки стенозов трахеи широко используют классификацию Майера–Коттона [27]:

- I степень — обструкция 0–50% просвета;
- II степень — обструкция 51–70% просвета;
- III степень — обструкция 71–99% просвета;
- IV степень — просвет полностью отсутствует (100% обструкция).

Для оценки степени компрессионного сужения трахеи применяют различные инструментальные методики. Основными из них являются УЗИ, рентген, МСКТ и спирометрия.

Ультразвуковое исследование не является методом выбора для прямой оценки трахеальной компрессии, однако играет важную вспомогательную роль. Оно позволяет оценить объем тиреоидной ткани и наличие ее узловых трансформаций. Н. Ziaї и соавт. (2018) выявили корреляцию между объемом ЩЖ и наличием компрессии трахеи. Общий объем ЩЖ $\geq 37,8$ см³ показал чувствительность 89% и специфичность 87% для обнаружения трахеального сужения по данным МСКТ [28]. УЗИ также используют для прогнозирования трудной интубации. В пилотном исследовании M.F. Maria и соавт.

(2024) оценивали ультразвуковые параметры (расстояние от кожи до трахеи и от трахеи до сонной артерии) у пациентов с компрессионным зобом и трахеальной девиацией [29]. Основной проблемой УЗИ является сложность визуализации и определения объема ретростерального компонента.

МСКТ в настоящее время считают основным методом диагностики ШЗЗ и оценки степени компрессии трахеи. Это объясняется высокой пространственной разрешающей способностью метода, возможностью получения тонких срезов и построения трехмерных реконструкций органов шеи и верхнего средостения [30]. При шейно-загрудинных формах зоба значительная часть ткани ЩЖ располагается за грудиной, где она может прилегать к дуге аорты, плечеголовным сосудам и трахее. Главное преимущество МСКТ заключается в ее высокой информативности при визуализации ретростеральной области, недоступной для большинства других неинвазивных методов [31]. Согласно данным систематического обзора и мета-анализа M.H. Cheung и соавт. (2026), включавшего 102 исследования и 15 719 пациентов, отклонение трахеи при МСКТ у больных загрудинным зобом выявляют в 60,6% случаев (95% ДИ 52,5–68,5), а непосредственную компрессию — в 48,6% случаев (95% ДИ 37,6–59,6) [32].

При МСКТ превосходно визуализируются конфигурация и протяженность компримированного участка, что имеет ключевое прогностическое значение. Степень сужения трахеи при стенозе может быть количественно выражена через отношение диаметра суженного участка к диаметру интактного, умноженное на 100%. Однако основная проблема данного подхода заключается в том, что внешнее компрессионное воздействие формирует стеноз неправильной формы. В связи с этим целесообразно использовать оценку площадей: отношение просвета на уровне максимального стеноза к просвету интактного участка, что позволяет нивелировать погрешности, обусловленные искажением геометрии трахеи. М. Binar и соавт. (2019) в ретроспективном анализе 163 компьютерных томограмм головы и шеи выявили значимую корреляцию между объемом ЩЖ и степенью трахеальной компрессии ($p < 0,001$). Пороговые значения объема тиреоидной ткани для сужения на 10, 20, 30 и 40% составили 19,75, 21,56, 24,54 и 30,29 мл соответственно [13].

МСКТ играет решающую роль на этапе предоперационного планирования. В клинической практике описан феномен трахеи в форме «полумесяца» (рис. 2) — радиологический признак субклинической трахеальной компрессии у пациентов с пальпируемым зобом, описанный J. Torpı и соавт. (2019).



Рис. 2. Компьютерная томограмма шеи у пациента с шейно-загрудинным зобом в аксиальной проекции. Симптом «полумесяца» (указан стрелкой) (фото авторов)

Fig. 2. Computed tomography scan of the neck in a patient with cervicomedisternal goiter in the axial plane. The crescent sign (indicated by arrow) (photo by the authors)



Рис. 3. Компьютерная томограмма шеи у пациента с шейно-загрудинным зобом в аксиальной проекции. Щелевидная деформация трахеи (указана стрелкой) (фото авторов)

Fig. 3. Computed tomography of the neck in a patient with cervicomedisternal goiter in the axial plane. Slit-like deformation of the trachea (indicated by arrow) (photo by the authors)

Его выявление рассматривают как относительное показание к операции [33]. Критические стенозы трахеи (рис. 3) с поперечными размерами ее просвета в сдавленной ее части в пределах 1–3 мм требуют неотложной госпитализации пациентов для хирургического лечения в связи с риском острой асфиксии. Ретростернальное расположение зоба нередко сопряжено с близостью к крупным сосудам, трахее, пищеводу и нервным стволам. По данным современных хирургических исследований, именно топографические взаимоотношения между зобом и окружающими структурами определяют необходимость расширенного доступа — стернотомии или торакотомии. С помощью МСКТ можно заранее оценить риск повреждения сосудистых

структур, определить направление смещения трахеи, протяженность и плотность образования [10, 34, 35]. Контрастное усиление дополнительно позволяет различить сосуды средостения и узлы зоба, что важно для профилактики интраоперационных кровотечений. Данные по локализации, конфигурации и протяженности стеноза, по степени девиации трахеи критически важны для планирования анестезиологического пособия, так как влияют на технику интубации и выбор размеров интубационной трубки, позволяют прогнозировать ситуации, требующие подключения эндоскопического пособия.

Основной проблемой клинической интерпретации данных МСКТ при компрессионных стенозах трахеи является связь геометрических параметров зоны сужения со степенью выраженности дыхательной недостаточности у конкретного пациента. Правила современной доказательной медицины диктуют необходимость индивидуального подхода. Прогноз и срочность лечебных мероприятий основываются не только на абсолютных размерах суженного участка, но и на степени компенсации дыхательной функции, характере патологического процесса и динамике увеличения объема ЩЖ, наличии сопутствующей кардиопульмональной патологии. Важную роль в оценке нарушения функции внешнего дыхания при компрессии дыхательных путей играет неинвазивный метод измерения воздушных потоков — спирография.

Спирографию используют для разграничения респираторной патологии при подозрении на внешнюю обструкцию трахеи. При наличии симптомов или рентгенологических данных компрессии трахеи проводят спирографию с анализом формы кривых и показателей обратимости. Для дифференциальной диагностики внегрудной обструкции выполняют спокойные и форсированные маневры: рассчитывают отношение пиковых и средних инспираторных/экспираторных потоков. Их значительное изменение указывает на экстраторакальную обструкцию. Наличие плато на инспираторной части петли «поток–объем» также характерно для стеноза трахеи.

ЩЗЗ компримирует трахею у значительной части пациентов, приводя к нарастающей обструкции верхних дыхательных путей, которая длительно может оставаться нераспознанной [4]. Для выявления обструкции авторы рекомендуют петлю «поток–объем» с акцентом на инспираторный компонент. Наиболее чувствительным спирографическим тестом для ранней диагностики трахеальной компрессии является визуальный анализ петли «поток–объем». Согласно проспективному исследованию G. Özgül и соавт. (2020), петля «поток–объем» соответствовала обструкции верхних дыхательных

путей в 85,7% при сужении просвета трахеи менее чем на 50%. При уменьшении площади просвета более чем на 50% изменение формы кривой «поток–объем» выявляли в 100% случаев ($p=0,0001$) [36]. L. Ennu и соавт. (2023) показали, что отклонение спирометрических показателей может быть обнаружено даже у бессимптомных пациентов с зобом. Через три месяца после тиреоидэктомии наблюдается значимое улучшение $ОФВ_1$, пиковая объемная скорость выдоха (ПОС), соотношения $ОФВ_1/ОФВ_{0,5}$ и мгновенная объемная скорость выдоха $_{50\%}$ ($МОС_{50\%}$) / мгновенная объемная скорость вдоха $_{50\%}$ ($МОСвд_{50\%}$) ($p < 0,05$). Соотношение $МВЛ/ОФВ_1$ (максимальная вентиляция легких к объему форсированного выдоха за 1-ю секунду) показало статистически значимую корреляцию с массой ЩЖ, что делает его чувствительным индексом для раннего выявления нарушений [37].

При стенозе или компрессии на спирограмме проявляются особенности фиксированной или вариабельной обструкции. При фиксированном стенозе крупных дыхательных путей, таких как рубцовый стеноз трахеи, на кривых «поток–объем» и «объем–время» регистрируется плато как на вдохе, так и на выдохе. Максимум потока снижается, и на обоих участках фазы дыхания создается характерное плато. При вариабельном стенозе у больных

с преобладанием шейного компонента зоба выраженность обструкции усиливается во время вдоха (рис. 4). На кривой «поток–объем» наблюдается характерное усечение на вдохе и относительное сохранение экспираторной части, так как давление внутри грудной клетки при форсированном выдохе компенсирует влияние сужения. При этом снижается пиковая скорость экспираторного потока, а на инспираторной части петли возникает плато [38, 39]. Большие внутригрудные зобы способны создавать дополнительное препятствие на выдохе (вариабельная внутригрудная обструкция) из-за нарастания компрессии трахеи патологической тканью, вклинивающейся в верхнюю грудную апертуру. Это приводит к уплощению экспираторной части кривой «поток–объем».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ научных публикаций, посвященных компрессионным стенозам трахеи и методам их диагностики у больных ШЗЗ, позволяет констатировать устойчивый рост интереса к данной проблеме в современной медицинской науке. Это связано с высокой распространенностью узловых форм зоба среди населения и нередкой клинической недооценкой тяжести компрессионного синдрома, который длительное время может протекать субклинически. В арсенале современных диагностических средств присутствуют как визуализирующие, так и функциональные методы, однако их комплексное применение остается недостаточно регламентированным. Важным является понимание изменений воздушного потока, к которым приводит прогрессирующая компрессия трахеи. Это позволяет выявлять патологию на этапе, предшествующем возникновению тяжелых клинических проявлений, когда функциональные нарушения еще не стали очевидными при общем клиническом осмотре. Объединение информации об изменениях воздушного потока с данными лучевой и функциональной диагностики создает основу для раннего обнаружения компрессионных стенозов трахеи и маршрутизации пациентов ШЗЗ. При этом МСКТ обеспечивает точную визуализацию анатомии стеноза и планирование доступа, а спирометрия с анализом петли «поток–объем» позволяет оценить функциональную значимость сужения на догоспитальном этапе.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение ис-

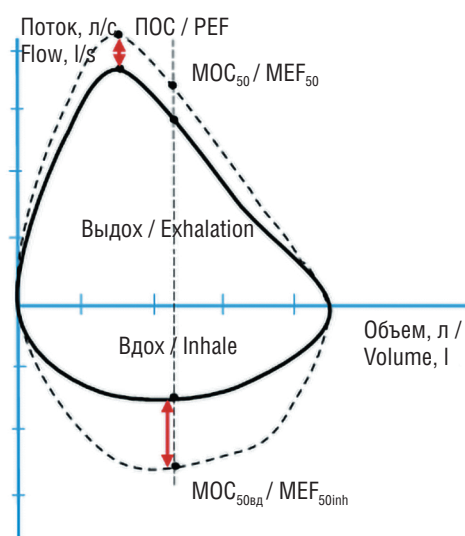


Рис. 4. Вид кривой «поток–объем» у пациентов с компрессией трахеи зобом (сплошная линия) на фоне нормальной (пунктирная линия). ПОС — пиковая объемная скорость выдоха; МОС — мгновенная объемная скорость выдоха (рисунок авторов)
Fig. 4. Flow-volume curve in patients with tracheal compression by goiter (solid line) compared to normal trachea (dashed line). PEF — peak expiratory flow; MEF — maximal expiratory flow (drawing by the authors)

следования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

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

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

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Гостимский А.В., Карпатский И.В., Матвеева З.С., Шудаев И.Р., Селиханов Б.А. Диагностика и выбор хирургической тактики при шейно-загрудинном зобе. *Таврический медико-биологический вестник*. 2020;23(2):52–58. <https://doi.org/10.37279/2070-8092-2020-23-2-52-58>.
2. Карпатский И.В., Матвеева З.С., Шудаев И.Р., Акинчев А.Л. Роль современных методов диагностики в определении хирургической тактики у больных шейно-загрудинным зобом. *Детская медицина Северо-Запада*. 2023;11(2):103–112. <https://doi.org/10.56871/CmN-W.2023.43.38.011>.
3. Михайличенко В.Ю., Каракурсаков Н.Э., Безруков О.Ф., Керимов Э.Я., Самарин С.А. Компрессионный синдром при патологии щитовидной железы. *Таврический медико-биологический вестник*. 2020;23(2):143–147. <https://doi.org/10.37279/2070-8092-2020-23-2-143-147>.
4. Sorensen J.R., Lauridsen J.F., Døssing H., Nguyen N., Hegedüs L., Bonnema S.J., Godballe C. Thyroidectomy Improves Tracheal Anatomy and Airflow in Patients with Nodular Goiter: A Prospective Cohort Study. *Eur Thyroid J*. 2017;6(6):307–314. <https://doi.org/10.1159/000480348>.
5. Ket S., Ozbudak O., Ozdemir T., Dertsiz L. Acute respiratory failure and tracheal obstruction in patients with posterior giant mediastinal (intrathoracic) goiter. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2004;3(1):174–175. [https://doi.org/10.1016/S1569-9293\(03\)00270-6](https://doi.org/10.1016/S1569-9293(03)00270-6).
6. Пастернак И.А., Казачков Е.Л., Пастернак А.Е. Классификационные и диагностические аспекты патологии щитовидной железы на современном этапе (обзор литературы). *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2020;(1):108–115. <https://doi.org/10.31549/2542-1174-2020-1-108-115>.
7. Дедов И.И., Мельниченко Г.А., Фадеев В.В. Эндокринология. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Литтерра; 2015. 416 с.
8. Ильичева Е.А., Лебедева Д.В., Григорьев Е.Г. Хирургическое лечение рецидивного многоузлового шейно-загрудинного зоба. *Байкальский медицинский журнал*. 2024;3(2):39–44. <https://doi.org/10.57256/2949-0715-2024-2-39-44>.
9. Романчишен А.Ф., Вабалайте К.В., Романчишен Ф.А. Боллезни щитовидной и околощитовидных желез: эмбриология, анатомия, этиопатогенез, диагностика, лечение. СПб.: СпецЛит; 2019. 96 с.
10. Mercante G., Gabrielli E., Pedroni C., Formisano D., Bertolini L., Nicoli F. et al. CT cross-sectional imaging classification system for substernal goiter based on risk factors for an extracervical surgical approach. *Head Neck*. 2011;33(6):792–799. <https://doi.org/10.1002/hed.21539>.
11. Cvasciuc I.T., Fraser S., Lansdown M. Retrosternal goitres: a practical classification. *Acta Endocrinol (Buchar)*. 2017;13(3):261–265. <https://doi.org/10.4183/aeb.2017.261>.
12. Гостимский А.В., Романчишен А.Ф., Селиханов Б.А. Неотложные и срочные операции при заболеваниях щитовидной железы. *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2013;172(2):88–91. EDN: PZACXT.
13. Binar M., Serindere M., Bozlar U., Karahatay S., Demirkapi S., Aydin U. et al. Determining the thyroid gland volume causing tracheal compression: a semiautomated 3D CT volumetry study. *Medicina (Kaunas)*. 2019;55(5):143. <https://doi.org/10.3390/medicina55050143>.
14. Zhang H., Yu J., Chen C., Cao L., Ma P., Jia L., Zhang N., Zhao T. Anesthetic management of giant thyroid tumor with cardiac comorbidity causing tracheal compression: a case report. *J Med Case Rep*. 2025;19(1):650. <https://doi.org/10.1186/s13256-025-05707-z>.
15. Cook T.M., Morgan P.J., Hersch P.E. Equal and opposite expert opinion. Airway obstruction caused by a retrosternal thyroid mass: management and prospective international expert opinion. *Anaesthesia*. 2011;66(9):828–836. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2011.06650.x>.
16. Stang M.T., Armstrong M.J., Ogilvie J.B., Yip L., McCoy K.L., Faber C.N. et al. Positional dyspnea and tracheal compression as indications for goiter resection. *Arch Surg*. 2012;147(7):621–626. <https://doi.org/10.1001/archsurg.2012.96>.
17. Mahajan S., Sekar L., Kumar S. Airway management in a patient with retrosternal goiter: a context-sensitive airway management strategy. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2022;74(Suppl 2):2214–2216. <https://doi.org/10.1007/s12070-020-02083-6>.
18. Sorensen J.R., Bonnema S.J., Godballe C., Hegedüs L. The impact of goiter and thyroid surgery on goiter related esophageal dysfunction. A systematic review. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2018;9:679. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00679>.
19. Alfonso A., Christoudias G., Amaruddin Q., Herbsman H., Gardner B. Tracheal or esophageal compression due to benign thyroid disease. *Am J Surg*. 1981;142(3):350–354. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(81\)90346-9](https://doi.org/10.1016/0002-9610(81)90346-9).

20. Михайличенко В.Ю., Каракурсаков Н.Э., Шестопалов Д.В., Старых А.А. Случай шейно-загрудинного зоба с компрессией верхней полой вены. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016;(1-3):352–354. EDN: VMBOKB.
21. Пиксин И.Н., Давыдкин В.И., Вилков А.В., Голубев А.Г., Пряников И.Р. Стратификация тяжести компрессионного синдрома у больных зобом. *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2017;11(3):158–163. https://doi.org/10.12737/article_59c4b67323d567.03252720.
22. Huins C.T., Georgalas C., Mehrzad H., Tolley N.S. A new classification system for retrosternal goitre based on a systematic review of its complications and management. *Int J Surg*. 2008;6(1):71–76. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2007.02.003>.
23. Jukić T., Kusić Z. Image in endocrinology. Pemberton's sign in patient with substernal goiter. *J Clin Endocrinol Metab*. 2010;95(9):4175. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-0944>.
24. Aghajanzadeh M., Asgary M.R., Mohammadi F., Darvishi H., Safarpour Y. An investigation into symptoms, diagnosis, treatment, and treatment complications in patients with retrosternal goiter. *J Family Med Prim Care*. 2018;7(1):224–229. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_286_17.
25. Koulouris C., Paraschou A., Manaki V., Mantalovas S., Spiridou K., Spiridou A. et al. Cardiopulmonary arrest caused by large substernal goiter-treatment with combined cervical approach and median mini-sternotomy: report of a case. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57(4):303. <https://doi.org/10.3390/medicina57040303>.
26. Паршин В.Д. О классификации рубцового стеноза трахеи. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2020;(10):5–10. <https://doi.org/10.17116/hirurgia20201015>. EDN: JUYTLX.
27. Myer C.M. III, O'Connor D.M., Cotton R.T. Proposed grading system for subglottic stenosis based on endotracheal tube sizes. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1994;103(4):319–323. <https://doi.org/10.1177/000348949410300410>.
28. Ziai H., Lebo N.L., Kielar A.Z., Odell M.J. Can thyroid ultrasonography predict substernal extension or tracheal compression in goiters? *Can Assoc Radiol J*. 2018;69(4):422–429. <https://doi.org/10.1016/j.carj.2018.07.007>.
29. Mongardini F.M., Vanella S., Iuorio A., Torretta G., Storti A., Docimo G. et al. Ultrasound predictive parameters of difficult airway in thyroid surgery: a pilot study. *Updates Surg*. 2024;76(5):1963–1968. <https://doi.org/10.1007/s13304-024-01908-1>.
30. Дедов И.И., Бухман А.И., Путина Т.В., Серпуховитин С.Ю. Компьютерно-томографическая диагностика загрудинного зоба. *Проблемы эндокринологии*. 1994;40(5):26–28.
31. Магомедов М.М., Османов О.М. Хирургическое лечение загрудинного зоба. *Московский хирургический журнал*. 2021;(1):54–58. <https://doi.org/10.17238/issn2072-3180.2021.1.54-58>.
32. Cheung M.H., Walker A.M., Nguyen S.A., Butehorn H., Albergotti W.G. Surgical management of substernal goiters: a systematic review and meta-analysis. *Laryngoscope*. 2026;136(2):575–585. <https://doi.org/10.1002/lary.70087>.
33. Toppi J., Tham Y.S., Kleid S. The crescent trachea: a new radiological sign of subclinical tracheal compression in patients with large goitres. *World Fam Med*. 2019;17(5):28–34. <https://doi.org/10.5742/MEWFM.2019.93643>.
34. Riffat F., Del Pero M.M., Fish B., Jani P. Radiologically predicting when a sternotomy may be required in the management of retrosternal goiters. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2013;122(1):15–19. <https://doi.org/10.1177/000348941312200104>.
35. Ben Nun A., Soudack M., Best L.A. Retrosternal thyroid goiter: 15 years experience. *Isr Med Assoc J*. 2006;8(2):106–109.
36. Özgül G., Yavuz E. Pulmonary function test and thoracic computed tomography in the evaluation of dyspnea in patients with goiter. *Bagcilar Med Bull*. 2020;5(4):204–209. <https://doi.org/10.4274/BMB.galenos.2020.07.030>.
37. Enny L., Garg S., Mouli S., Manjunath S., Singh K.R., Ramakant P., Mishra A.K. Effect of thyroidectomy on tracheal remodeling and airway physiology in apparently asymptomatic patients with goiter: a prospective study. *World J Surg*. 2023;47(12):3222–3228. <https://doi.org/10.1007/s00268-023-07192-1>.
38. Lunn W.W., Sheller J.R. Flow volume loops in the evaluation of upper airway obstruction. *Otolaryngol Clin North Am*. 1995;28(4):721–729.
39. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V., Crapo R.O., Burgos F., Casaburi R. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J*. 2005;26(5):948–968. <https://doi.org/10.1183/09031936.05.00035205>.

REFERENCES

1. Gostimsky A.V., Karpatsky I.V., Matveeva Z.S., Shudaev I.R., Selikhanov B.A. Diagnosis and choice of surgical tactics in cervicomedial goiter. *Tavrisheskiy Mediko-Biologicheskii Vestnik*. 2020;23(2):52–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.37279/2070-8092-2020-23-2-52-58>.
2. Karpatsky I.V., Matveeva Z.S., Shudaev I.R., Akinchev A.L. The role of modern diagnostic methods in determining surgical tactics in patients with cervicomedial goiter. *Children's Medicine of the North-West*. 2023;11(2):103–112. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/CmN-W.2023.43.38.011>.
3. Mikhailichenko V.Yu., Karakursakov N.E., Bezrukov O.F., Kerimov E.Ya., Samarin S.A. Compression syndrome in thyroid pathology. *Tavrisheskiy Mediko-Biologicheskii Vestnik*. 2020;23(2):143–147. (In Russ.). <https://doi.org/10.37279/2070-8092-2020-23-2-143-147>.
4. Sorensen J.R., Lauridsen J.F., Døssing H., Nguyen N., Hegedüs L., Bonnema S.J., Godballe C. Thyroidectomy Improves Tracheal Anatomy and Airflow in Patients with Nodular Goiter: A Prospective Cohort Study. *Eur Thyroid J*. 2017;6(6):307–314. <https://doi.org/10.1159/000480348>.
5. Ket S., Ozbudak O., Ozdemir T., Dertsiz L. Acute respiratory failure and tracheal obstruction in patients with posterior

- giant mediastinal (intrathoracic) goiter. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2004;3(1):174–175. [https://doi.org/10.1016/S1569-9293\(03\)00270-6](https://doi.org/10.1016/S1569-9293(03)00270-6).
6. Pasternak I.A., Kazachkov E.L., Pasternak A.E. Classification and diagnostic aspects of thyroid pathology at the present stage (literature review). *Journal of Siberian Medical Sciences.* 2020;(1):108–115. (In Russ.). <https://doi.org/10.31549/2542-1174-2020-1-108-115>.
 7. Dedov I.I., Melnichenko G.A., Fadeev V.V. *Endocrinology.* 3rd ed., revised and updated. Moscow: Littera; 2015. 416 p. (In Russ.).
 8. Ilyicheva E.A., Lebedeva D.V., Grigoriev E.G. Surgical treatment of recurrent multinodular cervicomedial goiter. *Baikal Medical Journal.* 2024;3(2):39–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.57256/2949-0715-2024-2-39-44>.
 9. Romanchishen A.F., Vabalayte K.V., Romanchishen F.A. *Diseases of the thyroid and parathyroid glands: embryology, anatomy, etiopathogenesis, diagnosis, treatment.* Saint Petersburg: SpetsLit; 2019. 96 p. (In Russ.).
 10. Mercante G., Gabrielli E., Pedroni C., Formisano D., Bertolini L., Nicoli F. et al. CT cross-sectional imaging classification system for substernal goiter based on risk factors for an extracervical surgical approach. *Head Neck.* 2011;33(6):792–799. <https://doi.org/10.1002/hed.21539>.
 11. Cvasciuc I.T., Fraser S., Lansdown M. Retrosternal goitres: a practical classification. *Acta Endocrinol (Buchar).* 2017;13(3):261–265. <https://doi.org/10.4183/aeb.2017.261>.
 12. Gostimsky A.V., Romanchishen A.F., Selikhanov B.A. Emergency and urgent operations in thyroid diseases. *Grekov's Bulletin of Surgery.* 2013;172(2):88–91. (In Russ.). EDN: PZACXT.
 13. Binar M., Serindere M., Bozlar U., Karahatay S., Demirkapi S., Aydin U. et al. Determining the thyroid gland volume causing tracheal compression: a semiautomated 3D CT volumetry study. *Medicina (Kaunas).* 2019;55(5):143. <https://doi.org/10.3390/medicina55050143>.
 14. Zhang H., Yu J., Chen C., Cao L., Ma P., Jia L., Zhang N., Zhao T. Anesthetic management of giant thyroid tumor with cardiac comorbidity causing tracheal compression: a case report. *J Med Case Rep.* 2025;19(1):650. <https://doi.org/10.1186/s13256-025-05707-z>.
 15. Cook T.M., Morgan P.J., Hersch P.E. Equal and opposite expert opinion. Airway obstruction caused by a retrosternal thyroid mass: management and prospective international expert opinion. *Anaesthesia.* 2011;66(9):828–836. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2011.06650.x>.
 16. Stang M.T., Armstrong M.J., Ogilvie J.B., Yip L., McCoy K.L., Faber C.N. et al. Positional dyspnea and tracheal compression as indications for goiter resection. *Arch Surg.* 2012;147(7):621–626. <https://doi.org/10.1001/archsurg.2012.96>.
 17. Mahajan S., Sekar L., Kumar S. Airway management in a patient with retrosternal goiter: a context-sensitive airway management strategy. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2022;74(Suppl 2):2214–2216. <https://doi.org/10.1007/s12070-020-02083-6>.
 18. Sorensen J.R., Bonnema S.J., Godballe C., Hegedüs L. The impact of goiter and thyroid surgery on goiter related esophageal dysfunction. A systematic review. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2018;9:679. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00679>.
 19. Alfonso A., Christoudias G., Amaruddin Q., Herbsman H., Gardner B. Tracheal or esophageal compression due to benign thyroid disease. *Am J Surg.* 1981;142(3):350–354. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(81\)90346-9](https://doi.org/10.1016/0002-9610(81)90346-9).
 20. Mikhailichenko V.Yu., Karakursakov N.E., Shestopalov D.V., Starykh A.A. A case of cervicomedial goiter with compression of the superior vena cava. *Mezhdunarodnyy Zhurnal Prikladnykh I Fundamental'nykh Issledovaniy.* 2016; (1-3):352–354. (In Russ.). EDN: VMBOKB.
 21. Piksin I.N., Davydkin V.I., Vilkov A.V., Golubev A.G., Prynkov I.R. Stratification of the severity of compression syndrome in patients with goiter. *Journal of new medical technologies.* 2017;11(3):158–163. (In Russ.). https://doi.org/10.12737/article_59c4b67323d567.03252720.
 22. Huins C.T., Georgalas C., Mehrzad H., Tolley N.S. A new classification system for retrosternal goitre based on a systematic review of its complications and management. *Int J Surg.* 2008;6(1):71–76. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2007.02.003>.
 23. Jukić T., Kusić Z. Image in endocrinology. Pemberton's sign in patient with substernal goiter. *J Clin Endocrinol Metab.* 2010;95(9):4175. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-0944>.
 24. Aghajanzadeh M., Asgary M.R., Mohammadi F., Darvishi H., Safarpour Y. An investigation into symptoms, diagnosis, treatment, and treatment complications in patients with retrosternal goiter. *J Family Med Prim Care.* 2018;7(1):224–229. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_286_17.
 25. Koulouris C., Paraschou A., Manaki V., Mantalovas S., Spiridou K., Spiridou A. et al. Cardiopulmonary arrest caused by large substernal goiter-treatment with combined cervical approach and median mini-sternotomy: report of a case. *Medicina (Kaunas).* 2021;57(4):303. <https://doi.org/10.3390/medicina57040303>.
 26. Parshin V.D. On the classification of cicatricial tracheal stenosis. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2020;(10):5–10. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia20201015>. EDN: JUYTLX.
 27. Myer C.M. III, O'Connor D.M., Cotton R.T. Proposed grading system for subglottic stenosis based on endotracheal tube sizes. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1994;103(4):319–323. <https://doi.org/10.1177/000348949410300410>.
 28. Ziai H., Lebo N.L., Kielar A.Z., Odell M.J. Can thyroid ultrasonography predict substernal extension or tracheal compression in goiters? *Can Assoc Radiol J.* 2018;69(4):422–429. <https://doi.org/10.1016/j.carj.2018.07.007>.
 29. Mongardini F.M., Vanella S., Iuorio A., Torretta G., Storti A., Docimo G. et al. Ultrasound predictive parameters of difficult airway in thyroid surgery: a pilot study. *Updates Surg.* 2024;76(5):1963–1968. <https://doi.org/10.1007/s13304-024-01908-1>.

30. Dedov I.I., Bukhman A.I., Putina T.V., Serpukhovitin S.Yu. Computer tomographic diagnosis of substernal goiter. *Problems of Endocrinology*. 1994;40(5):26–28. (In Russ.).
31. Magomedov M.M., Osmanov O.M. Surgical treatment of substernal goiter. *Moscow Surgical Journal*. 2021;(1):54–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn2072-3180.2021.1.54-58>.
32. Cheung M.H., Walker A.M., Nguyen S.A., Butehorn H., Albergotti W.G. Surgical management of substernal goiters: a systematic review and meta-analysis. *Laryngoscope*. 2026;136(2):575–585. <https://doi.org/10.1002/lary.70087>.
33. Toppi J., Tham Y.S., Kleid S. The crescent trachea: a new radiological sign of subclinical tracheal compression in patients with large goitres. *World Fam Med*. 2019;17(5):28–34. <https://doi.org/10.5742/MEWFM.2019.93643>.
34. Riffat F., Del Pero M.M., Fish B., Jani P. Radiologically predicting when a sternotomy may be required in the management of retrosternal goiters. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2013;122(1):15–19. <https://doi.org/10.1177/000348941312200104>.
35. Ben Nun A., Soudack M., Best L.A. Retrosternal thyroid goiter: 15 years experience. *Isr Med Assoc J*. 2006;8(2):106–109.
36. Özgül G., Yavuz E. Pulmonary function test and thoracic computed tomography in the evaluation of dyspnea in patients with goiter. *Bagcilar Med Bull*. 2020;5(4):204–209. <https://doi.org/10.4274/BMB.galenos.2020.07.030>.
37. Enny L., Garg S., Mouli S., Manjunath S., Singh K.R., Ramakant P., Mishra A.K. Effect of thyroidectomy on tracheal remodeling and airway physiology in apparently asymptomatic patients with goiter: a prospective study. *World J Surg*. 2023;47(12):3222–3228. <https://doi.org/10.1007/s00268-023-07192-1>.
38. Lunn W.W., Sheller J.R. Flow volume loops in the evaluation of upper airway obstruction. *Otolaryngol Clin North Am*. 1995;28(4):721–729.
39. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V., Crapo R.O., Burgos F., Casaburi R. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J*. 2005;26(5):948–968. <https://doi.org/10.1183/09031936.05.00035205>.

ОБ АВТОРАХ

✉ **Игорь Владимирович Карпатский** — к.м.н., доцент кафедры госпитальной хирургии. E-mail: ikar122@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0047-6327>; SPIN: 1889-5852

Екатерина Олеговна Жучкина — студент 6-го курса. E-mail: katia.ju4kina@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0003-9302-8909>; SPIN: 9797-2505

Олег Игоревич Карпатский — лаборант, кафедра госпитальной хирургии. E-mail: olegkarp@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-0081-525X>

AUTHORS' INFO

✉ **Igor V. Karpatsky** — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor at the Department of Hospital Surgery. E-mail: ikar122@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0047-6327>; SPIN: 1889-5852

Ekaterina O. Zhuchkina — 6th-year student. E-mail: katia.ju4kina@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0003-9302-8909>; SPIN: 9797-2505

Oleg I. Karpatsky — Laboratory Assistant, Department of Hospital Surgery. E-mail: olegkarp@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-0081-525X>

УДК 681.723.28+535.55
<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.24.98.003>

Поляризационная микроскопия в медико-биологических исследованиях

Татьяна Юрьевна Яковлева¹, Александр Викторович Бармасов^{1,2}, Анна Михайловна Бармасова¹,
Татьяна Сергеевна Демьянова¹, Анастасия Андреевна Зуйкова¹, Ангелина Владимировна Семёнова¹

¹ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9, Российская Федерация

Для цитирования: Яковлева Т.Ю., Бармасов А.В., Бармасова А.М., Демьянова Т.С., Зуйкова А.А., Семёнова А.В.

Поляризационная микроскопия в медико-биологических исследованиях. *Визуализация в медицине*. 2026;8(2):29–40.
<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.24.98.003>.

Поступила: 24.04.2026

Одобрена: 14.07.2026

Принята к печати: 10.08.2026

Резюме. Поляризационная микроскопия представляет собой высокоинформативный метод оптического анализа, предназначенный для визуализации структур биологических тканей и жидкостей, характеризующихся молекулярной упорядоченностью и оптической анизотропией. В отличие от классической световой микроскопии, регистрирующей преимущественно изменения интенсивности и спектрального состава проходящего света, поляризационная микроскопия позволяет выявлять изменения состояния поляризации световой волны при ее взаимодействии с исследуемым объектом. В статье рассмотрены физические основы двойного лучепреломления, устройство и принцип работы поляризационного микроскопа, применение компенсаторов, а также условия корректной интерпретации получаемых изображений. Обобщены основные направления использования метода в клинической и экспериментальной медицине: выявление амилоидных отложений в тканях после окрашивания Конго красным, оценка организации коллагенового матрикса, дифференциальная диагностика кристаллических артропатий по характеристикам кристаллов в синовиальной жидкости, исследование мышечной ткани и кристаллооптических картин высушенной сыворотки крови. Подчеркнуты ограничения метода, связанные с подготовкой проб, толщиной и ориентацией образца, настройкой оптической системы, возможностью появления двулучепреломляющих артефактов и зависимостью результатов от опыта исследователя. Рассмотрены современные направления развития поляризационной микроскопии, включая количественную поляризиметрию, LC-PolScore, полихроматическую поляризационную микроскопию, интеграцию с Рамановской спектроскопией, мультимодальной визуализацией и алгоритмами машинного обучения. Эти подходы расширяют возможности объективной количественной оценки оптически анизотропных структур и совершенствования диагностических протоколов.

Ключевые слова: поляризационная микроскопия, двойное лучепреломление, оптическая анизотропия, амилоидоз, коллаген, кристаллические артриты, компенсатор, синовиальная жидкость, количественная поляризиметрия

✉ Анна Михайловна Бармасова. E-mail: abarmasova@yandex.ru

© Коллектив авторов, 2026

<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.24.98.003>

Polarization microscopy in medical and biological research

Tatiana Yu. Yakovleva¹, Alexander V. Barmasov^{1,2}, Anna M. Barmasova¹, Tatiana S. Demyanova¹, Anastasia A. Zuikova¹, Angelina V. Semenova¹

¹ Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., Saint Petersburg, 194100, Russian Federation

² Saint Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya emb., Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

For citation: Yakovleva T.Yu., Barmasov A.V., Barmasova A.M., Demyanova T.S., Zuikova A.A., Semenova A.V. Polarization microscopy in medical and biological research. *Visualization in Medicine*. 2026;8(2):29–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/ViM.2026.24.98.003>.

Received: 24.04.2026

Revised: 14.07.2026

Accepted: 10.08.2026

Abstract. Polarization microscopy is a highly informative optical analysis method intended for the visualization of structures in biological tissues and fluids characterized by molecular ordering and optical anisotropy. Unlike conventional light microscopy, which primarily records changes in the intensity and spectral composition of transmitted light, polarization microscopy makes it possible to detect changes in the polarization state of the light wave resulting from its interaction with the specimen. The article discusses the physical basis of birefringence, the design and operating principles of the polarization microscope, the use of compensators, and the conditions required for correct interpretation of the resulting images. The main applications of the method in clinical and experimental medicine are summarized, including the detection of amyloid deposits in tissues after Congo red staining, assessment of collagen matrix organization, differential diagnosis of crystal arthropathies based on the characteristics of crystals in synovial fluid, examination of muscle tissue, and crystalloscopic analysis of dried blood serum. The limitations of the method related to sample preparation, specimen thickness and orientation, adjustment of the optical system, the possible presence of birefringent artifacts, and the dependence of the results on observer experience are emphasized. Current trends in the development of polarization microscopy are also considered, including quantitative polarimetry, LC-PolScope, polychromatic polarization microscopy, integration with Raman spectroscopy, multimodal imaging, and machine-learning algorithms. These approaches expand the possibilities for objective quantitative assessment of optically anisotropic structures and for improving diagnostic protocols.

Keywords: polarization microscopy, birefringence, optical anisotropy, amyloidosis, collagen, crystal arthropathies, compensator, synovial fluid, quantitative polarimetry

✉ Anna M. Barmasova. E-mail: abarmasova@yandex.ru

© 2026 by the authors

ВВЕДЕНИЕ

Оптическая микроскопия традиционно занимает центральное место среди методов медико-биологических исследований и клинической диагностики. Однако традиционные методы наблюдения в проходящем свете регистрируют преимущественно изменения интенсивности и спектрального состава светового потока, не учитывая его поляризационные характеристики. Поляризационная микроскопия восполняет этот пробел, вводя в аналитическую практику принципиально иное измерение — регистрацию состояния поляризации света после его прохождения через изучаемую среду. Данное расширение информационного поля делает поляризационную микроскопию важным инструментом для изучения биологических тканей и жидкостей, обладающих структурной анизотропией на молекулярном и надмолекулярном уровнях.

В последнее время наблюдается устойчивый рост интереса к поляризационным методам в биомедицинской оптике. Об этом свидетельствуют публикации фундаментальных обзоров и монографий, в которых систематизированы теоретические основы и методологические подходы к исследованию поляризационных свойств биологических тканей [1, 2]. Взаимодействие поляризованного света с нормальными и патологически измененными участками ткани позволяет выявить особенности ее микроструктуры, связанные с конкретными заболеваниями. Это открывает новые горизонты для неинвазивной и малоинвазивной диагностики.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА: ДВОЙНОЕ ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ И АНИЗОТРОПИЯ

С позиций волновой теории свет представляет собой поперечную электромагнитную волну. В естественном (неполяризованном) свете вектор напряженности электрического поля колеблется хаотично во всех направлениях, перпендикулярных направлению распространения луча. Линейно поляризованным называют свет, в котором вектор напряженности электрического поля колеблется в одном фиксированном направлении в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Фундаментальным физическим явлением, лежащим в основе метода, служит двойное лучепреломление — способность анизотропных сред разделять падающий луч света на два: обыкновенный (ordinary) и необыкновенный (extraordinary), распространяющиеся с различными скоростями. Данное свойство обусловлено анизотропией показателя преломления n (различием значений n_o

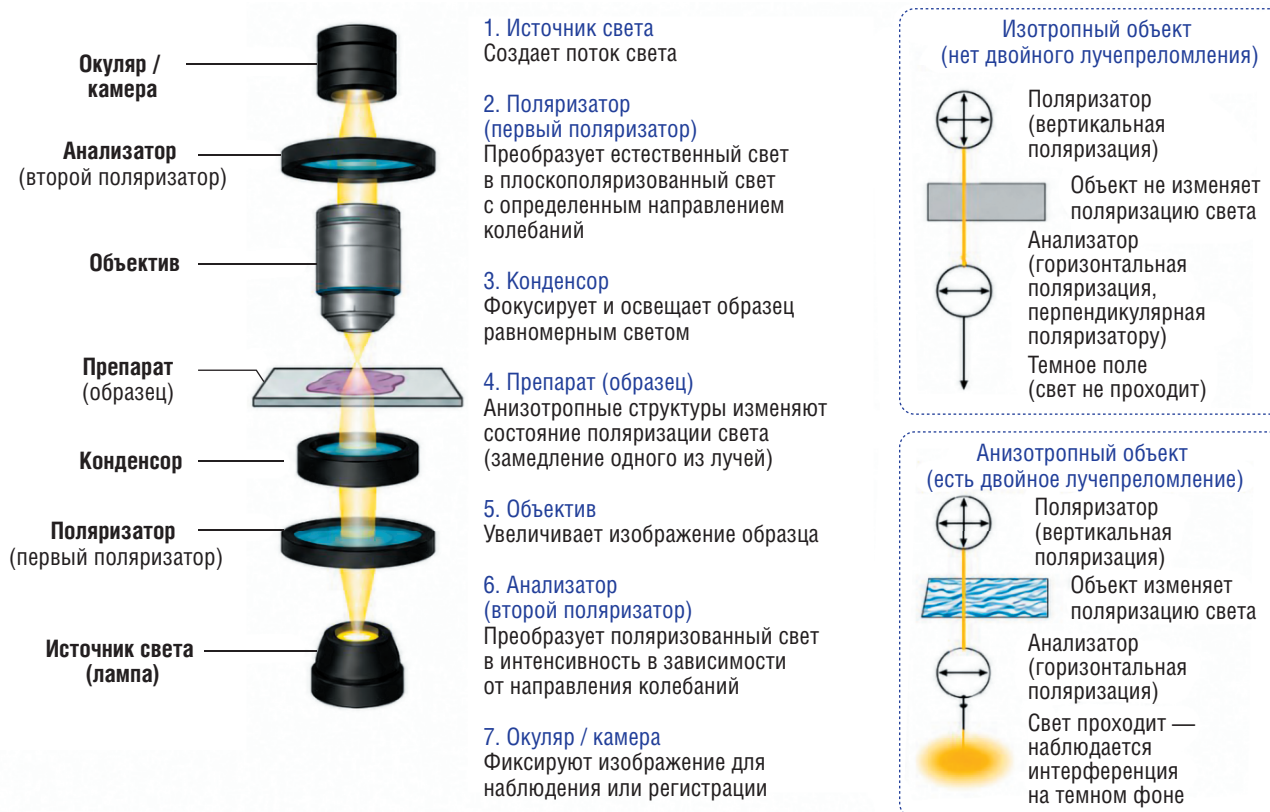
и n_e) и характерно для кристаллических веществ (за исключением кристаллов кубической сингонии), а также для биологических структур с упорядоченной молекулярной архитектурой — коллагеновых волокон, входящих в состав хрящей, сухожилий, костной ткани, роговицы и других биологических тканей, миофибрилл, амилоидных фибрилл и кристаллических депозитов.

Показатель преломления n среды, согласно законам оптики, определяется отношением скорости света в вакууме c к скорости света в данной среде v : $n = c/v$. В оптически изотропных средах эта величина постоянна для всех направлений. В анизотропных средах показатель преломления зависит от направления распространения световой волны и ориентации вектора напряженности электрического поля относительно оптических осей среды [3]. Именно это различие приводит к возникновению разности хода между обыкновенным и необыкновенным лучами, что в конечном счете проявляется интерференционной окраской при наблюдении через анализатор. Данный эффект подчиняется законам преломления света и приобретает особую значимость в контексте биологических объектов с регулярной фибриллярной структурой [4].

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО МИКРОСКОПА

Конструкция поляризационного микроскопа отличается от оптического наличием двух поляризационных фильтров (призм Николя, или поляроидов): поляризатора, помещаемого под предметным столиком (перед конденсором), и анализатора, устанавливаемого в оптическом тракте между объективом и окуляром. Предметный столик прибора выполнен вращающимся вокруг продольной оси микроскопа на 360° , что позволяет точно ориентировать образец относительно осей поляризаторов. В стандартном режиме работы («скрещенные поляризаторы») плоскости пропускания поляризатора и анализатора ориентированы взаимно перпендикулярно, вследствие чего поле зрения оказывается темным. Принципиальная схема поляризационного микроскопа составлена авторами на основе принципов, изложенных в [5], и представлена на рис. 1.

Если на предметный столик помещен оптически изотропный образец, он не изменяет плоскости поляризации света и анализатор полностью гасит луч — объект остается невидимым. Помещение анизотропного объекта приводит к повороту плоскости поляризации. В результате свет частично проходит через анализатор и объект становится видимым на темном фоне, часто демонстрируя характерные интерференционные цвета (характер интерференционной



При сохранении поляризатора (поляризация) и анализатора (анализ поляризации) анизотропные структуры изменяют фазовую задержку и амплитуду света, что приводит к интерференционным цветам.

Рис. 1. Принципиальная схема поляризационного микроскопа. Световой поток проходит через поляризатор, становится линейно поляризованным и затем взаимодействует с исследуемым образцом. Анизотропные структуры изменяют состояние поляризации света, благодаря чему часть излучения проходит через анализатор и формирует изображение на темном фоне (рисунок составлен авторами)

Fig. 1. The basic scheme of a polarization microscope. The light flux passes through the polarizer, becomes linearly polarized, and then interacts with the sample under study. Anisotropic structures change the state of light polarization, so that a part of the radiation passes through the analyzer and forms an image on a dark background (the figure was compiled by the authors)

окраски зависит от величины оптической задержки, длины волны, толщины образца и его ориентации относительно поляризатора и анализатора).

Для количественного анализа и точного определения знака двойного лучепреломления применяют компенсаторы (пластинка $\lambda/4$, кварцевый клин, компенсатор Берека), вводимые в оптический путь микроскопа. Они позволяют измерять разность хода и устанавливать оптический знак вещества (положительный или отрицательный), что принципиально важно, например, для дифференциальной диагностики типов кристаллов при артритах (рис. 2) [6].

ОГРАНИЧЕНИЯ И УСЛОВИЯ КОРРЕКТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Достоверность результатов поляризационной микроскопии зависит от качества взятия и подготовки материала, толщины препарата, ориентации исследуемых структур, настройки оптической си-

стемы, спектрального состава освещения вследствие дисперсии двойного лучепреломления, а также от опыта исследователя [7].

При анализе синовиальной жидкости аспирацию следует выполнять до внутрисуставного введения глюкокортикостероидов, поскольку кристаллы лекарственных препаратов могут имитировать патологические включения [8].

Выявление светлых или окрашенных объектов в скрещенных поляризаторах само по себе не является специфическим диагностическим признаком. Двойное лучепреломление могут демонстрировать не только патологические кристаллы и биологические структуры, но и различные экзогенные включения и артефакты, в том числе крахмальные гранулы, некоторые виды шовного материала, хлопковые и бумажные волокна [9–12]. Именно поэтому интерпретация должна учитывать морфологию и локализацию объекта, характер интерференционной окраски, изменение

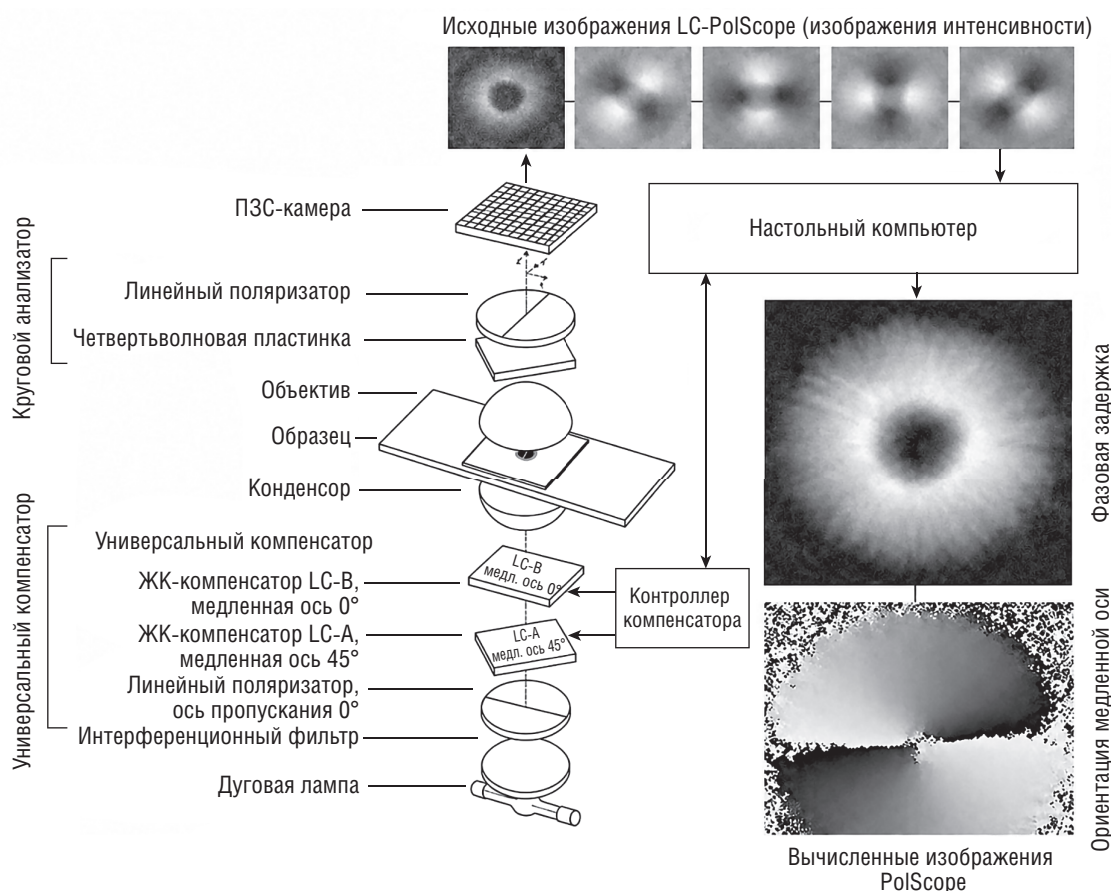


Рис. 2. Схема LC-PolScope для количественной визуализации двойного лучепреломления. Серию изображений интенсивности регистрируют при пяти заданных состояниях поляризации освещения. На основании полученных данных вычисляют пространственные карты оптической задержки и ориентации медленной оптической оси образца. Для измерений используют квазимонохроматическое излучение с ограниченной шириной спектральной полосы [6]

Fig. 2. LC-PolScope system for quantitative birefringence imaging. A series of intensity images is acquired using five predefined polarization states of illumination. The resulting data are used to calculate spatial maps of optical retardance and slow-axis orientation. Quasi-monochromatic illumination with a limited spectral bandwidth is used for the measurements [6]

оптической картины при вращении предметного столика и результаты исследования с компенсатором.

Возможности метода зависят от природы исследуемого вещества. Компенсатор необходим для дифференциации кристаллов моноурата натрия и дигидрата пирофосфата кальция [13], тогда как кристаллы основных фосфатов кальция обычно не выявляются вследствие их субмикроскопического размера и отсутствия двойного лучепреломления [14]. Интерференционные цвета амилоида и коллагена также зависят от толщины, ориентации и организации исследуемых структур и не должны интерпретироваться изолированно [15–19].

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МИКРОСКОПИИ В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Поляризационную микроскопию используют в различных областях медико-биологической диа-

гностики, однако информативность метода зависит от природы исследуемого объекта, выраженности оптической анизотропии и корректности подготовки препарата. Основные направления применения метода представлены в табл. 1.

Анализ коллагенового матрикса

Коллагеновые волокна I и III типов являются классическими примерами биологических структур, обладающих выраженным двойным лучепреломлением. Окрашивание пикросириусом красным (Picrosirius red) в сочетании с поляризационной микроскопией позволяет выявлять коллагеновые волокна и оценивать особенности их организации по характеру интерференционной окраски. Данный подход, впервые систематически описанный в работе [17], сохраняет актуальность для гистологического анализа соединительной ткани.

Таблица 1

Основные направления применения поляризационной микроскопии

Table 1

The main applications of polarization microscopy

Объект или метод / Object or method	Возможности метода / Possibilities of the method	Статус и источники / Status and sources	Основные ограничения / Main limitations
Синовиальная жидкость / Synovial fluid	Выявление кристаллов моноурата натрия и дигидрата пиррофосфата кальция; дифференциация подагры и пиррофосфатной артропатии / Detection of monosodium urate and calcium pyrophosphate dihydrate crystals; differentiation of gout and pyrophosphate arthropathy	Рутинное клиническое применение [8, 13, 14] / Routine clinical use [8, 13, 14]	Зависимость от опыта и пробоподготовки; мелкие и редкие кристаллы могут быть пропущены; основные фосфаты кальция обычно не выявляются / Dependence on experience and sample preparation; small and rare crystals may be missed; basic calcium phosphates are usually not detected
Амилоидные отложения / Amyloid deposits	Подтверждение наличия амилоида после окрашивания Конго красным / Confirmation of the presence of amyloid after Congo red staining	Рутинное гистологическое применение [15] / Routine histological application [15]	Не позволяет типировать амилоид; окраска зависит от толщины среза, ориентации фибрилл и настройки микроскопа / Does not allow typing of amyloid; the coloration depends on the thickness of the slice, the orientation of the fibrils, and microscope settings
Коллагеновый матрикс / Collagen matrix	Оценка ориентации, упорядоченности и плотности упаковки коллагеновых волокон / Evaluation of the orientation, orderliness and packing density of collagen fibers	Дополнительное диагностическое и исследовательское применение [13–15] / Additional diagnostic and research application [13–15]	Интерференционная окраска не является специфичным признаком типа или зрелости коллагена / Interference staining is not a specific indicator of collagen type or maturity
Мышечная ткань / Muscle tissue	Оценка организации миофибрилл и структурной целостности мышечных волокон / Evaluation of myofibril organization and structural integrity of muscle fibers	Исследовательское применение [20] / Research application [20]	Преимущественно экспериментальные модели; отсутствуют критерии для рутинной диагностики / Mainly experimental models; no criteria for routine diagnosis
Высушенная сыворотка крови / Dried blood serum	Анализ кристаллооптических картин, связанных с составом биологической жидкости / Analysis of crystal-optical patterns related to the composition of biological fluid	Исследовательское применение [12] / Research application [12]	Высокая зависимость от условий высушивания и пробоподготовки; недостаточная стандартизация и специфичность / High dependence on drying and sample preparation conditions; insufficient standardization and specificity
Количественные и мультимодальные методы / Quantitative and multimodal methods	Карты оптической задержки и ориентации структур; автоматизированный и химический анализ / Optical delay and structure orientation maps; automated and chemical analysis	Перспективные технологии [6, 19, 21–23] / Promising technologies [6, 19, 21–23]	Требуются специальное оборудование, стандартизация и клиническая валидация / Requires specialized equipment, standardization and clinical validation

Таблица составлена авторами / The table is compiled by the authors

Поляризационная микроскопия предоставляет информацию об ориентации, толщине, плотности упаковки и степени упорядоченности коллагеновых волокон в рубцовой ткани, строме опухолей и сосудистой стенке. Исследования показали, что различные патологические состояния, сопровождающиеся изменением дермального коллагена [18] (дерматофиброма, морфея, склероатрофический

лихен, гипертрофические рубцы и келоиды), демонстрируют характерные модели двойного лучепреломления, что позволяет использовать метод в качестве дополнительного инструмента для дифференциальной диагностики (рис. 3) [19].

Перспективным направлением является количественная оценка организации коллагеновых волокон с помощью жидкокристаллической поляризационной

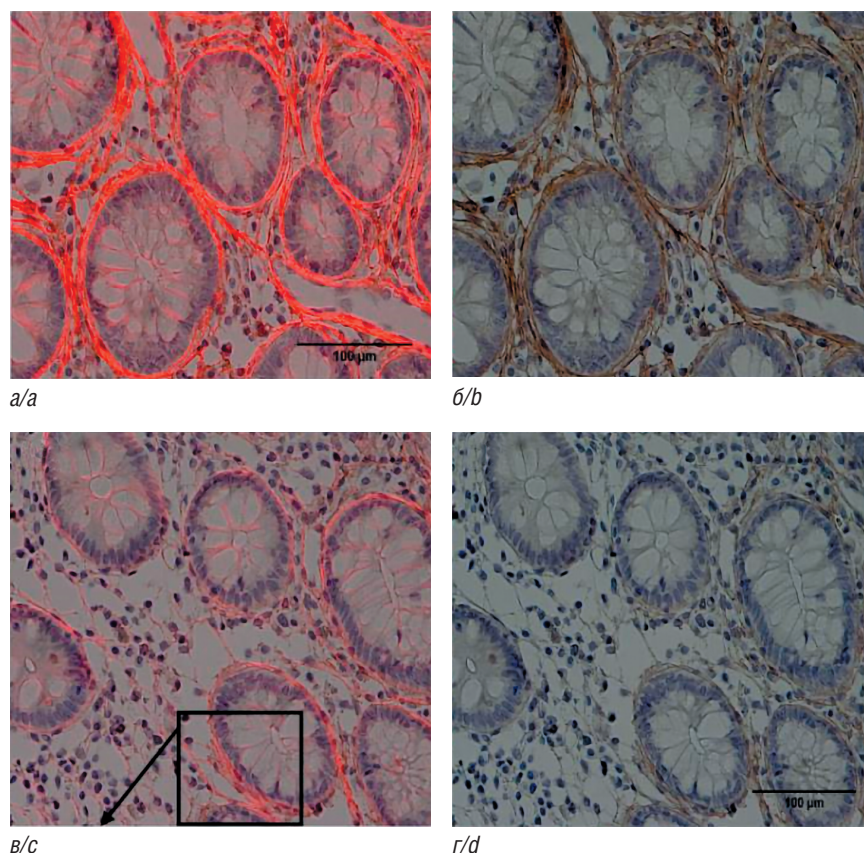


Рис. 3. Обнаружение с помощью PolScope коллагеновых волокон ткани толстой кишки, окрашенных антителами к коллагену I типа. Образец ткани толстой кишки, окрашенный антителами к коллагену I типа, представлен в режиме светлого поля (б), (д) и с наложением изображения PolScope в красном канале на светлое поле (а), (в) [19]

Fig. 3. PolScope detection of collagen fibers in colon tissue stained with antibodies against type I collagen. A colon tissue sample stained with antibodies to type I collagen is shown in bright-field mode (b), (d) and with a PolScope image overlay in the red channel on the bright-field (a), (c) [19]

микроскопии (LC-PolScope), которая представляет собой доступную альтернативу методу генерации второй гармоники (SHG) и демонстрирует хорошую корреляцию с ним при оценке ориентации и степени выравнивания фибриллярного коллагена в гистологических срезах.

Данный подход открывает путь к объективной численной характеристике степени фиброза и архитектоники внеклеточного матрикса.

Диагностика амилоидоза

Амилоидоз — группа заболеваний, связанных с отложением в тканях патологического фибриллярного белка — амилоида. Амилоидные фибриллы представляют собой удлиненные структуры диаметром приблизительно 10–15 нм и длиной несколько микрометров, образующиеся в результате неправильного сворачивания белков. После окраски срезов красителем Конго красным молекулы красителя внедряются в промежутки β -складчатых структур амилоидных фибрилл, создавая молекулярную

упорядоченность и анизотропию диэлектрических свойств, что и порождает двойное лучепреломление.

Окрашенный Конго красным (Congo red) амилоид обладает двойным лучепреломлением при исследовании в поляризационном микроскопе. Традиционно считается, что амилоидные отложения, окрашенные Конго красным, при наблюдении в скрещенных поляризаторах демонстрируют характерную зеленую интерференционную окраску. На протяжении более 50 лет этот признак рассматривался как «золотой стандарт» гистологической верификации амилоидоза. Однако современные исследования [15] показывают, что окраска может включать не только зеленые, но и желтые, оранжевые и синие оттенки, обусловленные особенностями структуры, толщиной и ориентацией амилоидных отложений. Несмотря на это, в клинической практике наблюдаемую картину нередко описывают исключительно как «зеленое двойное лучепреломление», что упрощает реальную оптическую картину и может приводить к ошибочной интерпретации.

Следует отметить, что некоторые одонтогенные образования, например кальцифицирующая одонтогенная киста и опухоль Пиндборга, могут содержать участки, положительно окрашивающиеся Конго красным, но не дающие характерной зеленой интерференционной окраски при исследовании в поляризованном свете. Это требует особой осторожности при интерпретации результатов.

Дифференциальная диагностика кристаллических артритов

Кристаллические артропатии (артриты) — группа заболеваний, чаще всего встречающихся у лиц пожилого возраста, обусловленных отложением в суставах и периартикулярных тканях различных кристаллов: моноурата натрия (подагра), дигидрата пирофосфата кальция (псевдоподагра), основных фосфатов кальция и других (оксалаты, липиды, холестерин). Несмотря на сходный патогенез, подходы к лечению каждого из кристаллических артритов существенно различаются, что делает своевременную дифференциальную диагностику принципиально важной.

Исследование нативной синовиальной жидкости под поляризационным микроскопом с компенсатором признано «золотым стандартом» диагностики подагры и псевдоподагры [8]. Кристаллы моноурата натрия при подагре имеют игловидную форму, могут располагаться внутриклеточно и демонстрируют сильное отрицательное двойное лучепреломление. При исследовании в поляризационном микроскопе с компенсатором они «гаснут» (сливаются с цветом фона), когда длинная ось кристалла ориентирована параллельно одной из осей пропускания скрещенных поляризаторов. При ориентации параллельно оси красного компенсатора первого порядка кристаллы урата приобретают желтую интерференционную окраску (отрицательный оптический признак [13]).

Кристаллы дигидрата пирофосфата кальция при псевдоподагре демонстрируют слабое положительное двойное лучепреломление. Они, как правило, мельче кристаллов уратов, чаще располагаются внутри фаголизосом и дают менее яркие цвета, что может затруднять их обнаружение.

Метод компенсированной поляризационной микроскопии (compensated polarized light microscopy, CPLM) имеет ряд ограничений, включая недостаточную чувствительность при обнаружении мелких и редко расположенных кристаллов, трудности их дифференциации от артефактов и загрязнений, а также зависимость результатов от опыта исследователя. Одним из перспективных направлений является полихроматическая поляризационная микроскопия (polychromatic polarization microscopy,

PPM), позволяющая выявлять двулучепреломляющие частицы с низкой оптической задержкой независимо от ориентации их медленной оптической оси, что потенциально повышает чувствительность исследования [21]. В отличие от традиционной поляризационной микроскопии, при которой слабо двулучепреломляющие объекты могут иметь низкий контраст, метод PPM формирует цветокодированное изображение: цветовой тон зависит от ориентации медленной оптической оси объекта, а характеристики окраски связаны с величиной оптической задержки.

Исследование мышечной ткани

У мышечных волокон наблюдается оптическая анизотропия. Само название «поперечнополосатые скелетные мышцы» связано с различием оптических свойств отдельных участков мышечного волокна. Исследование мышечного волокна в поляризованном свете показывает, что оно состоит из чередующихся более темных анизотропных участков, обладающих двойным лучепреломлением, и более светлых изотропных участков, что формирует характерный поперечнополосатый рисунок. Это явление используют для оценки степени повреждения миофибрилл при миопатиях и в экспериментальных исследованиях физиологии мышц.

Кристаллооптическое исследование сыворотки крови

Перспективным направлением является применение поляризационной микроскопии для экспресс-диагностики метаболических нарушений путем кристаллооптического исследования структур сыворотки крови. При контролируемом высушивании капли сыворотки крови между двумя изотропными пластинами и последующем исследовании в поляризованном свете выявляют специфические кристаллические структуры, характерные для различных типов метаболических расстройств: веерообразные дендриты указывают на гипероксалурию, друзы и дендритоподобные сферолиты — на гиперкреатининемию, оолитовые сферолиты — на гиперкальциемию, мелкозернистые частицы — на гиперглицинемию, перистые лучи — на гиперурикемию, крестообразные сферолиты — на гиперхолестеринемию [16]. Данный метод позволяет улучшить контроль над типом метаболического нарушения и может использоваться в экспресс-диагностике предпатологии и патологии обмена веществ. В дальнейшем для постановки более точного окончательного диагноза следует провести другие лабораторные тесты сыворотки крови.

Поляризационную микроскопию также применяют для выявления инородных включений и исследования других оптически анизотропных биологических структур [24].

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Современное развитие поляризационной микроскопии связано с интеграцией методов машинного обучения и искусственного интеллекта для автоматического анализа изображений, что значительно повышает объективность и скорость диагностики. Мюллер-матричная поляриметрия и поляризационно-чувствительная оптическая когерентная томография расширяют возможности количественной оценки анизотропных свойств биологических тканей *in vivo* [1, 2].

Активно развиваются подходы, сочетающие атомно-силовую микроскопию с поляризационной микроскопией для точной локализации участков фиброза на основе двойного лучепреломления коллагеновых волокон с последующим измерением локальных упругих модулей ткани. Поляризационную визуализацию в сочетании с традиционной микро-

скопией используют для построения интерпретируемых моделей машинного обучения, способных обеспечить количественную диагностику предраковых поражений, например поражений шейки матки [1].

Кроме того, разработка новых компенсаторов с высоким пространственным разрешением и автоматизированных систем сканирования позволяет проводить картирование двулучепреломления по всей площади гистологического среза, что открывает путь к созданию «оптических биомаркеров» для оценки тяжести фиброза печени, почек и миокарда (рис. 4) [22].

Одним из перспективных направлений является интеграция поляризационной микроскопии с рамановской спектроскопией для анализа синовиальной жидкости. Поляризационная микроскопия позволяет быстро обнаружить кристаллы и оценить их морфологию, тогда как рамановская спектроскопия дает информацию об их химическом составе. Такой комбинированный подход может повысить объективность диагностики подагры и пирофосфатной артропатии, особенно в случае мелких, слабо двулучепреломляющих или трудно различимых кристаллов. В современных исследованиях рамановскую спектроскопию,

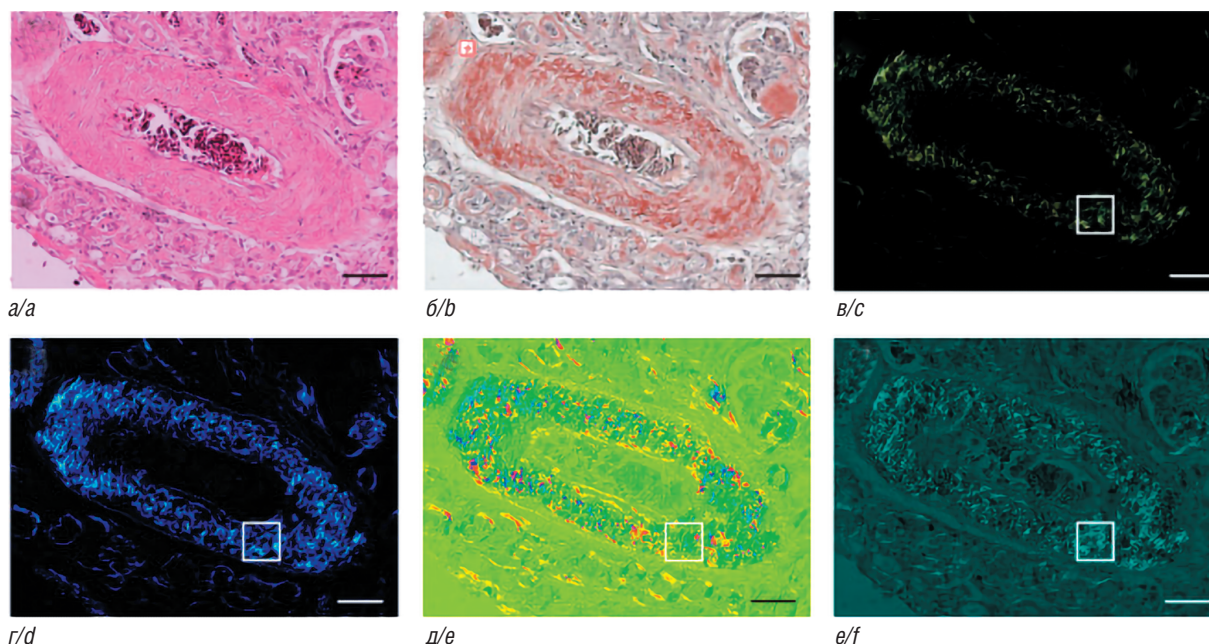


Рис. 4. Визуализация двойного лучепреломления и дихроизма почечных артерий: *a* — изображение соседних патологических срезов, окрашенных гематоксилином и эозином; *b* — изображение, окрашенное Конго красным (без анализатора); *c* — наблюдение окраски Конго красным в скрещенных николях при $\theta=0^\circ$; двумерное распределение (*d*) оптической задержки, (*e*) азимутального угла и (*f*) дихроизма, рассчитанное с использованием распределения интенсивности зеленого спектрального диапазона. Масштабные линейки на изображениях (*a–e*) соответствуют 50 мкм [22]

Fig. 4. Birefringence and dichroism imaging of renal arteries: *a* — image of adjacent pathological sections stained with hematoxylin and eosin; *b* — Congo red-stained image (without analyzer); *c* — observation of Congo red staining in crossed nicols at $\theta=0^\circ$; two-dimensional distribution of (*d*) retardance, (*e*) azimuthal angle, and (*f*) dichroism, calculated using the intensity distribution of the green spectral band. The scale bars in the images (*a–f*) correspond to 50 μm [22]

интегрированную с поляризационной микроскопией, рассматривают как технологию следующего поколения для анализа синовиальной жидкости [23].

В поляризационном птихографическом микроскопе без линз (PS-PtychoLM) используются поляризационный датчик изображения с оптической модуляцией по маске и светодиодная подсветка. Птихографическое восстановление фазы позволяет получать изображения высокого разрешения различных прозрачных анизотропных объектов с двойным лучепреломлением, в том числе кристаллов урата натрия и миокарда мыши [25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, поляризационная микроскопия представляет собой информативный и экономически доступный метод исследования, основанный на фундаментальных законах физики твердого тела и волновой оптики. Для диагностики подагры, пирофосфатной артропатии и амилоидоза данный метод действительно может рассматриваться как «золотой стандарт» при условии строгого соблюдения правил пробоподготовки, использования компенсатора и учета его диагностических ограничений. Понимание физической природы двойного лучепреломления и конструктивных особенностей микроскопа позволяет клиницисту и исследователю извлекать максимум информации из на первый взгляд простого оптического изображения. Дальнейшее развитие технологий поляризационной микроскопии, включая ее интеграцию с методами машинного обучения и мультимодальной визуализации, открывает новые горизонты для количественной оценки патологических изменений в тканях и совершенствования диагностических протоколов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. All authors made substantial contributions to the conception of the study; the acqui-

sition, analysis, and interpretation of data; the drafting and revision of the article; and the final approval of the version to be published. All authors agree to be accountable for all aspects of the study.

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

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

ЛИТЕРАТУРА

1. He C., He H., Chang J. et al. Polarisation optics for biomedical and clinical applications: a review. *Light Sci Appl.* 2021;10(1):194. <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00639-x>.
2. Optical Polarimetric Modalities for Biomedical Research. N. Mazumder, Y.V. Kistenev, E. Borisova, Shama Prasada K., eds. Springer; 2023. 452 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-31852-8>.
3. de Boer J.F., Hitzenberger C.K., Yasuno Y. Polarization sensitive optical coherence tomography — a review. *Biomedical Optics Express.* 2017;8(3):1838–1873. <https://doi.org/10.1364/BOE.8.001838>.
4. van Turnhout M.C., Kranenbarg S., van Leeuwen J.L. Modeling optical behavior of birefringent biological tissues for evaluation of quantitative polarized light microscopy. *Journal of Biomedical Optics.* 2009;14(5):054018. <https://doi.org/10.1117/1.3241986>.
5. Oldenbourg R. Polarized light microscopy: principles and practice. *Cold Spring Harbor Protocols.* 2013;2013(11):1023–1036. <https://doi.org/10.1101/pdb.top078600>.
6. Mehta S.B., Shribak M., Oldenbourg R. Polarized light imaging of birefringence and diattenuation at high resolution and high sensitivity. *Journal of Optics.* 2013;15(9):094007. <https://doi.org/10.1088/2040-8978/15/9/094007>.
7. Канюков В.Н., Стадников А.А., Трубина О.М., Стрекаловская А.Д. Методы исследования в биологии и медицине. Оренбург: ОГУ; 2013. 192 с.
8. Нестерович И.И., Ночевная К.В., Минеев В.Н. Поляризационная микроскопия синовиальной жидкости как «золотой стандарт» дифференциальной диагностики кристаллических артритов. *Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения.* 2012;7(1):438–439. EDN: SHNBTL.
9. Jadhav K.B., Gupta N., Ahmed M.B.R. Maltese cross: Starch artifact in oral cytology, divulged through polarized microscopy. *Journal of Cytology.* 2010;27(1):40–41. <https://doi.org/10.4103/0970-9371.66698>.
10. Kardam P., Jain K., Mehendiratta M., Mathias Y. Kaleidoscope of oral artifacts: A vivid picture through light and polarizing microscope. *Indian Journal of Pathology and Microbiology.* 2016;59(1):31–34. <https://doi.org/10.4103/0377-4929.178218>.
11. Perino G., Sunitsch S., Huber M. et al. Diagnostic guidelines for the histological particle algorithm in the periprosthetic neosynovial tissue. *BMC Clinical Pathology.* 2018;18:7. <https://doi.org/10.1186/s12907-018-0074-3>.

12. Grover S., Naik R., Jayadeva H.M., Ahmed M.B.R. Suture artefacts: Explored through polarising microscope. *Sultan Qaboos University Medical Journal*. 2012;12(2):247–248. <https://doi.org/10.18295/2075-0528.1374>.
13. Елисеев М.С., Барскова В.Г. Современные принципы диагностики и лечения подагры. *Русский медицинский журнал*. 2007;15(26):1984–1986.
14. Zell M., Zhang D., FitzGerald J. Diagnostic advances in synovial fluid analysis and radiographic identification for crystalline arthritis. *Current Opinion in Rheumatology*. 2019;31(2):134–143. <https://doi.org/10.1097/BOR.0000000000000582>.
15. Howie A.J. Origins of a pervasive, erroneous idea: The “green birefringence” of Congo red-stained amyloid. *International Journal of Experimental Pathology*. 2019;100(4):208–221. <https://doi.org/10.1111/iep.12330>.
16. Савина Л.В., Павлищук С.А., Самсыгин В.Ю. и др. Поляризационная микроскопия в диагностике обменных нарушений. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2003;(3):11–13. EDN: OIWGFT.
17. Junqueira L.C., Cossermelli W., Brentani R. Differential staining of collagens type I, II and III by Sirius Red and polarization microscopy. *Archivum Histologicum Japonicum*. 1978;41(3):267–274. <https://doi.org/10.1679/aohc1950.41.267>.
18. Elbendary A., Valdebran M., Parikh K., Elston D.M. Polarized Microscopy in Lesions With Altered Dermal Collagen. *The American Journal of Dermatopathology*. 2016;38(8):593–597. <https://doi.org/10.1097/DAD.0000000000000550>.
19. Keikhosravi A., Liu Yu., Drifka C., Woo K. et al. Quantification of collagen organization in histopathology samples using liquid crystal based polarization microscopy. *Biomedical Optics Express*. 2017;8(9):4243–4256. <https://doi.org/10.1364/BOE.8.004243>.
20. Smith L.L., Beggs A.H., Gupta V.A. Analysis of skeletal muscle defects in larval zebrafish by birefringence and touch-evoked escape response assays. *Journal of Visualized Experiments*. 2013;(82):e50925. <https://doi.org/10.3791/50925>.
21. Jum'ah H., Shribak M., Keikhosravi A. et al. Detection of crystals in joint fluid aspirates with polychromatic polarization microscopy. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 2023;82(11):1501–1502. <https://doi.org/10.1136/ard-2023-224331>.
22. Wakayama T., Yokouchi S., Kayano H., Higashiguchi T. Shadowless amyloid imaging with quantitative birefringence contrast. *Scientific Reports*. 2025;15:28776. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11795-0>.
23. Niessink T., Giesen T., Efde M. et al. Test characteristics of Raman spectroscopy integrated with polarized light microscopy for the diagnosis of acute gouty arthritis. *Joint Bone Spine*. 2023;90(6):105611. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2023.105611>.
24. Колтовой Н.А. Поляризационная микроскопия в диагностике биологических объектов. *Фотоника*. 2011;(6):46–49. <https://www.photonics.su/journal/article/3075>.
25. Kim J., Song S., Kim H. et al. Ptychographic lens-less birefringence microscopy using a mask-modulated polarization image sensor. *Scientific Reports*. 2023;13(1):19263. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46496-z>.

REFERENCES

1. He C., He H., Chang J. et al. Polarisation optics for biomedical and clinical applications: a review. *Light Sci Appl*. 2021;10(1):194. <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00639-x>.
2. Optical Polarimetric Modalities for Biomedical Research. N. Mazumder, Y.V. Kistenev, E. Borisova, Shama Prasada K., eds. Springer; 2023. 452 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-31852-8>.
3. de Boer J.F., Hitzenberger C.K., Yasuno Y. Polarization sensitive optical coherence tomography — a review. *Biomedical Optics Express*. 2017;8(3):1838–1873. <https://doi.org/10.1364/BOE.8.001838>.
4. van Turnhout M.C., Kranenbarg S., van Leeuwen J.L. Modeling optical behavior of birefringent biological tissues for evaluation of quantitative polarized light microscopy. *Journal of Biomedical Optics*. 2009;14(5):054018. <https://doi.org/10.1117/1.3241986>.
5. Oldenbourg R. Polarized light microscopy: principles and practice. *Cold Spring Harbor Protocols*. 2013;2013(11):1023–1036. <https://doi.org/10.1101/pdb.top078600>.
6. Mehta S.B., Shribak M., Oldenbourg R. Polarized light imaging of birefringence and diattenuation at high resolution and high sensitivity. *Journal of Optics*. 2013;15(9):094007. <https://doi.org/10.1088/2040-8978/15/9/094007>.
7. Kanyukov V.N., Stadnikov A.A., Trubina O.M., Strekalovskaya A.D. Research Methods in Biology and Medicine. Orenburg: Orenburg State University; 2013. 192 p. (In Russ.).
8. Nesterovich I.I., Nochivnaya K.V., Mineev V.N. Polarization microscopy of synovial fluid as the “Gold standard” of differential diagnosis of crystalline arthritis. *Zdorov'ye — Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya*. 2012;7(1):438–439. (In Russ.). EDN: SHNBTL.
9. Jadhav K.B., Gupta N., Ahmed M.B.R. Maltose cross: Starch artifact in oral cytology, divulged through polarized microscopy. *Journal of Cytology*. 2010;27(1):40–41. <https://doi.org/10.4103/0970-9371.66698>.
10. Kardam P., Jain K., Mehendiratta M., Mathias Y. Kaleidoscope of oral artifacts: A vivid picture through light and polarizing microscope. *Indian Journal of Pathology and Microbiology*. 2016;59(1):31–34. <https://doi.org/10.4103/0377-4929.178218>.
11. Perino G., Sunitich S., Huber M. et al. Diagnostic guidelines for the histological particle algorithm in the periprosthetic neo-synovial tissue. *BMC Clinical Pathology*. 2018;18:7. <https://doi.org/10.1186/s12907-018-0074-3>.
12. Grover S., Naik R., Jayadeva H.M., Ahmed M.B.R. Suture artefacts: Explored through polarising microscope. *Sultan Qaboos University Medical Journal*. 2012;12(2):247–248. <https://doi.org/10.18295/2075-0528.1374>.
13. Eliseev M.S., Barskova V.G. Modern principles of diagnosis and treatment of gout. *Russian Medical Journal*. 2007;15(26):1984–1986. (In Russ.).

14. Zell M., Zhang D., FitzGerald J. Diagnostic advances in synovial fluid analysis and radiographic identification for crystal-line arthritis. *Current Opinion in Rheumatology*. 2019;31(2): 134–143. <https://doi.org/10.1097/BOR.0000000000000582>.
15. Howie A.J. Origins of a pervasive, erroneous idea: The “green birefringence” of Congo red-stained amyloid. *International Journal of Experimental Pathology*. 2019;100(4):208–221. <https://doi.org/10.1111/iep.12330>.
16. Savina L.V., Pavlishchuk S.A., Samsygin V.Yu. et al. Polarization microscopy in the diagnosis of metabolic disorders. *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2003;(3):11–13. (In Russ.). EDN: OIWGFT.
17. Junqueira L.C., Cossermelli W., Brentani R. Differential staining of collagens type I, II and III by Sirius Red and polarization microscopy. *Archivum Histologicum Japonicum*. 1978; 41(3):267–274. <https://doi.org/10.1679/aohc1950.41.267>.
18. Elbendary A., Valdebran M., Parikh K., Elston D.M. Polarized Microscopy in Lesions With Altered Dermal Collagen. *The American Journal of Dermatopathology*. 2016;38(8):593–597. <https://doi.org/10.1097/DAD.0000000000000550>.
19. Keikhosravi A., Liu Yu., Drifka C., Woo K. et al. Quantification of collagen organization in histopathology samples using liquid crystal based polarization microscopy. *Biomedical Optics Express*. 2017;8(9):4243–4256. <https://doi.org/10.1364/BOE.8.004243>.
20. Smith L.L., Beggs A.H., Gupta V.A. Analysis of skeletal muscle defects in larval zebrafish by birefringence and touch-evoked escape response assays. *Journal of Visualized Experiments*. 2013;(82):e50925. <https://doi.org/10.3791/50925>.
21. Jum'ah H., Shribak M., Keikhosravi A. et al. Detection of crystals in joint fluid aspirates with polychromatic polarization microscopy. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 2023;82(11):1501–1502. <https://doi.org/10.1136/ard-2023-224331>.
22. Wakayama T., Yokouchi S., Kayano H., Higashiguchi T. Shadowless amyloid imaging with quantitative birefringence contrast. *Scientific Reports*. 2025;15:28776. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11795-0>.
23. Niessink T., Giesen T., Efde M. et al. Test characteristics of Raman spectroscopy integrated with polarized light microscopy for the diagnosis of acute gouty arthritis. *Joint Bone Spine*. 2023;90(6):105611. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2023.105611>.
24. Koltovoi N.A. Polarization microscopy in the diagnostics of biological objects. *Photonics*. 2011;(6):46–49. <https://www.photonics.su/journal/article/3075>. (In Russ.).
25. Kim J., Song S., Kim H. et al. Ptychographic lens-less birefringence microscopy using a mask-modulated polarization image sensor. *Scientific Reports*. 2023;13(1):19263. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46496-z>.

ОБ АВТОРАХ

Татьяна Юрьевна Яковлева — к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры медицинской биофизики и физики. E-mail: yakovtat@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7317-9254>; SPIN: 7152-1204

Александр Викторович Бармасов — к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры медицинской биофизики и физики, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет; доцент кафедры общей физики 2, Санкт-Петербургский государственный университет. E-mail: barmasov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7356-8903>; SPIN: 6452-2860

✉ **Анна Михайловна Бармасова** — старший преподаватель кафедры медицинской биофизики и физики. E-mail: abarmasova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0521-5337>; SPIN: 4538-1150

Татьяна Сергеевна Демьянова — к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры медицинской биофизики и физики. E-mail: demyanovats@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-2146-9037>; SPIN: 8383-8789

Анастасия Андреевна Зуйкова — ассистент кафедры медицинской биофизики и физики. E-mail: a-zuykova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-8905-0467>; SPIN: 5602-6598

Ангелина Владимировна Семёнова — студентка 2-го курса педиатрического факультета. E-mail: angelinasemenova801@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-8408-9533>; SPIN: 1651-0252

AUTHORS' INFO

Tatiana Yu. Yakovleva — Cand. Sci. (Physical and Mathematical), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Medical Biophysics and Physics. E-mail: yakovtat@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7317-9254>; SPIN: 7152-1204

Alexander V. Barmasov — Cand. Sci. (Physical and Mathematical), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Medical Biophysics and Physics; Associate Professor of the Department of General Physics 2, Saint Petersburg State University. E-mail: barmasov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7356-8903>; SPIN: 6452-2860

✉ **Anna M. Barmasova** — Senior Lecturer at the Department of Medical Biophysics and Physics. E-mail: abarmasova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0521-5337>; SPIN: 4538-1150

Tatiana S. Demyanova — Cand. Sci. (Physical and Mathematical), Senior Lecturer of the Department of Medical Biophysics and Physics. E-mail: demyanovats@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-2146-9037>; SPIN: 8383-8789

Anastasia A. Zuikova — Assistant Professor of the Department of Medical Biophysics and Physics. E-mail: a-zuykova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-8905-0467>; SPIN: 5602-6598

Angelina V. Semenova — 2nd-year student of the Faculty of Pediatrics. E-mail: angelinasemenova801@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-8408-9533>; SPIN: 1651-0252



УДК [616.134.2-007.64-02+616-018.2]-073.4/.7
<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.53.96.004>

Лучевая диагностика аневризмы верхней брыжеечной артерии. Клинический случай

Вероника Сергеевна Передереева, Борис Львович Севрюгов, Алексей Анатольевич Денисов,
Дмитрий Леонидович Дубицкий, Кирилл Владимирович Игнашев

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, г. Санкт-Петербург,
ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

Для цитирования: Передереева В.С., Севрюгов Б.Л., Денисов А.А., Дубицкий Д.Л., Игнашев К.В. Лучевая диагностика аневризмы верхней брыжеечной артерии. Клинический случай. *Визуализация в медицине*. 2026;8(2):41–49.
<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.53.96.004>.

Поступила: 23.04.2026

Одобрена: 03.06.2026

Принята к печати: 10.08.2026

Резюме. Аневризмы брюшного отдела аорты и ее висцеральных ветвей в детском возрасте — редкая патология, чаще всего ассоциированная с группой наследственных заболеваний (например, синдром Марфана, синдром Элерса–Данлоса, синдром Лоеса–Дитца), когда присутствуют мутации в генах, отвечающих за синтез коллагена или других белков, ответственных за формирование соединительной ткани. Клинические проявления долгое время могут оставаться незамеченными из-за отсутствия характерных признаков и индивидуальных особенностей в каждом конкретном случае. При естественном течении заболевания риск разрыва аневризмы достигает 50%, при этом уровень летальности колеблется от 30 до 90%. Редкая встречаемость аневризм брюшного отдела аорты и ее висцеральных ветвей часто обуславливает позднюю диагностику и приводит к развитию осложнений. Данную патологию возможно визуализировать при ультразвуковом сканировании с применением методов цветовой и спектральной доплерографии и при помощи метода мультиспиральной компьютерной томографии. Эти способы диагностики позволяют в кратчайшие сроки поставить диагноз, локализовать уровень поражения, степень изменений пораженной артерии и определить тактику хирургического лечения. В данной статье представлен клинический случай лучевой диагностики аневризмы верхней брыжеечной артерии у ребенка.

Ключевые слова: аневризма артерии, патология соединительной ткани, верхняя брыжеечная артерия, ультразвуковое исследование, компьютерная томография

✉ Вероника Сергеевна Передереева. E-mail: ska12345689@mail.ru

© Коллектив авторов, 2026

<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.53.96.004>

Radiological diagnostics of superior mesenteric artery aneurysm. Clinical case

Veronika S. Peredereeva, Boris L. Sevryugov, Aleksey A. Denisov, Dmitriy L. Dubitskiy, Kirill V. Ignashev

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., Saint Petersburg, 194100, Russian Federation

For citation: Peredereeva V.S., Sevryugov B.L., Denisov A.A., Dubitskiy D.L., Ignashev K.V. Radiological diagnostics of superior mesenteric artery aneurysm. Clinical case. *Visualization in Medicine*. 2026;8(2):41–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/ViM.2026.53.96.004>.

Received: 23.04.2026

Revised: 03.06.2026

Accepted: 10.08.2026

Abstract. Abdominal aortic aneurysms and their visceral branches are rare conditions in children, most often associated with a group of hereditary disorders (e.g., Marfan syndrome, Ehlers–Danlos syndrome, Loeys–Dietz syndrome) that involve mutations in genes responsible for the synthesis of collagen or other proteins responsible for the formation of connective tissue. Clinical manifestations may remain undetected for a long time due to the lack of characteristic signs and individual manifestations in each individual case. In the natural course of the disease, the risk of aneurysm rupture reaches 50%, with mortality rates ranging from 30 to 90%. The rarity of abdominal aortic aneurysms and their visceral branches often leads to late diagnosis and the development of complications. This pathology can be visualized using ultrasound scanning using color and spectral Doppler techniques, as well as multislice computed tomography. These diagnostic methods allow for a rapid diagnosis, localization of the lesion level, the extent of changes in the affected artery, and determination of surgical treatment strategies. This article presents a clinical case of radiological diagnosis of a superior mesenteric artery aneurysm in a child.

Keywords: arterial aneurysm, connective tissue disorder, superior mesenteric artery, ultrasound examination, computed tomography

✉ Veronika S. Peredereeva. E-mail: ska12345689@mail.ru

© 2026 by the authors

ВВЕДЕНИЕ

Аневризма — расширение просвета кровеносного сосуда вследствие патологических изменений стенок или аномалии развития. По форме аневризмы бывают мешковидными и веретенообразными. По структуре аневризмы разделяют на истинные и ложные. Выделяют аневризмы артерий, вен и аневризмы смешанных типов. Аневризма может появиться и развиваться в любой артерии организма.

Истинная артериальная аневризма состоит из всех трех слоев сосудистой стенки:

- интимы — внутреннего эндотелия;
- меди — среднего слоя с гладкими мышцами;
- адвентиции — наружного слоя из соединительной ткани.

Ложная аневризма — это полость, которая образуется при повреждении стенки сосуда и сообщается с его просветом.

Аневризмы висцеральных артерий включают аневризмы чревного ствола, верхней и нижней брыжеечных артерий, а также их ветвей. Данная патология затруднительна для диагностики, так как не имеет четкой клинической картины, часто протекает бессимптомно.

Аневризмы брюшного отдела аорты и висцеральных ветвей при аутопсии составляют 0,1–0,2% всех типов аневризм [1]. Среди них аневризмы бассейна верхней брыжеечной артерии (ВБА) обнаруживают в 8% случаев [2]. У детей истинные аневризмы висцеральных сосудов клинически проявляются крайне редко и обнаруживают себя в старшем возрасте. Редкая встречаемость аневризм висцеральных артерий часто обуславливает позднюю диагностику и приводит к развитию осложнений [3, 4]. При естественном течении заболевания риск разрыва аневризмы достигает 50%, при этом уровень летальности колеблется от 30 до 90% [4].

К этиологическим факторам возникновения аневризм можно отнести:

- инфекционные заболевания [3];
- врожденные формы [4];
- различные типы васкулитов — Такаясу, Кавасаки;
- посттравматические изменения.

Часто аневризмы висцеральных артерий развиваются у пациентов с генетическими заболеваниями: при синдромах Марфана, Элерса–Данлоса, Лосеса–Дитца, туберозном склерозе, а также могут быть ассоциированы с синдромами Алажиля, Альпорта и Тернера.

Наиболее частой причиной формирования аневризм у детей является группа наследственных патологий соединительной ткани [2]. Например, синдром Элерса–Данлоса — заболевание наследствен-

ного типа, проявляющееся системным дефектом соединительной ткани, вызванном нарушением синтеза коллагена.

Распространены следующие формы, связанные с аутосомно-доминантными дефектами коллагенов:

- гипермобильный (hypermobility) тип — дефект коллагена III типа;
- классический (classical) тип — затрагивающий коллагены типов I и V, следствие мутации в гене *COL5A1*;
- сосудистый тип — развивается при аутосомно-доминантном дефекте гена *COL3A1*, участвующего в синтезе коллагена III типа.

Сосудистый тип считается прогностически наименее неблагоприятным из-за риска профузных кровотечений из внутренних органов или разрывов кровеносных сосудов. Диагноз довольно часто ставят после развития серьезных осложнений или на аутопсии ввиду трудности верификации и редкости патологии [5].

Описаны случаи спонтанного разрыва аневризм крупных артерий у пациентов разного возраста при синдроме Элерса–Данлоса классического типа [2].

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА АНЕВРИЗМЫ ВЕРХНЕЙ БРЫЖЕЕЧНОЙ АРТЕРИИ

Для диагностики аневризм висцеральных ветвей аорты применяют ультразвуковую диагностику, компьютерную томографию (КТ) с контрастированием, магнитно-резонансную томографию, ангиографию.

При этом ультразвуковое исследование (УЗИ) органов брюшной полости (комплексное) и ультразвуковое дуплексное сканирование (УЗДС) являются методами визуализации первой линии для выявления и определения тактики лечения с высокой чувствительностью и специфичностью [6–8].

Ультразвуковые признаки артериальной аневризмы следующие.

- В режиме серошкального изображения (В-режим) визуализируется образование жидкостного типа (анэхогенное).
- Внутрипросветно образование может быть однородным или неоднородным. Неоднородность обусловлена наличием внутрипросветных тромботических масс, которые эхографически представлены гипоехогенными или гиперэхогенными аваскулярными сгустками. Эхогенность сгустка зависит от давности процесса. При оценке тромба в просвете аневризмы важно отметить степень окклюзии и флотации.
- В режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК) внутрипросветно могут регистрироваться потоки артериального типа [9].

- В режиме спектральной доплерографии (pulsed-wave (PW) Doppler) регистрируется поток артериального типа, систоло-диастолический с различными вариантами скорости потока [9].

Необходимо оценить:

- стенку аневризмы, толщину, участки диссекции, наложения;
- топографию аневризмы по отношению к брюшной аорте и ее висцеральным артериям;
- гемодинамическую значимость аневризмы по отношению к дистальному кровотоку;
- артериальное русло организма во всех доступных для визуализации отделах с целью исключения или подтверждения аневризматического расширения других артерий.

К ограничениям визуализации методом УЗИ относятся:

- ожирение или избыточное газообразование;
- изменение диаметра аорты во время сердечного цикла;
- отсутствие серийной реконструкции изображений для планирования установки стент-графта [6, 7].

Всем пациентам с подозрением или установленным диагнозом аневризмы ВБА и других висцеральных ветвей по данным УЗИ для подтверждения диагноза, оценки протяженности патологического процесса, исключения разрыва аневризмы и других осложнений, а также для выбора метода лечения, планирования хирургического вмешательства и наблюдения после реконструктивного вмешательства рекомендовано выполнение КТ [10, 17, 18].

КТ обладает высокой точностью для выявления аневризмального расширения сосудов [11, 12, 18]. Компьютерно-томографическая ангиография (КТА) играет ключевую роль в оценке патологического процесса, его протяженности, а также в выборе метода лечения и планировании хирургического вмешательства [13, 17, 18]. КТА также рекомендована в качестве метода визуализации осложненных форм аневризмы брюшной аорты и ее ветвей, диагностики разрыва аневризмы и является важным методом наблюдения после операции [14, 18].

КТ-признаки артериальной аневризмы дополнительно включают:

- на нативных КТ-изображениях аневризма визуализируется в виде дополнительного изоденсного (около +30 НУ) образования и может быть диагностирована по обызвествлениям в ее стенках;
- «золотым стандартом» диагностики аневризм ВБА служит контрастная КТА, при которой можно выявить общую форму и размеры анев-

ризмы, размеры контрастирующего просвета, диаметр шейки, толщину и рентгеновскую плотность пристеночных тромботических масс, наличие паравазальных гематом [15]; также визуализируются участки диссекции и пенетрирующие язвы в области аневризмы; изменение в динамике наружных контуров аневризмы и увеличение ее объема свидетельствуют об увеличении вероятности разрыва ее стенки; рентгеновская плотность тромботических масс и паравазальных гематом меняется в зависимости от возраста/длительности выявленных изменений; слои высокой плотности (до +70 НУ) внутри гиподенсного тромба могут служить показателем свежего тромбообразования и тем самым — недавнего роста аневризмы; КТА помогает оценить характер стенки и определить ход и взаимосвязь с другими сосудами; объемный рендеринг помогает визуализировать аневризму в 3D-представлении для оценки ее взаимоотношений с окружающими структурами, в том числе КТА позволяет оценить компрессию левой почечной вены, двенадцатиперстной кишки, поджелудочной железы и других органов; указанные данные помогают спланировать лечение аневризмы;

- распространение тромботических масс на область эфферентной (отводящей кровь) части ВБА приводит к повышению давления в просвете аневризмы, ее расширению и увеличению вероятности разрыва; при этом расширяются коллатерали, кровоснабжающие дистальные отделы кишки;
- после эндоваскулярного лечения КТА помогает оценить полноценность внутреннего тромбирования мешотчатых аневризм, расположение стентов [16];
- основными противопоказаниями к проведению КТА служат аллергические реакции на йодсодержащий контрастный препарат и выраженное снижение выделительной функции почек (скорость клубочковой фильтрации менее 40 мл/мин/1,73 м²).

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

Девочка 9 лет доставлена в приемное отделение СПбГПМУ переводом из центральной районной больницы с диагнозом «Сахарный диабет 1-го типа, дебют». Из анамнеза известно: в течение последних двух дней отмечались интенсивные боли в животе, рвота 4 раза. Наблюдается неврологом и ортопедом в связи с врожденной миопатией, воронкообразной деформацией грудной клетки. Обследована

по месту жительства, выявлено повышение уровня глюкозы крови до 13,6 ммоль/л.

При поступлении жалобы на нелокализованные боли в животе сохраняются. Осмотрена педиатром и хирургом. Состояние средней тяжести. Показатели гемодинамики соответствуют возрастной норме. Воронкообразная грудная клетка. Живот симметричный, не вздут, болезненный в эпигастрии, околопупочной и правой подвздошной областях. Признаков раздражения брюшины нет. В анализах крови — уровень глюкозы 5,5 ммоль/л. Назначено УЗИ брюшной полости.

При УЗИ в области мезогастрия визуализируется жидкостное образование размером 6×2,5×2,9 см (рис. 1, 2), ограниченное, с неоднородным содержанием. В режиме ЦДК и РВ определяются внутрипросветно потоки артериального типа (рис. 3). Данный поток низкорезистивный, бифазный, ан-

теградный, $V_{\text{сист}}$ — 23 см/с, $V_{\text{диаст}}$ — 11 см/с. В дистальном отделе образования выявляются изоэхогенные тромботические массы без флотации. Образование расположено в проекции ВБА и левой почечной артерии. Точно локализовать измененную артерию не представляется возможным. Предварительный диагноз — аневризматическое расширение артерии (возможно, левой почечной). Рекомендована МСКТ с контрастированием органов брюшной полости.

При спиральной компьютерной томографии (рис. 4) органов брюшной полости с последующим введением контрастного вещества визуализируется проксимальный отдел извитой ВБА длиной до 15 мм с малым диаметром около 1,6–1,9 мм, которая продолжается в веретеновидную овальную аневризму общим размером 6,3×2,7×2,6 см с наличием в дистальном ее отделе внутрипросветных

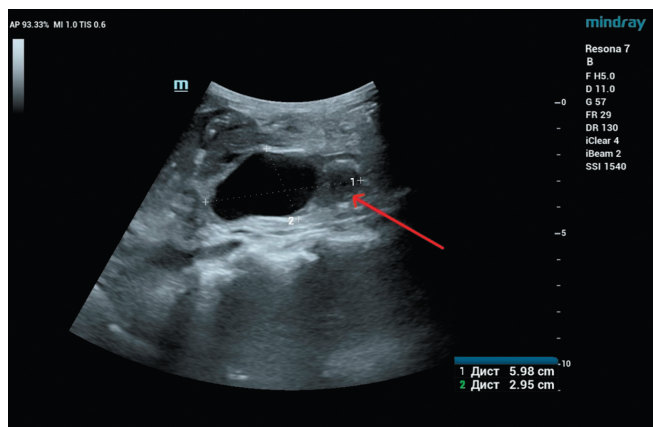


Рис. 1. Серошкальное изображение аневризмы с указанием размеров. На данном снимке гипозоногенные пристеночно-тромботические массы обозначены стрелкой (фото авторов)

Fig. 1. Gray-scale ultrasound image of the aneurysm with size measurements. The hypoechoic mural thrombus is indicated by an arrow (photos by the authors)

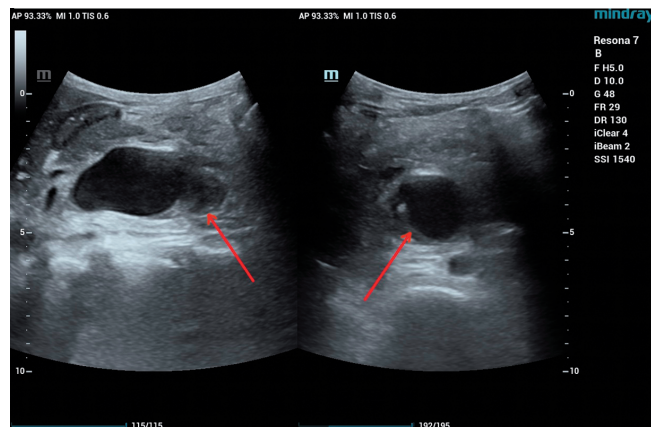
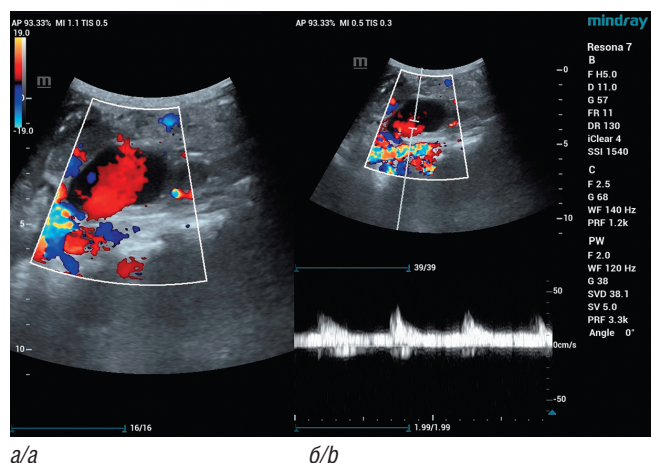


Рис. 2. Изображение в продольном и поперечном срезах. Стрелками указаны пристеночные тромботические массы внутрипросветно (фото авторов)

Fig. 2. Image in longitudinal and transverse planes. Arrows indicate intraluminal mural thrombotic masses (photos by the authors)

Рис. 3. В режиме цветового доплеровского картирования (а) показан внутрипросветный поток в направлении к датчику. На спектрограмме (б) в режиме спектральной доплерографии показан вид потока — артериальный, низкорезистивный, бифазный, антеградный. Такой тип потоков характерен для артерий с низким периферическим сосудистым сопротивлением, то есть кровоснабжающих внутренние органы (фото авторов)

Fig. 3. Color Doppler mode (a) demonstrates intraluminal flow directed toward the transducer. The spectral waveform (b), obtained with pulsed-wave Doppler, reveals a low-resistance, biphasic, antegrade arterial flow pattern. This flow profile is typical of arteries supplying internal organs (low peripheral vascular resistance) (photos by the authors)



a/a

b/b

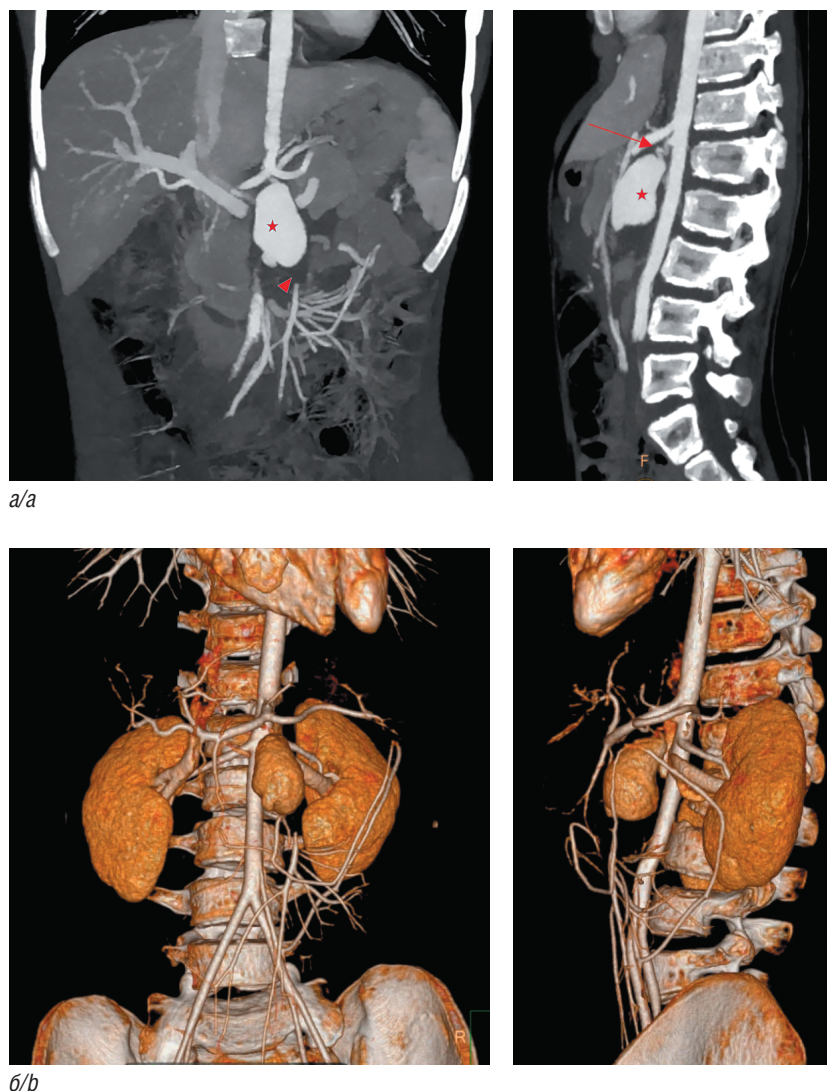


Рис. 4. Изображения мультипланарной (а) и объемной (б) реконструкций. Компьютерно-томографическая ангиография абдоминального отдела висцеральных артерий, звездочкой отмечено аневризмальное расширение верхней брыжеечной артерии общим размером $63 \times 27 \times 26$ мм, объем аневризмального расширения — $12,6 \text{ см}^3$; стрелкой указан проксимальный отдел, который имеет извитой ход диаметром 1,6–1,9 мм, протяженностью 15 мм; наколечником стрелки указан дистальный частично тромбированный сегмент верхней брыжеечной артерии (фото авторов)

Fig. 4. The images demonstrate multiplanar (a) volume-rendered (b) and reconstructions of the abdominal visceral arteries. An aneurysmal dilation of the superior mesenteric artery is marked with an asterisk, measuring $63 \times 27 \times 26$ mm in maximal dimensions, with a calculated aneurysm volume of 12.6 cm^3 . The arrow indicates the proximal segment, which follows a tortuous course (diameter 1.6–1.9 mm, length 15 mm). The arrowhead points to the partially thrombosed distal superior mesenteric artery segment (photos by the authors)

пристеночных тромботических масс толщиной до 2 см. Контрастирующий просвет аневризмы размером до $4,4 \times 2,7 \times 2,6$ см. Внутрисосудистые контуры аневризмы четкие и относительно ровные. Наружные контуры аневризмы нечеткие за счет отека прилегающей клетчатки. Аневризма оттесняет тело поджелудочной железы вентрально, суживает пространство для прохождения левой почечной вены. На момент исследования ар-

териальных выходов (ветвей) для тока крови из аневризмы не выявлено. Ниже аневризмы визуализируется дистальный отдел ВБА, заполненный контрастированной кровью (вероятно, из коллатералей). Толщина тромботических масс от контрастированного просвета до дистального отдела ВБА — 10 мм. Брюшная аорта и другие основные ее ветви без особенностей, не сужены, без наличия аневризм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенное наблюдение представляет большой интерес в связи с тем, что аневризма ВБА у детей — крайне редко встречающаяся патология, клинически сложная для постановки диагноза из-за отсутствия характерных признаков и индивидуальных проявлений в каждом конкретном случае.

Использование лучевых методов диагностики, таких как УЗИ и КТА, позволяет в кратчайшие сроки поставить диагноз, локализовать уровень поражения и определить степень изменений пораженной артерии.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

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

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

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациента на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFORMATION

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

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

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

Consent for publication. Written consent was obtained from legal representatives of the patients for publication of relevant medical information within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lauschke H., Rudolph J., Textor J. et al. Das Viszeral arterien aneurysma [Visceral artery aneurysms]. *Zentralbl Chir.* 2002;127(6):538–542. <https://doi.org/10.1055/s-2002-32624>.
2. Абрамян М.А., Чарчян Э.Р., Пурсанов М.Г., Бедин А.В. Хирургическая коррекция расслаивающей аневризмы верхней брыжеечной артерии у ребенка с синдромом Элерса–Данлоса IV типа. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2022;15(3):285–291. <https://doi.org/10.17116/kardio202215031285>.
3. Mechchat A., Idrissi R., El M.O. et al. Multiple tuberculous aortic aneurysms in a child. A case report. *J Mal Vasc.* 2008;33(4-5):218–220. <https://doi.org/10.1016/j.jmv.2008.09.006>.
4. Некрасова Е.С., Павлова Н.Л., Готовцева Л.В. и др. Пренатальная диагностика редкого врожденного порока развития плода — аневризмы брюшного отдела аорты (обзор литературы и собственное наблюдение). *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2015;(6): 58–64. EDN: VLFAZR.
5. Pepin M.G., Schwarze U., Rice K.M. et al. Survival is affected by mutation type and molecular mechanism in vascular Ehlers-Danlos syndrome (EDS type IV). *Genet Med.* 2014;16(12):881–888. <https://doi.org/10.1038/gim.2014.72>.
6. Разинова А.А., Гребенюк М.М., Поздняков А.В., Позднякова О.Ф., Малеков Д.А. Высокотехнологичные методы визуализации (физико-технические основы высокотехнологичных методов визуализации). СПб.: СПбГПМУ; 2019. С. 5–15.
7. Lindholt J.S., Vammen S., Juul S. et al. The Validity of Ultrasonographic Scanning as Screening Method for Abdominal Aortic Aneurysm. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 1999;17(6):472–475. <https://doi.org/10.1053/ejvs.1999.0835>.
8. Малеков Д.А., Юрьев В.К. Основные направления совершенствования организации обследования больных методами лучевой диагностики. *Медицина: теория и практика.* 2019;4(S):331–332. EDN: ITEERM.
9. Piasek E., Sojka M., Kuczyńska M., Światłowski Ł., Drelich-Zbroja A., Furmaga O., Jargiełło T. Visceral artery aneurysms — classification, diagnosis and treatment. *J Ultrason.* 2018;18(73):148–151. <https://doi.org/10.15557/JoU.2018.0021>.
10. Boyle J.R., Gibbs P.J., Kruger A., Shearman C.P., Raptis S., Phillips M.J. Existing delays following the presentation of ruptured abdominal aortic aneurysm allow sufficient time to assess patients for endovascular repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2005;29(5):505–509. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2005.01.027>.
11. Reber P.U., Brunner K., Hakki H. et al. Häufigkeit, Klassifikation und Therapie der isolierten Beckenarterienaneurysmen. *Chirurg.* 2001;72(4):419–424. <https://doi.org/10.1007/s001040051324>.
12. Hiromatsu S., Hosokawa Y., Egawa N. et al. Strategy for Isolated Iliac Artery Aneurysms. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2007;15(4):280–284. <https://doi.org/10.1177/021849230701500403>.
13. Канина Л.Я., Кондратьев Г.В., Красногорская О.Л., Имянитов Е.Н., Малеков Д.А., Махин Ю.Ю., Волков А.А. Современные подходы к лечению венозных мальформаций у детей. В кн.: Горизонты современной ангиологии,

- сосудистой и рентгенэндоваскулярной хирургии. Материалы XXXIX Международной конференции. М.: Российское общество ангиологов и сосудистых хирургов; 2024. С. 227–228. EDN: CPCNHV.
14. Roy J., Labruto F., Beckman M.O. et al. Bleeding into the intraluminal thrombus in abdominal aortic aneurysms is associated with rupture. *J Vasc Surg.* 2008;48(5):1108–1113. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2008.06.063>.
 15. Прокоп М. Спиральная и многослойная компьютерная томография. М.: МЕДпресс-информ; 2006.
 16. Venturini M., Piacentino F., Coppola A. et al. Visceral Artery Aneurysms Embolization and Other Interventional Options: State of the Art and New Perspectives. *J Clin Med.* 2021;10(11):2520. <https://doi.org/10.3390/jcm10112520>.
 17. Lindholt J.S., Vammen S., Juul S., Henneberg E.W., Fasting H. The validity of ultrasonographic scanning as a screening method for abdominal aortic aneurysm. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 1999;17(6):472–475. <https://doi.org/10.1053/ejvs.1999.0835>.
 18. Karanikola E., Dalainas I., Karaolanis G., Zografos G., Filis K. Duplex ultrasound versus computed tomography for the postoperative follow-up of endovascular abdominal aortic aneurysm repair. Where do we stand now? *Int J Angiol.* 2014;23(3):155–164. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1387925>.
 - dominal Aortic Aneurysm. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 1999;17(6):472–475. <https://doi.org/10.1053/ejvs.1999.0835>.
 8. Malekov D.A., Yuryev V.K. Main directions of improving the organization of examination of patients by methods of radiation diagnostics. *Medicine: Theory and Practice.* 2019;4(S):331–332. (In Russ.). EDN: ITEERM.
 9. Piasek E., Sojka M., Kuczyńska M., Światłowski Ł., Drelich-Zbroja A., Furmaga O., Jargiełło T. Visceral artery aneurysms — classification, diagnosis and treatment. *J Ultrason.* 2018;18(73):148–151. <https://doi.org/10.15557/JoU.2018.0021>.
 10. Boyle J.R., Gibbs P.J., Kruger A., Shearman C.P., Raptis S., Phillips M.J. Existing delays following the presentation of ruptured abdominal aortic aneurysm allow sufficient time to assess patients for endovascular repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2005;29(5):505–509. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2005.01.027>.
 11. Reber P.U., Brunner K., Hakki H. et al. Häufigkeit, Klassifikation und Therapie der isolierten Beckenarterienaneurysmen. *Chirurg.* 2001;72(4):419–424. <https://doi.org/10.1007/s001040051324>.
 12. Hiromatsu S., Hosokawa Y., Egawa N. et al. Strategy for Isolated Iliac Artery Aneurysms. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2007;15(4):280–284. <https://doi.org/10.1177/021849230701500403>.
 13. Kanina L.Ya., Kondratyev G.V., Krasnogorskaya O.L., Imyanitov E.N., Malekov D.A., Makhin Yu.Yu., Volkov A.A. Modern approaches to the treatment of venous malformations in children. In: Horizons of modern angiology, vascular and X-ray endovascular surgery. Proceedings of the XXXIX International Conference. Moscow: Russian Society of Angiologists and Vascular Surgeons; 2024. P. 227–228. (In Russ.). EDN: CPCNHV.
 14. Roy J., Labruto F., Beckman M.O. et al. Bleeding into the intraluminal thrombus in abdominal aortic aneurysms is associated with rupture. *J Vasc Surg.* 2008;48(5):1108–1113. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2008.06.063>.
 15. Prokop M. Spiral and multilayer computed tomography. Moscow: MEDpress-inform; 2006. (In Russ.).
 16. Venturini M., Piacentino F., Coppola A. et al. Visceral Artery Aneurysms Embolization and Other Interventional Options: State of the Art and New Perspectives. *J Clin Med.* 2021;10(11):2520. <https://doi.org/10.3390/jcm10112520>.
 17. Lindholt J.S., Vammen S., Juul S., Henneberg E.W., Fasting H. The validity of ultrasonographic scanning as a screening method for abdominal aortic aneurysm. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 1999;17(6):472–475. <https://doi.org/10.1053/ejvs.1999.0835>.
 18. Karanikola E., Dalainas I., Karaolanis G., Zografos G., Filis K. Duplex ultrasound versus computed tomography for the postoperative follow-up of endovascular abdominal aortic aneurysm repair. Where do we stand now? *Int J Angiol.* 2014;23(3):155–164. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1387925>.

REFERENCES

1. Lauschke H., Rudolph J., Textor J. et al. Das Viszeral arterien aneurysma [Visceral artery aneurysms]. *Zentralbl Chir.* 2002;127(6):538–542. <https://doi.org/10.1055/s-2002-32624>.
2. Abramyan M.A., Charchyan E.R., Pursanov M.G., Bedin A.V. Surgical treatment of superior mesenteric artery aneurysm and dissection in a child with Ehlers-Danlos syndrome type IV. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery.* 2022;15(3):285–291. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kardio202215031285>.
3. Mechchat A., Idrissi R., El M.O. et al. Multiple tuberculous aortic aneurysms in a child. A case report. *J Mal Vasc.* 2008;33(4-5):218–220. <https://doi.org/10.1016/j.jmv.2008.09.006>.
4. Nekrasova E.S., Pavlova N.L., Gotovtseva L.V., Egorova M.M., Gavrilova P.R. Prenatal Diagnosis of abdominal aortic aneurysm: case report and literature review. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2015;(6):58–64. (In Russ.). EDN: VLFAZR.
5. Pepin M.G., Schwarze U., Rice K.M. et al. Survival is affected by mutation type and molecular mechanism in vascular Ehlers-Danlos syndrome (EDS type IV). *Genet Med.* 2014;16(12):881–888. <https://doi.org/10.1038/gim.2014.72>.
6. Razinova A.A., Grebenyuk M.M., Pozdnyakov A.V., Pozdnyakova O.F., Malekov D.A. High-tech visualization methods (physical and technical foundations of high-tech visualization methods). Saint Petersburg: SPbSPMU; 2019. P. 5–15. (In Russ.).
7. Lindholt J.S., Vammen S., Juul S. et al. The Validity of Ultrasonographic Scanning as Screening Method for Ab-

ОБ АВТОРАХ

✉ **Вероника Сергеевна Передереева** — врач ультразвуковой диагностики отделения ультразвуковой и функциональной диагностики.

E-mail: skal2345689@mail.ru;

<https://orcid.org/0009-0001-7162-8175>; SPIN: 4700-4185

Борис Львович Севрюгов — врач ультразвуковой диагностики, заведующий отделением ультразвуковой и функциональной диагностики.

E-mail: sevrugov62@mail.ru;

<https://orcid.org/0009-0000-4311-6474>; SPIN: 1060-4310

Алексей Анатольевич Денисов — врач ультразвуковой диагностики отделения ультразвуковой и функциональной диагностики. E-mail: a.adenisov@gpmu.org;

<https://orcid.org/0009-0003-2758-4050>; SPIN: 9188-2014

Дмитрий Леонидович Дубицкий — к.м.н., врач лучевой диагностики отделения лучевой диагностики с кабинетами компьютерной томографии.

E-mail: ddl_spb@mail.ru;

<https://orcid.org/0000-0002-8277-6050>; SPIN: 6120-3730

Кирилл Владимирович Игнашев — клинический ординатор отделения ультразвуковой и функциональной диагностики. E-mail: Kignashev@yandex.ru;

<https://orcid.org/0009-0003-5844-9652>; SPIN: 1656-4005

AUTHORS' INFO

✉ **Veronika S. Peredereyeva** — ultrasound specialist at the Department of Ultrasound and Functional Diagnostics. E-mail: skal2345689@mail.ru;

<https://orcid.org/0009-0001-7162-8175>; SPIN: 4700-4185

Boris L. Sevrugov — ultrasound diagnostician, Head of the Ultrasound and Functional Diagnostics Department.

E-mail: sevrugov62@mail.ru;

<https://orcid.org/0009-0000-4311-6474>; SPIN: 1060-4310

Aleksey A. Denisov — ultrasound diagnostician, Department of Ultrasound and Functional Diagnostics.

E-mail: a.adenisov@gpmu.org;

<https://orcid.org/0009-0003-2758-4050>; SPIN: 9188-2014

Dmitriy L. Dubitskiy — Cand. Sci. (Med.), radiologist, Department of Radiology with computed tomography rooms. E-mail: ddl_spb@mail.ru;

<https://orcid.org/0000-0002-8277-6050>; SPIN: 6120-3730

Kirill V. Ignashev — clinical resident, Department of Ultrasound and Functional Diagnostics.

E-mail: Kignashev@yandex.ru;

<https://orcid.org/0009-0003-5844-9652>; SPIN: 1656-4005



УДК 616-073.7(091):069.5
<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.10.16.005>

Галерея истории лучевой диагностики

Татьяна Николаевна Трофимова, Наталья Александровна Карлова, Марина Геннадьевна Бойцова, Ярослав Петрович Зорин, Ирина Григорьевна Камышанская

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9, Российская Федерация

Для цитирования: Трофимова Т.Н., Карлова Н.А., Бойцова М.Г., Зорин Я.П., Камышанская И.Г. Галерея истории лучевой диагностики. *Визуализация в медицине*. 2026;8(2):50–60. <https://doi.org/10.56871/ViM.2026.10.16.005>.

Поступила: 26.03.2026

Одобрена: 22.05.2026

Принята к печати: 10.08.2026

Резюме. Первая в мире виртуальная Галерея истории лучевой диагностики открылась в октябре 2025 г. в Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ). Мультимедийный ресурс посвящен развитию рентгенологии в России и охватывает все направления лучевой визуализации от момента открытия рентгеновского излучения до наших дней. В основу виртуальной Галереи истории лучевой диагностики была положена концепция сохранения исторических материалов, фотографий, воспоминаний врачей, ученых, персонала отделений лучевой диагностики. На цифровой площадке представлены архивные документы, первые рентгеновские снимки, исторические фотографии и материалы, раскрывающие вклад российских ученых в становление рентгенологии и современной лучевой диагностики. Авторами Галереи проделана кропотливая работа по сканированию исторических материалов, собранных и сохраненных преподавателями, многие документы публикуются впервые. Важными задачами Галереи являются обеспечение доступности документов для широкой аудитории, систематизация материалов и сохранение исторических фактов. Санкт-Петербургский государственный университет и Санкт-Петербургское радиологическое общество (СПРО) приглашают к сотрудничеству в создании контента и размещению материалов на страницах сайта «Галерея лучевой диагностики».

Ключевые слова: Галерея истории лучевой диагностики, лучевая диагностика, рентгенология, радиология

✉ Наталья Александровна Карлова. E-mail: st008555@spbu.ru

© Коллектив авторов, 2026

<https://doi.org/10.56871/ViM.2026.10.16.005>

Gallery of the history of radiological diagnostics

Tatiana N. Trofimova, Natalia A. Karlova, Marina G. Boitsova, Yaroslav P. Zorin,
Irina G. Kamyshanskaya

Saint Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya emb., Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

For citation: Trofimova T.N., Karlova N.A., Boitsova M.G., Zorin Ya.P., Kamyshanskaya I.G. Gallery of the history of radiological diagnostics. *Visualization in Medicine*. 2026;8(2):50–60. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/ViM.2026.10.16.005>.

Received: 26.03.2026

Revised: 22.05.2026

Accepted: 10.08.2026

Abstract. The world's first virtual Gallery of the History of Medical Radiology opened in October 2025 at Saint Petersburg State University (SPbSU). The multimedia resource is dedicated to the development of radiology in Russia and covers all areas of radiological imaging from the moment X-rays were discovered to the present day. The virtual Gallery of the History of Medical Radiology is based on the concept of preserving historical materials, photographs, and the recollections of doctors, scientists, and staff of radiological diagnostic departments. The digital platform features the archival documents, the first X-ray images, historical photographs, and materials that reveal the contribution of Russian scientists to the development of Radiology and modern Diagnostic Imaging. The authors of the Gallery have carried out painstaking work by scanning historical materials, collected and preserved by teachers; many documents are being published for the first time. The Gallery's important tasks are to make the documents accessible to a wide audience, to systematize the materials, and to preserve historical facts. Saint Petersburg State University and the Saint Petersburg Radiological Society (SPRO) invite you to collaborate on creating content and posting materials on the pages of the "Medical Radiology Gallery" website.

Keywords: Radiation Diagnostics History Galleries, radiation diagnostics, X-ray

✉ Natalia A. Karlova. E-mail: st008555@spbu.ru

© 2026 by the authors

ПАМЯТЬ ПОКОЛЕНИЙ — ДОСТОИНСТВО НАЦИИ

Первую в мире виртуальную Галерею истории лучевой диагностики (далее — Галерея) представили Санкт-Петербургский государственный университет и Санкт-Петербургское радиологическое общество на XIII Петербургском международном форуме здоровья (ПМФЗ-2025) 15–17 октября 2025 г. в концертно-выставочном центре «Экспофорум» (Санкт-Петербург). Мультимедийный ресурс посвящен раз-

витию рентгенологии в России и мире, охватывает все современные направления лучевой визуализации от момента открытия рентгеновского излучения до наших дней. На цифровой площадке представлены архивные документы, первые рентгеновские снимки, исторические фотографии и материалы, раскрывающие вклад российских ученых в становление и развитие лучевой диагностики (рис. 1, 2).

В основу виртуальной Галереи истории лучевой диагностики была положена концепция сохранения

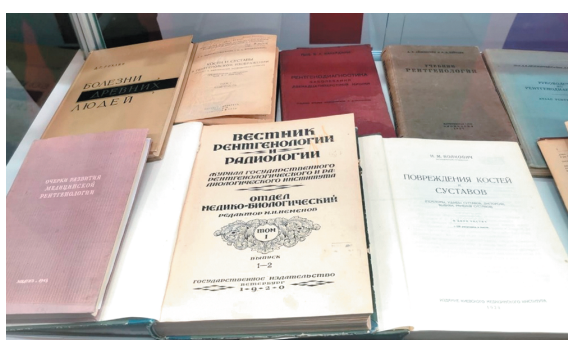
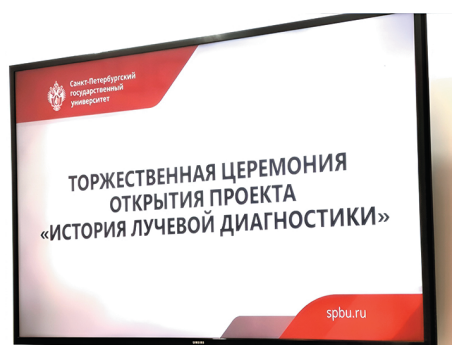


Рис. 1. Фотографии с церемонии открытия виртуальной Галереи истории лучевой диагностики (фото авторов)

Fig. 1. Photos from the opening ceremony of the virtual Gallery of the History of Radiology (photos by the authors)

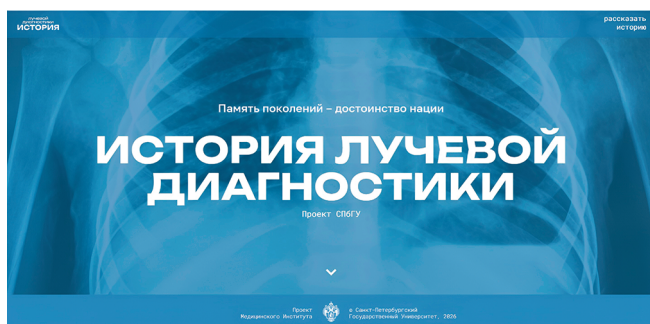


Рис. 2. Титульный лист виртуальной Галереи истории лучевой диагностики (фото авторов)

Fig. 2. Title page of the virtual Gallery of the History of Radiology (photo by the authors)

исторических материалов, фотографий, воспоминаний врачей, ученых, персонала отделений лучевой диагностики. Смена поколений идет незаметно, быстро, и то, что составляло обыденную ежедневную практику всего несколько десятков лет назад, сейчас уже является историей. Например, поиск обычной упаковки сульфата бария для рентгенологического исследования желудочно-кишечного тракта стал сложной задачей для создателей Галереи.

Цель создания Галереи — популяризация науки, обобщение исторического и педагогического опыта. Галерея позволяет сохранить и систематизировать материалы по истории развития лучевой диагностики, она объединяет информацию о профильных кафедрах и научных обществах и должна привлечь внимание к вопросам лучевой диагностики широкую аудиторию: школьников, студентов, ординаторов, врачей, преподавателей, представителей общественности.

Со времени открытия X-лучей и явления радиоактивности прошло почти 130 лет, поэтому последующие события, связанные с этими важными открытиями, все дальше отодвигаясь в прошлое, постепенно стирают из нашей памяти отдельные исторические моменты. Важно объединить для будущих поколений информацию, относящуюся к периоду роста и развития рентгенологии и дальнейшей ее трансформации в лучевую диагностику. Необходимо сохранять исторические документы, фотографии и воспоминания, с благодарностью вспоминать выдающихся ученых, наставников, педагогов и скромных тружеников, стоявших у истоков преподавания рентгенологии и осуществляющих подготовку специалистов по лучевой диагностике в наше время.

Символично, что инициатором создания Галереи выступает Санкт-Петербургский государственный университет. Именно в Санкт-Петербургском

университете И.И. Боргман, профессор физики Императорского Санкт-Петербургского университета, вместе с его ассистентами А.Л. Гершуном и В.В. Скобельцыным 12 января 1896 г. осуществили попытку воспроизвести эксперимент В.К. Рентгена. Они получили отпечатки различных предметов, включая кисть руки человека. Уже 22 января 1896 г. опыты В.К. Рентгена повторили во время лекции в физической аудитории Санкт-Петербургского университета¹ [1, 2].

О многих событиях в истории рентгенологии и лучевой диагностики можно сказать, что они произошли в Санкт-Петербурге — Ленинграде. С гордостью можно констатировать, что уже через три недели после первого сообщения о X-лучах ученые Санкт-Петербурга повторили опыты В.К. Рентгена и стали основоположниками клинического применения рентгеновского излучения. Начальник кафедры физики Военно-медицинской академии профессор Н.Г. Егоров при участии студента Н.А. Орлова 16 января 1896 г. выполнил первые рентгенограммы верхних конечностей человека [3, 4]. Первый памятник В.К. Рентгену и первый рентгенорадиологический институт, первый профильный журнал и первое профессиональное врачебное общество, первый опыт преподавания и первая кафедра подготовки врачей, первая кафедра рентгенологии для подготовки студентов были созданы в Санкт-Петербурге (Ленинграде).

В развитии новой медицинской дисциплины значительную роль сыграло Московское общество рентгенологов и радиологов. Первый съезд российских рентгенологов и радиологов состоялся в 1916 г. в Москве. Трудно переоценить организационную значимость и ценность сделанных на нем докладов.

К сожалению, во время Великой Отечественной войны погиб весь архив Московского общества, поэтому восстановить его историю по документальным данным — сложная задача [5]. Деловой архив Первого съезда российских рентгенологов, сохраненный ученым секретарем съезда профессором Н.Е. Успенским, сильно пострадал при эвакуации [5].

Важными задачами Галереи являются обеспечение и доступность документов по истории лучевой диагностики для широкой аудитории, систематизация материалов и достижений, сохранение исторических фактов.

Авторами Галереи проделана кропотливая работа по сканированию календарей деятельности

¹ История СПбГУ в виртуальном пространстве. URL: <https://history.museums.spbu.ru/pechatnyj/istochniki/istochniki-lichnogo-proiskhozhdeniya.html> (дата обращения: 15.04.2026).



Рис. 3. Содержание виртуальной Галереи лучевой диагностики (фото авторов)
Fig. 3. Contents of the virtual Gallery of Radiation Diagnostics (photos by the authors)



Рис. 4. Основные разделы Галереи лучевой диагностики (фото авторов)
Fig. 4. Main sections of the Gallery of Radiology Diagnostics (photos by the authors)

Ленинградского научного общества рентгенологов и радиологов с 1962 по 1980 г., сохраненных председателем Н.С. Коссинской и секретарем общества Л.Е. Кевешем. Эти материалы многие годы хранились на кафедре лучевой диагностики и лучевой терапии СЗГМУ им. И.И. Мечникова и публикуются впервые.

Галерея состоит из шести разделов (рис. 3, 4), поделенных на множество подразделов для структурирования информации и удобства поиска.

1. О галерее.
2. История лучевой диагностики.

3. Выдающиеся отечественные ученые.
4. Развитие технологий лучевой диагностики.
5. Материалы для обучения лучевой диагностике.
6. Документы и нормативные акты по лучевой диагностике.

В разделе «О галерее» приведены сведения об истории создания и о разработчиках Галереи. Содержится ссылка на Форму «рассказать историю» для размещения читателями новой информации на сайте.

«История лучевой диагностики» — центральный раздел Галереи. Он содержит рубрики подразделы, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Рубрики-подразделы раздела «История лучевой диагностики»

Table 1

Subsections of the “History of Radiation Diagnostics” section

Название подраздела	Содержание
Современное понятие «лучевая диагностика»	В нашей стране используется термин «лучевая диагностика», в то время как в большинстве стран мира применяется более привычное название — «радиология». Рентгенология и радионуклидная диагностика существовали длительное время как самостоятельные направления диагностики. Возникновение понятия «лучевая диагностика» связано с появлением новых методов, базирующихся на иных физико-технических принципах визуализации. Трансформация термина «лучевая диагностика» представлена в этом разделе. Приведены материалы из учебников, энциклопедий и некоторые публикации, иллюстрирующие происходившие изменения. До сих пор единого понятия о лучевой диагностике как научной и медицинской специальности в Российской Федерации не существует
История открытия рентгеновского излучения	Открытие X-лучей стало началом новой эпохи в развитии естествознания и медицины. История открытия рентгеновского излучения часто представляется как случайная удача В.К. Рентгена. В разделе приведены: редкий портрет В.К. Рентгена из журнала «Вестник рентгенологии и радиологии» 1921 г.; подборка отсканированных материалов из книг и журналов начала прошлого века; список литературы по истории открытия с активными ссылками и перечень доступных электронных ресурсов
История традиционной рентгенодиагностики, развитие методик рентгенодиагностики	Перечень диагностических рентгенологических исследований и методик традиционной рентгенодиагностики занял бы несколько страниц. Со временем возникали новые методики и исчезали невостребованные, которые заменялись более информативными, экономически выгодными методиками. Проследить этапы совершенствования методик традиционной рентгенодиагностики можно, ознакомившись со статьями этого раздела. Содержится более 30 отсканированных материалов, самый ранний из которых датирован 1914 г.
История рентгеновской компьютерной томографии	Выдающиеся достижения в области математики (математическая теория преобразования Иоганна Радона (1917), метод алгебраической реконструкции Стефана Качмарцема (1937), стремительное развитие компьютерной техники) легли в основу создания нового метода рентгенодиагностики — рентгеновской компьютерной томографии. Первую томограмму, имевшую диагностическое значение, выполнил Джеймс Эмброуз 1 октября 1971 г. женщине, страдавшей опухолью головного мозга. Проследить этапы развития рентгеновской компьютерной томографии можно, ознакомившись со статьями раздела. Приведен список литературы и ссылки на электронные ресурсы
История магнитно-резонансной томографии	Явление ядерного магнитного резонанса было открыто в 1946 г. Появление магнитно-резонансной томографии датируется 1973 г., когда американский профессор химии и радиологии Пол Лотербур опубликовал в журнале Nature статью на тему «Создание изображения с помощью индуцированного локального взаимодействия; примеры на основе магнитного резонанса». Советские и российские ученые внесли свой вклад в создание технологии магнитно-резонансной томографии. Проследить этапы развития методики магнитно-резонансной томографии можно, ознакомившись со статьями этого раздела. Приведен список литературы и ссылки на электронные ресурсы

Продолжение табл. 1 / Continuation of Table 1

Название подраздела	Содержание
История ультразвуковой диагностики	Диагностическое применение ультразвуковых колебаний началось в 40-х годах XX в. Пионерами ультразвуковой диагностики можно назвать австрийского врача Карла Теодора Дюссика и американского ученого Дугласа Хаури. В настоящее время ультразвуковая диагностика — одно из наиболее стремительно развивающихся и востребованных направлений лучевой диагностики, а мультипараметрический подход к проведению ультразвуковых исследований становится нормой. Проследить за развитием технологий ультразвуковой диагностики можно, ознакомившись со статьями этого раздела. Приведен список литературы и ссылки на электронные ресурсы
История радионуклидной диагностики и ядерной медицины	С диагностической целью в клинической практике меченные радионуклидами соединения впервые были использованы в конце первой четверти XX в. Американские врачи Герман Блумгарт и Сомма Вейз в 1927 г. опубликовали работы по использованию радона для оценки гемодинамики у пациентов с сердечной недостаточностью. Радиофармацевтические препараты нашли широкое применение в клинической практике. Революционным достижением радионуклидной диагностики стало создание одного из самых эффективных методов лучевой диагностики — позитронной эмиссионной томографии. Приведен список литературы и ссылки на электронные ресурсы
История рентгенолаборантского дела	На родине В. Рентгена «рентгеновскими ассистентками» называли первых рентгенолаборантов. По мере усложнения техники возникла необходимость в отдельной медицинской специальности — рентгенолаборант. В июне 2020 г. в нашей стране приказом №480н Министерства труда и социальной защиты РФ утвержден профессиональный стандарт специальности «рентгенолаборант». Новый уровень развития лучевой диагностики привел к расширению функций рентгенолаборантов, появлению новых специализаций. Приведен отсканированный фрагмент книги А.Я. Кацмана «Медицинская рентгенотехника» 1957 г. издания. Разработка раздела продолжается
История профильных научных сообществ страны	В настоящее время в нашей стране зарегистрировано 45 профильных научных сообществ, объединенных в Российское общество рентгенологов и радиологов (РОРР). Впервые мысль о целесообразности создания Всероссийского общества рентгенологов сформулирована в сентябре 1913 г. Учредительное собрание будущего общества состоялось в 1914 г. Первое общее собрание и утверждение устава Всероссийского общества рентгенологов и радиологов произошли в 1916 г. В 1917 г. из-за революционных событий общество временно приостановило свою деятельность. Украшением этого раздела является фото советского членского билета Научно-практического общества рентгенологов и радиологов. Подразделы «История РОРР»: Российское общество рентгенологов и радиологов было основано в 1916 г. под руководством профессора М.И. Неменова. С 1991 по 2016 г. оно называлось Российской ассоциацией радиологов (РАР), а в мае 2016 г. ему было возвращено первоначальное название. Приведен устав РОРР 1931 г. и отсканированная статья об истории РОРР, опубликованная в журнале «Вестник рентгенологии и радиологии» в 1920 г. В разделе «История региональных отделений РОРР» особый интерес вызывает история Санкт-Петербургского радиологического общества (СПРО). Приведен устав СПРО 1938 г., несколько протоколов заседания Петроградского общества рентгенологов и радиологов 20-х годов прошлого века и другие уникальные материалы. В частности, на страницах Галереи можно ознакомиться с календарями работы общества и тезисами докладов на заседаниях 60-х и 70-х годов прошлого века. Удалось сохранить эти материалы благодаря профессору Н.А. Карловой, которой передали подшивки календарей работы Ленинградского научного общества рентгенологов и радиологов, собранных председателем Н.С. Косинской и ученым секретарем общества Л.Е. Кевеш
История съездов рентгенологов	Первый Всероссийский съезд рентгенологов состоялся 19 декабря 1916 г. В настоящее время аналогами съездов можно считать конференции, форумы и конгрессы международного и национального уровней. Отсканированные материалы съездов рентгенологов России размещены в разделе, приведена подборка публикаций о съездах, в том числе хроника всесоюзных съездов. Украшает раздел подборка значков, выпущенных в честь съездов рентгенологов СССР. Приведен перечень современных конференций и форумов специалистов лучевой диагностики общероссийского, международного и регионального уровней с прямыми ссылками на сайты конференций

Окончание табл. 1 / Ending of the Table 1

Название подраздела	Содержание
История профильных научно-исследовательских институтов и отделений лучевой диагностики ведущих клиник	История лучевой диагностики, как мозаика, складывается из историй отдельных институтов, отделений и кабинетов лучевой диагностики. Продолжительность существования любых организаций, в том числе институтов и больниц, ограничена, так как они подвергаются реорганизации, трансформируются и даже ликвидируются. Этот раздел позволит сохранить историю лучевой диагностики ранее существовавших и ныне действующих учреждений науки, образования и здравоохранения. Здесь размещены материалы об истории первых кабинетов рентгенодиагностики и отделов рентгенорадиологии, а также современных институтов лучевой диагностики. Раздел содержит ссылки на страницы институтов, посвященные истории
История профессиональных журналов	В Российской Федерации в настоящее время издается несколько журналов, посвященных вопросам лучевой диагностики и ядерной медицины. Первую попытку издания журнала по рентгенологии в дореволюционной России предпринял врач Яков Мойсеевич Розенблат в 1907 г., но было опубликовано только два номера журнала «Рентгеновский вестник». Раздел содержит ссылки на сайты современных журналов по лучевой диагностике и тематические статьи
История преподавания лучевой диагностики	Развитие лучевой диагностики как науки, с возможностью ее практического использования, во многом зависит от правильного решения вопросов преподавания дисциплины и организации подготовки специалистов. На протяжении прошедших десятилетий менялись и перестраивались подходы к организации и методике преподавания рентгенологии, радиологии, лучевой диагностики, что было связано с новыми технологическими достижениями в развитии нашей специальности, а также с меняющимися социально-экономическими условиями. История кафедр до- и постдипломного уровня — это вечная история переименований, трансформаций кафедр в курсы и вновь в кафедры. Раздел содержит подборку отсканированных статей по вопросам подготовки кадров, перечень кафедр лучевой диагностики страны со ссылками на страницы кафедр, статьи по истории преподавания на до- и постдипломном уровнях, а также информацию о награждениях премиями правительства в области образования преподавателей лучевой диагностики. Один из подразделов посвящен выставке СПбГУ «100 лет преподавания дисциплины “Рентгенология” как самостоятельного учебного курса в медицинском вузе»
История студенческих научных обществ вузов страны	Первые студенческие научные общества (СНО) по рентгенологии (лучевой диагностике) появились в 20-х годах прошлого века. Названия СНО неоднократно менялись, но сохранялась научно-практическая, исследовательская направленность работы. Расцвет студенческих научных обществ вузов страны пришелся на период СССР. В наши дни также работают многочисленные объединения студентов, которые увлекаются научными исследованиями разных направлений, в том числе лучевой диагностикой. В разделе приведены ссылки на страницы СНО некоторых институтов и статьи по истории кружков
История организации службы лучевой диагностики в системе здравоохранения	Развитие службы лучевой и инструментальной диагностики началось с появления разрозненных кабинетов рентгенодиагностики при клиниках, трансформировавшихся в дальнейшем в самостоятельные подразделения лечебных и научных учреждений. В этом разделе размещено большое количество отсканированных статей по организации службы лучевой диагностики, подборки отчетов главных внештатных специалистов по лучевой и инструментальной диагностике, что позволит посетителям сайта ознакомиться с развитием системы лучевой диагностики нашей страны
Музеи научно-исследовательских институтов, университетов, лечебно-профилактических учреждений и экспозиции музеев страны, включающие информацию по истории лучевой диагностики	Многие организации бережно относятся к истории и располагают своими музеями, рассказывающими об их становлении и развитии лучевой диагностики. В этом разделе Галереи содержатся ссылки на некоторые музеи институтов. Центральное место занимает экскурсия по музею первого в мире института рентгенологии — Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова. Запланирована экскурсия по запасникам крейсера «Аврора», где сохранилась историческая аппаратура для рентгенодиагностики
История лучевой диагностики в зарубежных странах	Этот раздел, как и все другие, продолжает пополняться. В настоящее время раздел содержит ссылки на страницы иностранных профессиональных сообществ и несколько отсканированных статей прошлого века, в том числе «Письма из-за границы» 1926 г. М.И. Немёнова, в которых описывается состояние рентгенологии и радиологии во Франции и Германии того времени

В разделе «Выдающиеся отечественные ученые, портретная галерея» представлены презентации, статьи, фотографии, ссылки на электронные ресурсы.

В рубрике «Пионеры рентгенологии» собраны материалы, посвященные отечественным и зарубежным ученым, врачам, техникам, которые работали в первые десятилетия развития рентгенологии и родились еще в позапрошлом веке.

В память о подвиге советских рентгенологов выделен раздел «Рентгенологи во время Великой Отечественной войны», в котором приведены материалы по истории военной рентгенологии. В данный раздел включены материалы Второй конференции рентгенологов Ленинградского фронта (10–11 мая 1944 г.) и фотография диссертации профессора Натальи Сигизмундовны Коссинской на тему «Рентгенодиагностика огнестрельных черепно-мозговых ранений», представленной на соискание ученой степени доктора медицинских наук.

Раздел «Воспоминания врачей-рентгенологов, врачей лучевой диагностики» содержит в настоящее время только воспоминания А.Ф. Йоффе о В.К. Рентгене и воспоминания проф. Б.А. Минько «Как я стал рентгенологом», но мы надеемся, что этот раздел после открытия Галереи будет быстро пополняться.

В разделе «Интервью известных специалистов по лучевой диагностике России» представлены интервью с нашими современниками, известными специалистами по лучевой диагностике, профессорами, главными редакторами профессиональных журналов, в которых они изложили свое видение настоящего и перспектив развития лучевой диагностики.

Раздел «Вечная память врачам и ученым-рентгенологам» посвящен выдающимся специалистам, внесшим неоценимый вклад в развитие рентгенологии и медицинской науки. Здесь собраны имена тех, кто посвятил свою жизнь исследованию и практическому применению рентгеновских технологий, спасает жизни и улучшает качество диагностики. Этот раздел служит напоминанием об их заслугах, преданности делу и важности их работы для современного здравоохранения.

Страница «Пионеры рентгенологии. Универсальность» содержит материалы, посвященные истории изучения рентгенологии в Императорском Санкт-Петербургском университете, которая началась через несколько дней после публикации первого сообщения об X-лучах 3 января 1896 г.

Страница «Фотоархив, портретная галерея» в настоящее время еще разрабатывается и не открыта. Она будет содержать фотографии и другие материалы, присылаемые посетителями Галереи.

Прогресс лучевой диагностики зависит от научных открытий и развития технологий визуализации, поэтому в разделе «Развитие технологий» размещены следующие рубрики:

- история рентгентехники (рентгенодиагностика, рентгеновская компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, ультразвуковая диагностика, радионуклидные исследования);
- новые технологии;
- контрастные средства (для традиционной рентгенодиагностики, компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии, ультразвуковой диагностики);
- достижения науки.

На страницах этого раздела представлена реклама рентгентехники и контрастных препаратов начала прошлого века, отсканированные статьи по истории методик рентгенодиагностики и рентгентехники. Особый интерес вызывает статья А.И. Тхоржевского на тему «Двадцать лет советской рентгентехники (критический обзор)», опубликованная в журнале «Вестник рентгенологии и радиологии» в 1937 г.

На странице сайта «Контрастные средства» можно ознакомиться с литературой по истории первых контрастных препаратов и уже снятых с производства контрастных средств.

Раздел «Достижения науки» продолжает разрабатываться и заполняется актуальной информацией.

Раздел «Материалы по преподаванию и для обучения лучевой диагностике» включает информацию о развитии системы преподавания предмета в медицинских институтах страны и предназначен для преподавателей и учащихся. Развитие лучевой диагностики во многом зависит от правильного решения вопросов преподавания дисциплины на до- и постдипломном уровнях подготовки специалистов. Анализ опыта преподавания лучевой диагностики послужит основой для принятия правильных, обоснованных решений по совершенствованию подготовки специалистов, по сохранению и передаче накопленного педагогического опыта и учебно-методических разработок.

Приведена обширная подборка литературы по преподаванию предмета на до- и последипломном уровне.

В этом разделе можно ознакомиться с материалами всесоюзных совещаний по вопросам подготовки кадров, конференций различных всероссийских учебно-методических комиссий, заседаний Проблемной учебно-методической комиссии по лучевой диагностике и лучевой терапии.

Некоторые методические указания, рабочие тетради, практикумы уже размещены в соответствующем подразделе и будут полезны читателям.

Интерес у преподавателей вызовет раздел «Типовые и унифицированные программы для студентов». Здесь представлены программы, разработанные для студентов медицинских институтов, а также для подготовки врачей-ординаторов и врачей-интернов.

Раздел «Документы» содержит активные ссылки на действующие документы, регламентирующие деятельность службы лучевой диагностики и подготовку специалистов, а также архив документов. Здесь выделены следующие подразделы:

- действующие приказы по лучевой диагностике;
- действующие приказы по подготовке специалистов по лучевой диагностике;
- приказы по лучевой диагностике советского периода и утратившие силу документы.

Таким образом, читатель найдет на страницах Галереи много новых, впервые публикуемых фактов и сведений. Благодаря бережному отношению к первоисточникам, совершенно неизвестным или основательно забытым старым архивным материалам сохранится историческая правда о путях развития лучевой диагностики в нашей стране и за рубежом. Опираясь на опыт пионеров лучевой диагностики, Галерея поможет найти современнику:

- новые методы и ресурсы для совершенствования службы лучевой диагностики;
- новые подходы для подготовки студентов и врачей на этапах непрерывного медицинского образования на протяжении всей профессиональной жизни в специальности.

Галерея продолжает пополняться и разрабатываться, в связи с этим еще не все материалы в ней размещены. «Дайте мне музей, и я его заполню», — сказал Пабло Пикассо. СПбГУ приглашает к сотрудничеству в создании контента и размещению материалов на страницах сайта «Галерея лучевой диагностики». Каждый желающий может прислать оригинальные материалы (статьи, фотографии и пр.) по тематике Галереи, а также ссылки на официальные страницы организаций для размещения на страницах сайта. Если организация располагает своим музеем, посвященным истории учреждения, возможно размещение материалов видеозаписи. Для удобства пользователей в первом разделе Галереи размещена форма «Рассказать историю». Такой подход позволит Галерее постоянно пополняться и сделает доступным для всех желающих размещение исторических материалов, фотографий и воспоминаний, сформировать аналог «Бессмертного полка» применительно к ученым и врачам, составившим славу отечественной лучевой диагностики.

Контактным лицом для взаимодействия от СПбГУ является д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, заведующая кафедрой лучевой диагностики Медицинского института СПбГУ, главный внештатный специалист по лучевой диагностике и инструментальной диагностике СЗФО и Комитета по здравоохранению Санкт-Петербурга Т.Н. Трофимова.

Ссылка на сайт: <https://x-ray.spbu.ru/>

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

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

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

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Годичный Актъ. Отчетъ о состояніи и деятельности Императорскаго С.-Петербургскаго Университета за 1896 годъ, составленный и. д. ординарнаго профессора Н.И. Веселовскимъ. Съ приложениемъ речи ординарнаго профессора П.И. Георгиевскаго. С.-Петербургъ, типографія и Литографія Б.М. Вольфа, Разъезжая 15; 1887.
2. Карлова Н.А., Трофимова Т.Н., Бойцова М.Г., Зорин Я.П. Начало истории рентгенологии в Санкт-Петербурге — Петрограде. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2018;8(1):9–15. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-1-9-15>.
3. Труфанов Г.Е., Черемисин В.М., Асатурян М.А., Давыденко В.А. История кафедры рентгенологии и радиологии Военно-медицинской академии в лицах и фактах. Кафедре рентгенологии и радиологии — 85 лет. СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2015. 320 с.

4. Асатурян М.А., Давыденко В.А., Труфанов Г.Е., Черемисин В.М. История кафедры рентгенологии и радиологии Военно-медицинской академии в лицах и фактах. СПб.; 2009. 224 с.
5. Очерки развития медицинской рентгенологии. 50 лет рентгеновских лучей в медицине. С.А. Рейнберг, ред. М.: Медгиз; 1948. 276 с.

REFERENCES

1. Annual Report. Report on the state and activities of the Imperial St. Petersburg University for 1896, compiled by N.I. Veselovsky, an ordinary professor. With the application of the speech of the ordinary professor P.I. Georgievsky. — S.-Petersburg, typography and lithography of B.M. Wolf, Razyezzhaya 15; 1887.
2. Trofimova T.N., Karlova N.A. Boitsova M.G., Zorin Y.P. The beginning of radiology history in Saint-Petersburg, Petro-

grad. Russian Electronic Journal of Radiology. 2018;8(1):9–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-1-9-15>.

3. Trufanov G.E., Cheremisin V.M., Asaturyan M.A., Davydenko V.A. The history of the Department of X-ray and Radiology of the Military Medical Academy in persons and facts. The Department of Radiology and Nuclear Medicine is 85 years old. Saint Petersburg: ELBI-SPb; 2015. 320 p. (In Russ.).
4. Asaturyan M.A., Davydenko V.A., Trufanov G.E., Cheremisin V.M. The History of the Department of Radiology and Nuclear Medicine of the Military Medical Academy in Personalities and Facts. Saint Petersburg; 2009. 224 p. (In Russ.).
5. Essays on the development of medical radiography. 50 years of X-rays in medicine. S.A. Reinberg, ed. Moscow: Medgiz; 1948. 275 p. (In Russ.).

ОБ АВТОРАХ

Татьяна Николаевна Трофимова — д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой лучевой диагностики Медицинского института. E-mail: ttrofimova@groupmmc.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>; SPIN: 9733-2755

✉ **Наталья Александровна Карлова** — д.м.н., профессор, академик МАНЭБ, профессор кафедры лучевой диагностики Медицинского института. E-mail: st008555@spbu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2681-6940>; SPIN: 2414-5544

Марина Геннадьевна Бойцова — к.м.н., доцент, доцент кафедры лучевой диагностики Медицинского института. E-mail: mgboitsova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6244-975X>; SPIN: 4740-3613

Ярослав Петрович Зорин — к.м.н., доцент, доцент кафедры лучевой диагностики Медицинского института. E-mail: yzorin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9260-5119>; SPIN: 4936-8592

Ирина Григорьевна Камышанская — д.м.н., доцент, профессор кафедры лучевой диагностики Медицинского института. E-mail: irinaka@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8351-9216>; SPIN: 2422-5191

AUTHORS' INFO

Tatiana N. Trofimova — Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Radiological Diagnostics at the Medical Institute. E-mail: ttrofimova@groupmmc.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>; SPIN: 9733-2755

✉ **Natalia A. Karlova** — Dr. Sci. (Med.), Professor, Academician of International Academy of Sciences of Ecology, Human Safety and Nature, Professor of the Department of Radiation Diagnostics of the Medical Institute. E-mail: st008555@spbu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2681-6940>; SPIN: 2414-5544

Marina G. Boitsova — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics of the Medical Institute. E-mail: mgboitsova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6244-975X>; SPIN: 4740-3613

Yaroslav P. Zorin — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics of the Medical Institute. E-mail: yzorin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9260-5119>; SPIN: 4936-8592

Irina G. Kamyshanskaya — Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Professor of the Department of Radiation Diagnostics of the Medical Institute. E-mail: irinaka@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8351-9216>; SPIN: 2422-5191