

# **Вестник рентгенологии и радиологии**

Рецензируемый научно-практический журнал

Том 106, № 1–3 2025

# **Journal of Radiology and Nuclear Medicine**

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal

Vol. 106, No. 1–3, 2025

# Вестник рентгенологии и радиологии

## Рецензируемый научно-практический журнал

Журнал включен ВАК в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальности 3.1.25. «Лучевая диагностика (медицинские науки)». Официальный журнал Российского общества рентгенологов и радиологов. Представлен в Российском индексе научного цитирования. Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-71544 от 13.11.2017 г.

Периодичность 1 раз в два месяца.

Издательство журнала установило лицензионные отношения в электронном виде с издательством EBSCO Publishing, ведущим мировым агрегатором полных текстов всевозможных журналов и электронных книг. Полный текст статей журнала можно найти в базе данных EBSCOhost™

**Учредитель 1:** Общероссийская общественная организация содействия развитию лучевой диагностики и терапии «Российское общество рентгенологов и радиологов»

**Адрес:** 129344, г. Москва, ул. Верхоянская, д. 18, корп. 2, эт. 0, пом. 2, ком. 4

**Учредитель 2:** Общество с ограниченной ответственностью «ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА»

**Адрес:** 121552, Москва, ул. Ярцевская, д. 34, корп. 1, эт. 2, пом. I, комн. 7, оф. 33

**Издатель:** Общество с ограниченной ответственностью «ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА»  
121552, Москва, ул. Ярцевская, д. 34, корп. 1, эт. 2, пом. I, комн. 7, оф. 33

**Стоимость:** Свободная цена

**Адрес редакции, телефон:** 121552, Москва, ул. Ярцевская, д. 34, корп. 1, эт. 2, пом. I, комн. 7, оф. 33, тел.: +7 (985) 120-70-06

**Подписной индекс:** 81601 – в каталоге «Урал-Пресс»

Подписку на печатный экземпляр журнала можно оформить на сайте [www.ural-press.ru](http://www.ural-press.ru)

Полная электронная версия статей журнала размещается на сайтах: <https://www.elibrary.ru>, <https://www.iprbooks.ru>,  
<https://rucont.ru>, <https://www.ebsco.com>, <https://cyberleninka.ru>

### Главный редактор

**Тюрин И.Е.**, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва

### Редакционная коллегия

**Абельская И.С.**, д. м. н., профессор, Минск, Беларусь

**Балахонова Т.В.**, д. м. н., профессор, Москва, Россия

**Даутов Т.Б.**, д. м. н., профессор, Нур-Султан, Республика Казахстан

**Дмитриева Л.И.**, к. м. н., Москва, Россия

**Коновалов Р.Н.**, к. м. н., доцент, Москва, Россия

**Лисицкая М.В.**, к. м. н., ответств. секретарь, Москва, Россия

**Михайлов А.Н.**, д. м. н., профессор, акад. Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

**Морозов А.К.**, д. м. н., профессор, Москва, Россия

**Низовцова Л.А.**, д. м. н., профессор, Москва, Россия

**Нуднов Н.В.**, д. м. н., профессор, Москва, Россия

**Осиев А.Г.**, д. м. н., профессор, Москва, Россия

**Ратников В.А.**, д. м. н., профессор, Санкт-Петербург, Россия

**Ридэн Т.В.**, д. м. н., профессор, Людвигсхафен-на-Рейне, Германия

**Рожкова И.И.**, д. м. н., профессор, Москва, Россия

**Сергиенко В.Б.**, д. м. н., профессор, Москва, Россия

**Синицын В.Е.**, д. м. н., профессор, зам. главного редактора, Москва, Россия

**Солодкий В.А.**, д. м. н., профессор, акад. РАН, Москва, Россия

**Сташук Г.А.**, д. м. н., профессор, Москва, Россия

**Терновой С.К.**, д. м. н., профессор, акад. РАН, 1-й зам. главного редактора, Москва, Россия

**Черкавская О.В.**, д. м. н., заведующая редакцией, Москва, Россия

**Шария М.А.**, д. м. н., профессор, Москва, Россия

**Boris Brkljacic**, Dr. Med. Sc., Professor, Zagreb, Croatia

**Michael H. Fuchsjaeger**, Dr. Med. Sc., Professor, Graz, Austria,

**Nicholas C. Gourtsoyiannis**, Dr. Med. Sc., Professor, Crete, Greece

**Andrei I. Holodny**, Dr. Med. Sc., Professor, New York, USA

**Ruzica Maksimovic**, Dr. Med. Sc., Professor, Belgrade, Serbia

**Maximilian F. Reiser**, Dr. Med. Sc., Professor, Munich, Germany

**Jacob Sosna**, Dr. Med. Sc., Professor, Jerusalem, Israel

# Journal of Radiology and Nuclear Medicine

## Vestnik rentgenologii i radiologii

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal

Founded in 1920.

Official Journal of Russian Society of Radiology.

Journal is indexed in RSCI (Russian Science Citation Index).

Issued bimonthly.

The journal accepts articles on specialty 3.1.25. "Radiation Diagnostics (medical sciences)". Registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media. Registration certificate PI No. FS77-71544, November 13, 2017.

Publisher has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO Publishing, the world's leading aggregator of full text journals, magazines and eBooks. The full text of journal can be found in the EBSCOhost™ databases

|                                   |                                                                                                                   |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Founder 1:</b>                 | Russian Society of Radiology                                                                                      |
| <b>Address:</b>                   | 129344, Moscow, Verkhoyanskaya street, 18, bld. 2, floor 0, apartment 2, room 4                                   |
| <b>Founder 2:</b>                 | Limited Liability Company "LUCHEVAYA DIAGNOSTIKA"                                                                 |
| <b>Address:</b>                   | 121552, Moscow, Yartsevskaya str., 34, bld. 1, floor 2, apartment 1, room 7, office 33                            |
| <b>Publisher:</b>                 | Limited Liability Company "LUCHEVAYA DIAGNOSTIKA"                                                                 |
|                                   | 121552, Moscow, Yartsevskaya str., 34, bld. 1, floor 2, apartment 1, room 7, office 33                            |
| <b>The cost of one issue:</b>     | Free price                                                                                                        |
| <b>Address, phone of edition:</b> | 121552, Moscow, Yartsevskaya str., 34, bld. 1, floor 2, apartment 1, room 7, office 33, phone: +7 (985) 120-70-06 |
| <b>Subscription index:</b>        | 81601 – in the Ural-Press catalog                                                                                 |

You can subscribe to a printed copy of the journal on the website <https://www.ural-press.ru/>

The full electronic version of the journal articles is published on the websites: <https://www.elibrary.ru>, <https://www.iprbooks.ru>, <https://www.rucont.ru>, <https://www.ebsco.com>, <https://cyberleninka.ru>

### Editor-in-Chief

**Igor' E. Tyurin**, Dr. Med. Sc., Professor, Head of Chair of Radiology and Nuclear Medicine, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

### Editorial board

|                                                                                                                               |                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Irina S. Abelskaya</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Minsk, Belarus                                                           | <b>Valentin E. Sinitsyn</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Deputy editor, Moscow, Russia                                               |
| <b>Tatiana V. Balakhonova</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia                                                       | <b>Vladimir A. Solodkiy</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia                  |
| <b>Tairkhan B. Dautov</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Nur-Sultan, Kazakhstan                                                   | <b>Galina A. Stashuk</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia                                                                 |
| <b>Lyudmila I. Dmitrieva</b> , Cand. Med. Sc., Moscow, Russia                                                                 | <b>Sergey K. Ternovoy</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, 1st Deputy editor, Moscow, Russia |
| <b>Rodion N. Konovalov</b> , Cand. Med. Sc., Associate Professor, Moscow, Russia                                              | <b>Olga V. Cherkavskaya</b> , Dr. Med. Sc., Head of Editorial Board, Moscow, Russia                                                |
| <b>Maria V. Lisitskaya</b> , Cand. Med. Sc., Executive secretary, Moscow, Russia                                              | <b>Merab A. Shariya</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia                                                                  |
| <b>Anatoly N. Mikhaylov</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Academician of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus | <b>Boris Brkljacic</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Zagreb, Croatia                                                                  |
| <b>Aleksandr K. Morozov</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia                                                         | <b>Michael H. Fuchsjaeger</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Graz, Austria                                                             |
| <b>Lyudmila A. Nizovtsova</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia                                                       | <b>Nicholas C. Gourtsoyiannis</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Crete, Greece                                                         |
| <b>Nikolay V. Nudnov</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia                                                            | <b>Andrei I. Holodny</b> , Dr. Med. Sc., Professor, New York, USA                                                                  |
| <b>Aleksandr G. Osiev</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia                                                           | <b>Ruzica Maksimovic</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Belgrade, Serbia                                                               |
| <b>Vyacheslav A. Ratnikov</b> , Dr. Med. Sc., Professor, St. Petersburg, Russia                                               | <b>Maximilian F. Reiser</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Munich, Germany                                                             |
| <b>Tatiana V. Riden</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Ludwigshafen am Rhein, Germany                                             | <b>Jacob Sosna</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Jerusalem, Israel                                                                    |
| <b>Nadezhda I. Rozhkova</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia                                                         |                                                                                                                                    |
| <b>Vladimir B. Sergienko</b> , Dr. Med. Sc., Professor, Moscow, Russia                                                        |                                                                                                                                    |

Оригинальные статьи**Нуднов Н.В., Аксенова С.П., Ивашина С.В., Султанова П.Н.**

Клиническое значение лучевых методов в диагностике рака шейки матки ..... 6

**Фатхутдинова А.Т., Юсупова А.Ф., Хайртдинова К.Ш.**

Цифровой томосинтез молочных желез как инструмент снижения ложноположительных результатов маммографии: сравнительный анализ диагностической точности..... 17

**Дворецкая М.А., Дворецкий С.Ю., Сперанская А.А.**

КТ-диагностика ранних послеоперационных осложнений при лечении рака легкого ..... 27

**Шариати Ф., Павлов В.А.**

Новые текстурные радиомические сигнатуры для неинвазивного прогнозирования статуса мутации EGFR в легочных узелках..... 45

Клинические случаи**Маштак И.С., Никитин П.А., Карпова А.А., Горбунков С.Д., Черняев А.Л.**

Современный мультимодальный рентгенологический подход в диагностике нетипичной локализации эхинококковой кисты ..... 53

**Козлова Ю.А., Левина О.Н., Павлив М.П., Алонцева К.А., Сорокин Т.А.**

Диагностика синдрома верхней брыжеечной артерии: значение функциональных проб и лучевой визуализации..... 60

## Original research

**Nikolay V. Nudnov, Svetlana P. Aksenova, Svetlana V. Ivashina, Peri N. Sultanova**

Clinical Significance of Diagnostic Images in the Evaluation of Cervical Cancer .....6

**Aida T. Fatkhutdinova, Alsu F. Yusupova, Kamilya Sh. Khairtdinova**

Digital Breast Tomosynthesis as a Tool to Reduce False-Positive Mammography Results:  
a Comparative Analysis of Diagnostic Accuracy..... 17

**Maria A. Dvoretzkaya, Sergey Yu. Dvoretzkiy, Aleksandra A. Speranskaya**

CT Diagnostics of Early Postoperative Complications After Lung Cancer Treatment ..... 27

**Faridoddin Shariaty, Vitalii A. Pavlov**

Novel Texture-Based Radiomic Signatures for Non-Invasive Prediction of EGFR Mutation  
Status in Lung Nodules ..... 45

## Case reports

**Irina S. Mashtak, Pavel A. Nikitin, Anastasia A. Karpova, Stanislav D. Gorbunkov,  
Andrey L. Cherniaev**

Contemporary Multimodal Radiological Approach to the Diagnosis of Atypically Localized  
Echinococcal Cyst ..... 53

**Yulia A. Kozlova, Oksana N. Levina, Mariia P. Pavliv, Ksenia A. Alontseva, Timur A. Sorokin**

Diagnosis of Superior Mesenteric Artery Syndrome: the Role of Functional Tests  
and Radiologic Imaging ..... 60



# Клиническое значение лучевых методов в диагностике рака шейки матки

Нуднов Н.В.<sup>1,2,3</sup>, Аксенова С.П.<sup>1,2</sup>, Ивашина С.В.<sup>1</sup>, Султанова П.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, ул. Профсоюзная, 86, Москва, 117997, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1, Москва, 125993, Российская Федерация

**Нуднов Николай Васильевич**, д. м. н., профессор, зам. директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, профессор кафедры онкологии и рентгенорадиологии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России;  
<http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

**Аксенова Светлана Павловна**, к. м. н., науч. сотр. лаборатории рентгенорадиологии научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, ассистент кафедры онкологии и рентгенорадиологии им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы»;  
<https://orcid.org/0000-0003-2552-5754>

**Ивашина Светлана Вячеславовна**, к. м. н., ст. науч. сотр. лаборатории комплексной диагностики и лечения заболеваний органов мочеполовой и репродуктивной систем у взрослых и детей научно-исследовательского отдела хирургии, урологии, гинекологии и инвазивных технологий в онкологии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0002-9287-2636>

**Султанова Пери Назимовна**, клинический ординатор по специальности «рентгенология» ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0009-0009-3006-8210>

## Резюме

**Актуальность.** Проблемы диагностики и лечения рака шейки матки (РШМ) сохраняют свою актуальность из-за роста заболеваемости и высокой смертности от данной патологии, включая пациенток репродуктивного возраста. «Золотым стандартом» визуализации опухолей шейки матки является магнитно-резонансная томография (МРТ) органов малого таза. Имеются противоречивые данные относительно эффективности ультразвукового исследования (УЗИ) в диагностике параметральной инвазии. В то же время успехи современной ультразвуковой сонографии в онкогинекологии позволили взглянуть на проблему диагностики местнораспространенного РШМ с более оптимистических позиций.

**Цель:** оценка возможностей УЗИ и МРТ в диагностике местнораспространенного РШМ и динамическом мониторинге структурных изменений шейки матки в процессе комплексного лечения.

**Материал и методы.** Проведено одноцентровое ретроспективное выборочное исследование. Проанализированы результаты лучевых методов (комплексное УЗИ и МРТ) у 23 пациенток с РШМ, из них 7 женщин репродуктивного возраста. По гистологической структуре у 20 (87%) пациенток определялась плоскоклеточная карцинома, у 3 (13%) – эндоцервикальная аденокарцинома. В 18 случаях (78,3%) в процессе комплексного лечения выполнен хирургический этап, в 5 (21,7%) проведена только химиолучевая терапия. Хирургическое вмешательство в объеме экстирпации матки с придатками и тазовой лимфаденэктомии осуществлено на первом этапе у 3 (13%) больных со стадией 1B1, остальным 20 пациенткам (87%) проведена неоадьювантная полихимиотерапия (НАПХТ), которую дополнила химиоэмболизация маточных артерий (ХЭМА) в 7 из 20 (35%) случаев. УЗИ выполнены всем пациенткам на аппарате eSaote Pro с применением высокотехнологичных методов по общепринятой методике: В-режим, доплерография в энергетическом режиме, 3D-реконструкция в ангиорежиме, ультразвуковая томография. МРТ органов малого таза с контрастированием проведена у 21 из 23 пациенток (91%) на томографах с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл (Canon Vantage Atlas, Siemens Magnetom Aero).

**Результаты.** В процессе проведения ХЭМА и/или НАПХТ у всех пациенток (20 из 20) отмечалось уменьшение объема шейки матки и локусов неоваскуляризации, в большинстве случаев – снижение скорости кровотока. Включение хирургического этапа в лечение возможно при отсутствии данных парацервикаль-

ной, параметральной инфильтрации, основанных на клинических, магнитно-резонансных и ультразвуковых данных с учетом отсутствия ультразвукового признака «парацервикальный сосуд +». Отсутствие указанного признака и, соответственно, параметральной инвазии коррелировало с результатами МРТ. Показатели диагностической информативности УЗИ в выявлении параметральной инвазии составили: чувствительность – 89,4%, специфичность – 91,3%, прогностическая ценность положительного результата (ПЦПР) – 89,4%, прогностическая ценность отрицательного результата (ПЦОР) – 55,2%. Чувствительность, специфичность, ПЦПР и ПЦОР МРТ в выявлении параметральной инвазии составили: 76,9%, 75,0%, 83,3%, 66,7% для исследователя 1 (стаж 2 года) и 91,7%, 87,5%, 84,6%, 77,8% для исследователя 2 (стаж 8 лет) соответственно.

**Заключение.** Применение высокотехнологичных методов диагностики (УЗИ и МРТ) позволяет с высокими показателями диагностической информативности визуализировать параметральную инвазию при РШМ.

**Ключевые слова:** рак шейки матки; местнораспространенный рак шейки матки; трехмерная эхография; 3D-ангиография; ультразвуковая томография; магнитно-резонансная томография; парацервикальная опухолевая инфильтрация; параметральная опухолевая инфильтрация; индекс резистентности; скорость кровотока; химиоэмболизация маточных артерий; неоадьювантная полихимиотерапия.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Нуднов Н.В., Аксенова С.П., Ивашина С.В., Султанова П.Н. Клиническое значение лучевых методов в диагностике рака шейки матки. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2025; 106(1–3): 6–16. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-6-16>

**Для корреспонденции:** Аксенова Светлана Павловна, e-mail: fabella@mail.ru

Статья поступила 30.06.2025

После доработки 03.08.2025

Принята к печати 04.08.2025

## Clinical Significance of Diagnostic Images in the Evaluation of Cervical Cancer

**Nikolay V. Nudnov<sup>1,2,3</sup>, Svetlana P. Aksenova<sup>1,2</sup>, Svetlana V. Ivashina<sup>1</sup>, Peri N. Sultanova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Russian Scientific Center of Roentgenoradiology,  
ul. Profsoyuznaya, 86, Moscow, 117997, Russian Federation

<sup>2</sup> Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba,  
ul. Miklukho-Maklaya, 6, Moscow, 117198, Russian Federation

<sup>3</sup> Russian Medical Academy of Continuing Professional Education,  
ul. Barrikadnaya, 2/1, str. 1, Moscow, 125993, Russian Federation

**Nikolay V. Nudnov**, Dr. Med. Sc., Professor, Deputy Director for Scientific Work, Head of Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology; Professor, Chair of Oncology and Roentgenology, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; Professor, Chair of Radiology and and Nuclear Medicine, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education;  
<http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

**Svetlana P. Aksenova**, Cand. Med. Sc., Researcher, Roentgenoradiology Laboratory, Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology; Assistant Professor, Kharchenko Chair of Oncology and Roentgenology, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba;  
<https://orcid.org/0000-0003-2552-5754>

**Svetlana V. Ivashina**, Cand. Med. Sc., Senior Researcher, Laboratory for Complex Diagnostics and Treatment of Diseases of Genitourinary and Reproductive Systems in Adults and Children, Research Department of Surgery, Urology, Gynecology and Invasive Technologies in Oncology, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;  
<https://orcid.org/0000-0002-9287-2636>

**Peri N. Sultanova**, Clinical Resident in Radiology, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;  
<https://orcid.org/0009-0009-3006-8210>

### Abstract

**Background.** The problems of diagnostics and treatment of cervical cancer (CC) currently remain relevant due to the increase in morbidity and high mortality from this disease, including patients of reproductive age. The “gold standard” for visualization of cervical tumors is pelvic magnetic resonance imaging (MRI). Data on the efficiency of the method in diagnostics of parametrial invasion are contradictory. At the same time, the successes of modern ultrasound sonography in oncogynecology allowed us to look at the problem of diagnostics of locally advanced CC from a more optimistic standpoint.

**Objective:** evaluation of the capabilities of ultrasound and MRI in the diagnosis of locally advanced CC and dynamic monitoring of structural changes in the cervix during comprehensive treatment.

**Material and methods.** The single-center, retrospective, selective study was carried out. The results of complex ultrasound and MRI were analyzed in 23 patients with CC, including 7 patients of reproductive age. According to the histological structure, squamous cell carcinoma was determined in 20 (87%) cases, endocervical adenocarcinoma in 3 (13%) cases. During comprehensive treatment, 18 patients (78.3%) underwent surgery, 5 (21.7%) patients had only chemoradiation therapy. Surgical treatment (extirpation of the uterus with appendages and pelvic lymphadenectomy) was performed at the first stage in 3/23 (13%) patients with stage IB1, the remaining 20/23 (87%) underwent neoadjuvant polychemotherapy (NAPCT), which was supplemented in 7/20 (35%) cases with uterine artery chemoembolization (UACE). Ultrasound examinations were performed in 23 patients on the eSaote Pro device using high-tech methods according to generally accepted technique: B-mode, Dopplerography in energy mode, 3D reconstruction in angio mode, ultrasound tomography. Pelvic contrast-enhanced MRI was carried out in 21/23 (91%) patients on tomographs with a magnetic field strength of 1.5 T (Canon Vantage Atlas, Siemens Magnetom Aero).

**Results.** During UACE and/or NAPCT, all patients (20/20) showed a decrease in cervical volume, neovascularization loci, and blood flow velocity in most cases. The inclusion of the surgical stage of treatment is possible in the absence of paracervical, parametrial infiltration data based on clinical, magnetic resonance and ultrasound data, taking into account the absence of the ultrasound sign "paracervical vessel +". The absence of this sign and, accordingly, parametrial invasion, correlated with MRI results. The diagnostic informativeness indicators of ultrasound in detecting parametrial invasion were: sensitivity 89.4%, specificity 91.3%, positive predictive value (PPV) 89.4%, negative predictive value (NPV) 55.2%. Sensitivity, specificity, PPV and NPV of MRI in detecting parametrial invasion were 76.9%, 75.0%, 83.3%, 66.7% for researcher 1 (2 years of experience) and 91.7%, 87.5%, 84.6%, 77.8% for researcher 2 (8 years of experience), respectively.

**Conclusion.** The use of high-tech diagnostic methods (ultrasound and MRI) allows for high diagnostic performance in visualizing parametric invasion in CC.

**Keywords:** cervical cancer; locally advanced cervical cancer; 3D echography, 3D angiography, ultrasound tomography, magnetic resonance imaging, paracervical tumor infiltration, parametrial tumor infiltration, resistance index, blood flow velocity, uterine artery chemoembolization, neoadjuvant polychemotherapy.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Nudnov NV, Aksenova SP, Ivashina SV, Sultanova PN. Clinical significance of diagnostic images in the evaluation of cervical cancer. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2025; 106(1–3): 6–16 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-6-16>

**For corresponding:** Svetlana P. Aksenova, e-mail: [fabella@mail.ru](mailto:fabella@mail.ru)

Received June 30, 2025

Revised August 3, 2025

Accepted August 4, 2025

## Введение / Introduction

Рак шейки матки (РШМ) – наиболее распространенный вид опухолей женской репродуктивной системы. Проблемы диагностики и лечения РШМ сохраняют актуальность из-за роста заболеваемости и высокой смертности от данной патологии, включая пациенток репродуктивного возраста.

По статистическим данным, имеется четкая тенденция к росту заболеваемости РШМ. Так, если индекс накопления контингента больных РШМ в 2012 г. в России составлял 11,3, то уже в 2022 г. он повысился до 12,5. Показатель заболеваемости на 100 тыс. населения в 2012 г. составил 115,0 случая, а в 2022 г. – 127,6 [1, 2]. Абсолютное число впервые выявленных злокачественных новообразований шейки матки в 2012 г. достигло 14 865, а в 2022 г. – 15 607. Летальность в течение 1 года с момента установления диагноза высокая: в 2012 г. – 17,0%, хотя в 2022 г. показатель уменьшился до 11,9%.

Местнораспространенный РШМ стадий IIA–IVA по классификации, разработанной в 2019 г. Международной федерацией акушеров и гинекологов (International Federation of Gynecology and Obstetrics, FIGO), характеризуется неблагоприятным прогнозом и рецидивным течением. Включение в комплексное лечение неoadъювантной полихимиотерапии (НАПХТ) и/или химиоэмболизации маточных артерий (ХЭМА) позволило выполнять хирургический этап и улучшать результаты безрецидивной выживаемости [3, 4].

Важными критериями первичной диагностики РШМ являются оценки опухолевого очага шейки матки (размер образования), опухолевой инфильтрации парацервикальных тканей, параметриев и поражения лимфатических узлов [5, 6].

Ключевым аспектом выбора вида противоопухолевой терапии и возможности выполнения хирургического лечения служит наличие или отсутствие параметральной инвазии (стадия IIB

и более по FIGO) [5, 7]. Таким образом, методы диагностики помимо определения локализации и размеров опухоли главным образом должны ответить на вопрос о наличии инвазии прилежащей клетчатки. Данная задача оказалась достаточно трудной для современных методов диагностики. Несмотря на то что ведущим инструментом диагностики местнораспространенного РШМ является магнитно-резонансная томография (МРТ), ее показатели информативности в выявлении инвазии составляют от 71% до 88% по данным разных авторов [8–11]. В целом имеются контраверсии относительно возможностей выявления параметральной инвазии методом МРТ на начальных стадиях, особенно при варикозном расширении вен таза, наличии пришеечных миоматозных узлов, стелющемся характере роста и изолированном поражении параметрия в виде инвазии сосудов [8, 12].

Ведутся интенсивные исследования в отношении возможности использования ультразвуковых исследований (УЗИ) для оценки опухолевой инфильтрации парацервикальных тканей [13]. Следует отметить, что диагностический алгоритм связан с применением трехмерных ультразвуковых технологий, таких как 3D-ангиография и ультразвуковая томография [14]. Успехи современной ультразвуковой сонографии в онкогинекологии позволили взглянуть на проблему диагностики местнораспространенного РШМ с более оптимистических позиций [14, 15]. Однако споры относительно метода выбора в оценке параметральной инвазии при РШМ сохраняются.

**Цель** – оценка возможностей УЗИ и МРТ в диагностике местнораспространенного РШМ и динамическом мониторинге структурных изменений шейки матки в процессе комплексного лечения.

Материал и методы / Material and methods

Проведено одноцентровое ретроспективное выборочное исследование. Проанализированы результаты применения лучевых методов (комплексное УЗИ и МРТ) у 23 пациенток с РШМ, из них 7 женщин репродуктивного возраста. Распределение пациенток в зависимости от стадии РШМ представлено в таблице 1.

По гистологической структуре у 20 (87%) пациенток определялась плоскоклеточная карцинома, у 3 (13%) – эндцервикальная аденокарцинома.

У 18 (78,3%) больных в процессе комплексного лечения выполнен хирургический этап, 5 (21,7%) пациенткам проведена только химиолучевая терапия. Включение хирургического этапа в комплексное лечение местнораспространенного РШМ требовало конкретизации в отношении инфильтрации парацервикальных, параметральных тканей.

УЗИ проведены 23 пациенткам на аппарате eSaote Pro с применением высокотехнологичных методов по общепринятой методике: сначала в В-режиме, затем выполнялась доплерография в энергетическом режиме, и в завершение применялись высокотехнологичные ультразвуковые методы – 3D-реконструкция в ангиорежиме, ультразвуковая томография.

МРТ с контрастированием проведена у 21 (91%) пациентки на томографах с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл (Canon Vantage Atlas, Siemens Magnetom Aero). Протокол МРТ органов малого таза соответствовал рекомендациям Европейского общества урогенитальных радиологов (European Society of Urogenital Radiology, ESUR) от 2020 г. и Консенсуса лучевых диагностов от 2024 г. [16]. Протокол МРТ включал получение Т2-взвешенных изображений (Т2-ВИ) в трех взаимно перпендикулярных плоскостях (косые срезы по оси и перпендикулярно оси шейки матки), Т1-ВИ с подавлением сигнала от жировой ткани, диффузионно-взвешенные изображения с b-фактором взвешенности до 1000 мм<sup>2</sup>/с и динамическое контрастное усиление препаратами солей гадолиния.

Алгоритм обследования пациенток с морфологически верифицированным РШМ с использованием лучевых методов диагностики представлен на рисунке 1.

Результаты / Results

Методом сонографии были оценены объемы опухолевых очагов шейки матки, показатели неоваскуляризации, параметральная и парацервикальная инфильтрация и тазовые лимфоузлы. У 6 пациенток объем шейки не превышал 30 см<sup>3</sup>, у 8 женщин в постменопаузе и у 4 в репродуктивном возрасте он был более 60 см<sup>3</sup>. Данные по объемам шейки матки до начала лечения приведены в таблице 2.

Таблица 1

Распределение пациенток с раком шейки матки в зависимости от стадии заболевания

Table 1

Distribution of patients with cervical cancer by the disease stage

| Стадия заболевания / Disease stage | Число пациенток, n (%) / Number of patients, n (%) |
|------------------------------------|----------------------------------------------------|
| IB1 (T1b1N0M0)                     | 3 (13)                                             |
| IIA (T2aN0M0)                      | 5 (22)                                             |
| IIB (T2bN0M0)                      | 8 (35)                                             |
| IIIB (TIIaN1M0, TIIbN1M0, T3bN1M0) | 7 (30)                                             |

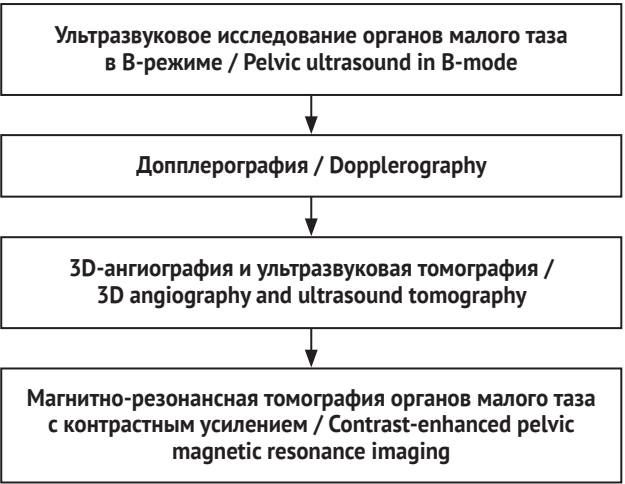


Рис. 1. Алгоритм обследования пациенток с раком шейки матки  
Fig. 1. Algorithm for examination of patients with cervical cancer

**УЗИ в диагностике параметральной инвазии**

При УЗИ в В-режиме опухолевые очаги плоскоклеточного РШМ были гипо- или изогипоэхогенной структуры без четких контуров, очаги аденокарциномы – изогипоэхогенной структуры (рис. 2).

На втором этапе обследования применялась методика энергетического доплеровского картирования для выявления особенностей неоваскуляризации и получения количественных показателей. Оценивали скорость кровотока и индекс резистентности (resistance index, RI). У всех 23 пациенток, включенных в исследование, регистрировался патологический кровоток, оценка которого проводилась не менее чем в пяти локусах как в центре, так и по периферии опухолевого очага шейки матки. Однако при выполнении энергетического доплеровского картирования в структуре шейки матки регистрировались разноскоростные

Таблица 2  
Объемы шейки матки у пациенток до начала лечения  
Table 2

| Cervical volumes before treatment     |                                                                       |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Стадия заболевания / Disease stage    | Объем шейки матки, см <sup>3</sup> / Cervical volume, cm <sup>3</sup> |
| IB1 (T1b1N0M0)                        | 31,6±12,1                                                             |
| IIA (T2aN0M0)                         | 61,2±11,5                                                             |
| IIB (T2bN0M0)                         | 58,1±26,9                                                             |
| IIIB (TIIa1N1M0, TIIb1N1M0, T3b1N1M0) | 67,9±37,4                                                             |

показатели, и по преобладанию пиковой скорости (peak velocity, PV) кровотока в локусах мы относили пациенток к той или иной группе. То же касалось и RI. В соответствии с показателями кровотока выделены следующие группы наблюдения:

- группа с низкоскоростным высокорезистентным кровотоком – 11 пациенток (47,8%);
- группа с высокоскоростным высокорезистентным кровотоком – 3 пациентки (13,0%);
- группа с высокоскоростным низкорезистентным кровотоком – 4 пациентки (17,5%);
- группа с низкоскоростным низкорезистентным кровотоком – 5 пациенток (21,7%).

Минимальная скорость кровотока в опухолевом очаге шейки составила 2 см/с, максимальная – 23 см/с. Показатель низкорезистентного кровотока – менее 0,5, высокорезистентного – более 0,5. Высокие скорости кровотока регистрировались у 4 (17,4%) пациенток репродуктивного возраста и у 3 (13%) женщин в постменопаузе со стадиями T2b–3b (рис. 3, 4).

С целью определения распространения опухоли за пределы шейки матки на завершающем этапе

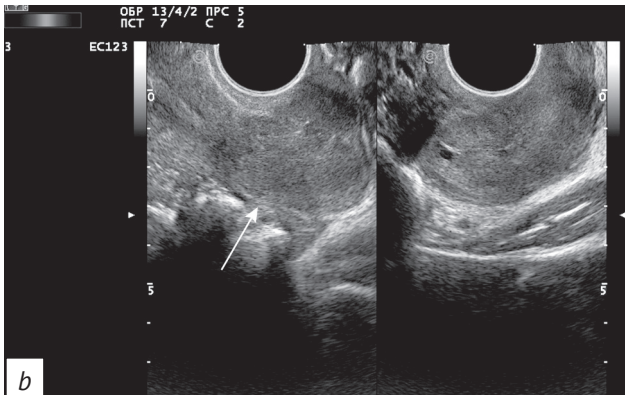
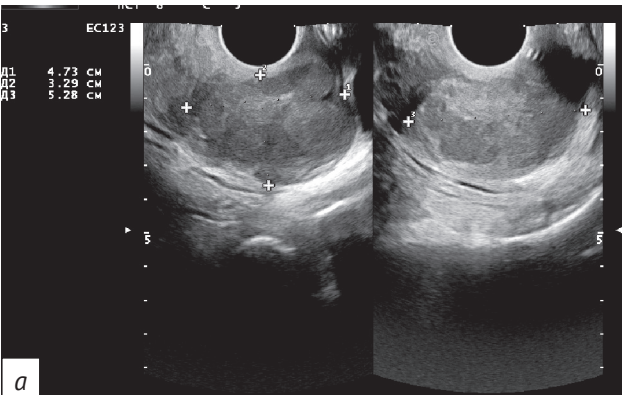


Рис. 2. 2D-эхограммы опухолевых очагов плоскоклеточного рака шейки матки (a, b)  
Fig. 2. 2D echograms of cervical squamous cell carcinomas (a, b)

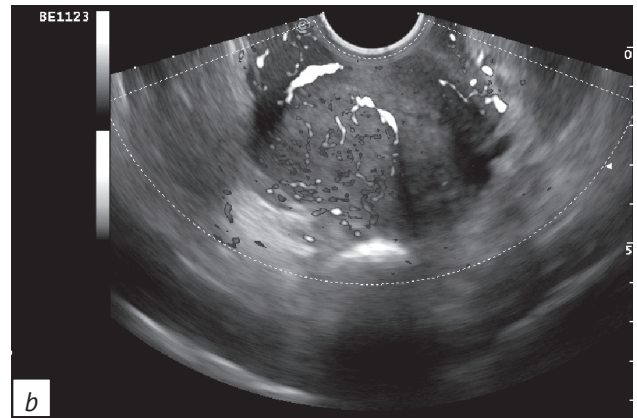
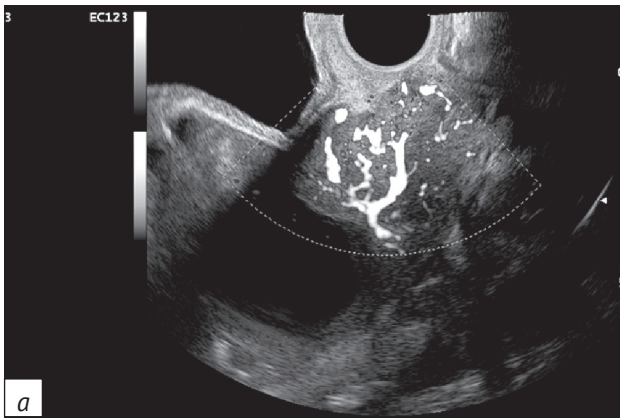


Рис. 3. Допплерограммы пациенток с раком шейки матки стадии T2bN1M0 до лечения:  
a – пациентка в постменопаузе; b – пациентка в репродуктивном возрасте

Fig. 3. Dopplerograms of patients with stage T2bN1M0 cervical cancer before treatment:  
a – patient in postmenopause; b – patient in reproductive age

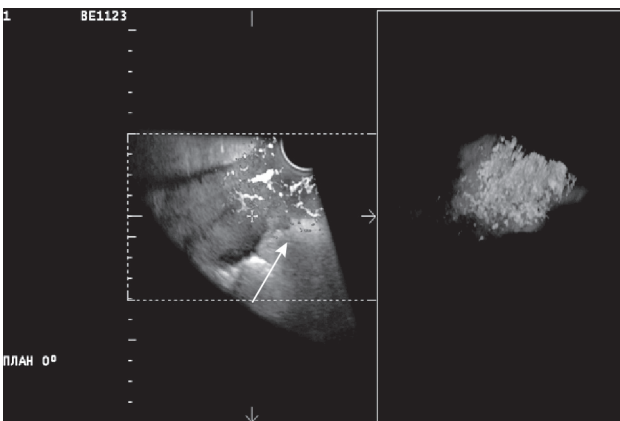


Рис. 4. Допплерограмма и 3D-ангиограмма пациентки с раком шейки матки стадии IIIB

Fig. 4. Dopplerogram and 3D angiogram of a patient with stage IIIB cervical cancer

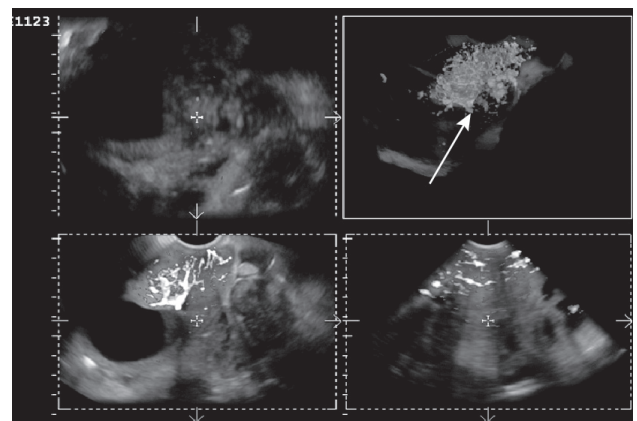


Рис. 5. 3D-ангиограмма пациентки с раком шейки матки стадии IIIB

Fig. 5. 3D angiogram of a patient with stage IIIB cervical cancer

проводили ультразвуковую томографию и 3D-ангиографию. По нашим наблюдениям, признаком парацервикальной инфильтрации у пациенток с РШМ может служить наличие патологических сосудов, продолжающихся в парацервикальную область (сосуды, выходящие за контуры шейки матки по серой шкале). Описанный симптом условно обозначили как «парацервикальный сосуд +». При проведении ультразвуковой томографии с толщиной среза 1–5 мм мы получили возможность визуализации мелких патологических сосудов в парацервикальной области. Визуализация симптома «парацервикальный сосуд +» отмечена у 17 из 23 (73,9%) пациенток с РШМ (рис. 5, 6).

К преимуществам этого метода относятся: доступность, отсутствие лучевой нагрузки, возможность повторных обследований, отсутствие необходимости введения контрастного вещества. Однако трехмерные УЗИ-методики тоже имеют ограничения в отношении выявления протяженно-

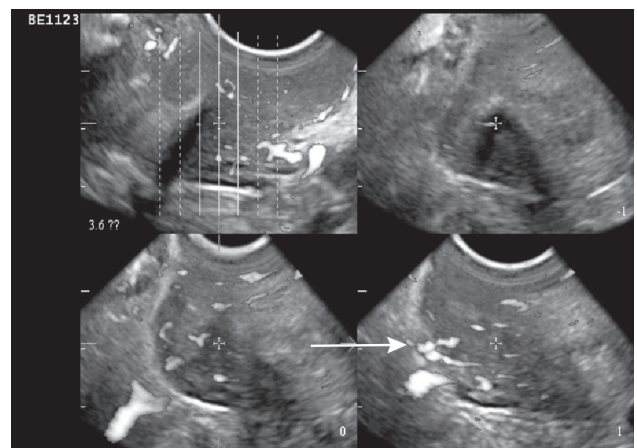


Рис. 6. Ультразвуковая томограмма пациентки с раком шейки матки стадии IIIB. Симптом «парацервикальный сосуд +» обозначен стрелкой

Fig. 6. Ultrasound tomography of a patient with stage IIIB cervical cancer. The “paracervical vessel +” symptom is indicated by an arrow

сти опухолевой инфильтрации парацервикальных и параметральных тканей.

Хирургическое лечение в объеме экстирпации матки с придатками и тазовой лимфаденэктомии выполнено на первом этапе у 3 пациенток (13%) со стадией IB1, остальным 20 (87%) проведена НАПХТ, которая у 7 (35%) из них дополнена ХЭМА. Критериями для проведения селективной ХЭМА являлись объем шейки матки 50 см<sup>3</sup> и более, а также кровотечение из опухоли шейки матки. Уменьшение объема шейки матки по результатам комплексного УЗИ органов малого таза отмечалось у всех пациенток (100%). В группе, где была включена ХЭМА, наблюдалось наибольшее уменьшение объема шейки матки: у 6 из 7 пациенток он сократился в среднем на  $80,3 \pm 10,1\%$ , у 1 участницы уменьшение составило 46,9% (рис. 7).

Оценку эффективности химиотерапии осуществляли через 2 нед после ее проведения. В процессе выполнения НАПХТ и ХЭМА опухолевые очаги шейки матки изменялись и структура шейки матки визуализировалась как диффузно неоднородная изогипоэхогенная.

Наименьший регресс объема шейки матки (на 13,3%) и умеренное уменьшение локусов патологического кровотока по результатам УЗИ было отмечено у 1 пациентки с эндоцервикальной аденокарциномой стадии T2a, при патоморфологическом исследовании постоперационного материала выявлена вторая степень лекарственного патоморфоза. Значимое уменьшение объема шейки матки и локусов патологического кровотока выявлено в 9 случаях (39%).

Изменение показателей PV и RI отмечено у всех пациенток после проведения ХЭМА и/или НАПХТ. Получены следующие данные:

- в группе с низкоскоростным высокорезистентным кровотоком (12 пациенток) –  $PV_{\max}$  6 см/с,  $PV_{\min}$  менее 2 см/с, RI более 0,5;

- в группе с высокоскоростным высокорезистентным кровотоком (2 пациентки) –  $PV$  7–10 см/с, RI более 0,5;

- в группе с низкоскоростным низкорезистентным кровотоком (6 пациенток) –  $PV_{\max}$  6 см/с,  $PV_{\min}$  менее 2 см/с, RI менее 0,5.

Следует отметить, что у 3 пациенток из группы с низкоскоростным низкорезистентным кровотоком, несмотря на снижение PV, уменьшился RI, который был высоким до лечения, а у 3 больных низкий RI сохранился. Особенности доплерографии у пациенток данной группы требуют отдельного осмысления и продолжения изучения.

Основным критерием резектабельности являлось уменьшение объема опухоли более чем на 50%, а также отсутствие парацервикальной, параметральной инфильтрации. У всех 20 пациенток после ХЭМА и/или НАПХТ симптом «парацервикальный сосуд +» не визуализировался (табл. 3).

В послеоперационном периоде у 15 (65,2%) пациенток была оценена степень лекарственного патоморфоза по классификации Е. Ф. Лушников (табл. 4).

У 2 из 23 пациенток (8,7%) по результатам гистологического исследования отмечено врастание опухоли в жировую клетчатку параметрия.

Принимая во внимание данные трехмерных УЗИ, визуализируемый ультразвуковой признак «парацервикальный сосуд +» указывает на инфильтрацию окружающих тканей, что исключает хирургический этап лечения. Чувствительность комплексного ультразвукового метода в выявлении параметральной инвазии РШМ в нашем исследовании составила 89,4%, специфичность – 91,3%, прогностическая ценность положительного результата (ПЦПР) – 89,4%, прогностическая ценность отрицательного результата (ПЦОР) – 55,2%.

У 5 из 23 (21,7%) пациенток выполнено химиолучевое лечение по радикальной программе ввиду

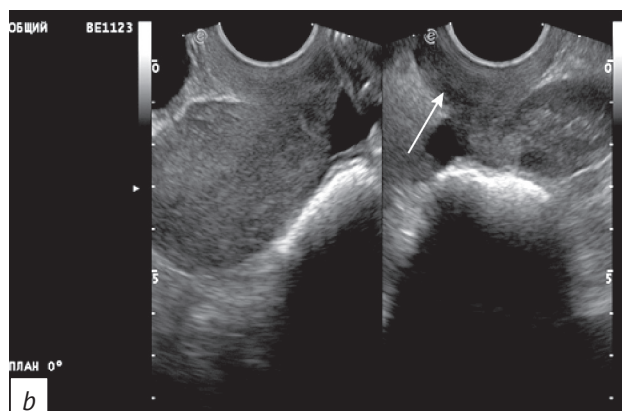
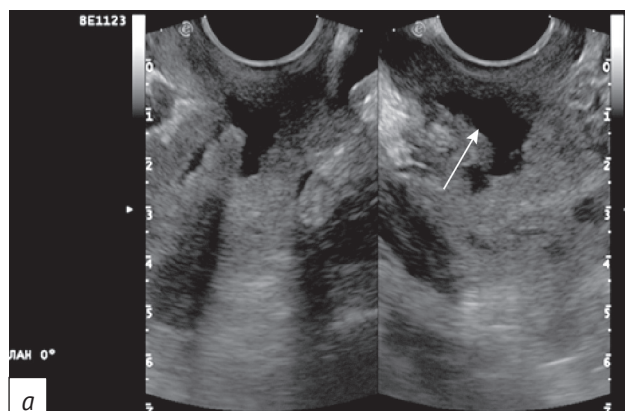


Рис. 7. 2D-эхোগраммы пациентки с раком шейки матки стадии IIIB до лечения (a) и после проведения второго курса неoadъювантной полихимиотерапии (b)

Fig. 7. 2D echograms of a patient with stage IIIB cervical cancer before treatment (a) and after the second course of neoadjuvant polychemotherapy (b)

Таблица 3

Визуализация симптома «парацервикальный сосуд +» у пациенток с раком шейки матки до и после проведения химиоэмболизации маточных артерий и/или неoadъювантной полихимиотерапии (n=20)

Table 3

Visualization of the "paracervical vessel +" symptom in patients with cervical cancer before and after uterine artery chemoembolization and/or neoadjuvant polychemotherapy (n=20)

| Стадия заболевания / Disease stage | Симптом «парацервикальный сосуд +» / "Paracervical vessel +" symptom |                                 |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
|                                    | До лечения / Before treatment                                        | После лечения / After treatment |
| IIA2 (T2aN0M0)                     | + (n=3)<br>– (n=2)                                                   | – (n=5)                         |
| IIB (T2bN0M0)                      | + (n=8)                                                              | – (n=8)                         |
| IIIB (TIIaN1M0, TIIbN1M0, T3bN1M0) | + (n=7)                                                              | – (n=7)                         |

Таблица 4

Распределение пациенток в зависимости от степени лекарственного патоморфоза

Table 4

Distribution of patients depending on the degree of treatment pathomorphosis

| Степень лекарственного патоморфоза / Degree of treatment pathomorphosis | Число пациенток, n / Number of patients, n |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1                                                                       | 4                                          |
| 2                                                                       | 10                                         |
| 3                                                                       | 0                                          |
| 4                                                                       | 1                                          |

недостижения объективного клинического ответа (по критериям RECIST 1.1). Объемы шейки матки после химиотерапии уменьшились на  $61,1 \pm 21,4\%$ . Прогрессирование процесса выявлено у 2 из 23 (8,7%) пациенток (метастазы в подвздошные, парааортальные лимфоузлы).

#### МРТ в диагностике параметральной инвазии

Во избежание ошибок при УЗИ в оценке парацервикальной и параметральной инфильтрации у 21 из 23 (91,3%) пациенток с РШМ до начала и в процессе лечения была проведена МРТ органов малого таза по мультипараметрическому протоколу.

Ретроспективный анализ МРТ-изображений проводился двумя рентгенологами с опытом расшифровки МРТ 2 года (исследователь 1) и 8 лет (исследователь 2). Чувствительность и специфичность МРТ в диагностике парацервикальной и параметральной инвазии составили 76,9% и 75,0%

для исследователя 1 (ПЦПР 83,3%, ПЦОР 66,7%) и 91,7% и 87,5% для исследователя 2 (84,6%, 77,8%) соответственно.

Следует отметить, что исследователями подтверждено три типа параметральной инвазии [7]: по типу выпячивания опухоли в параметральную клетчатку при ее опухолевом замещении, по типу инвазии в параметральные сосуды и спикuloобразная инвазия по типу тяжистой инфильтрации (рис. 8). При всех этих выделяемых типах инфильтрации не визуализировалась цервикальная строма в виде гипоинтенсивной кольцевидной структуры по периферии шейки матки.

К числу проблем, приводящих к ошибкам в определении стадии опухоли, относятся трудности в ее дифференциации от отека окружающих тканей и исключение инвазии во влагалище при наличии опухоли шейки матки большого размера. Так, четкая визуализация гипоинтенсивного циркулярного слоя сохраненной мышечной стенки влагалища в области сводов при пролабировании опухоли во влагалище, а также наружного слоя стромы шейки матки позволяла исключить инвазию в них (рис. 9).

При анализе результатов УЗИ и МРТ выявлено, что отсутствие ультразвукового признака «парацервикальный сосуд +» коррелировало с отсутствием параметральной инвазии.

В целом МРТ является достаточно точной методикой в оценке инвазии опухоли в параметрий и полезна для дифференциации локализованной и местнораспространенной опухоли шейки матки. Способность МРТ исключать опухолевую инвазию от отека окружающих тканей не столь надежна.

#### Обсуждение / Discussion

Параметриальная инвазия играет решающую роль как в постановке клинической стадии, так и в выборе метода противоопухолевого лечения. Решение о том, какие пациенты должны получить

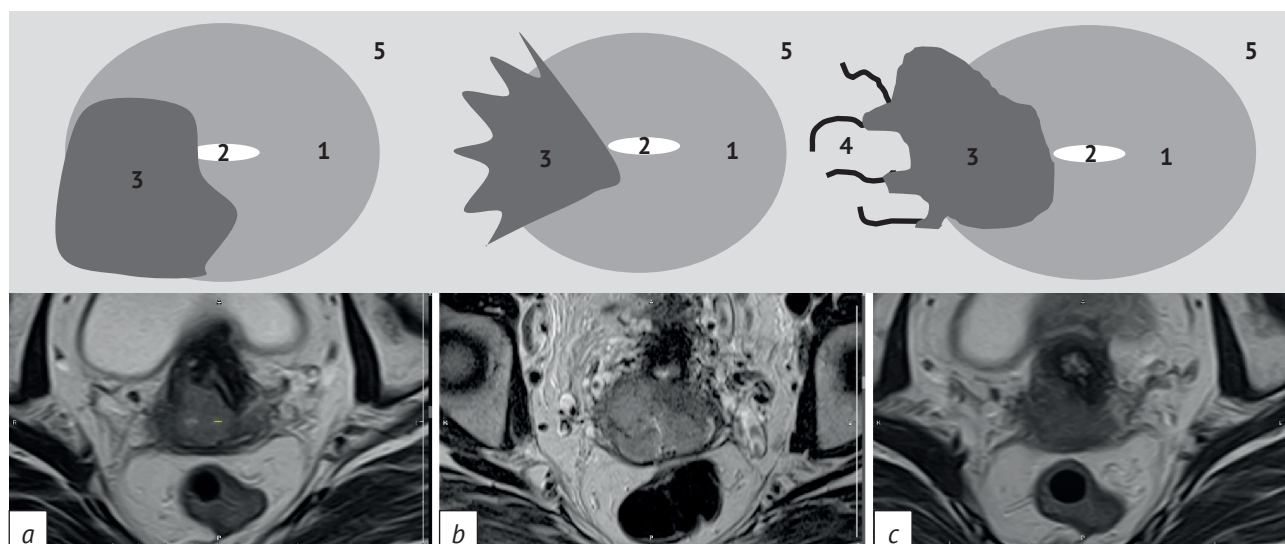


Рис. 8. Типы параметральной инвазии опухоли шейки матки:

*a* – выпячивание опухоли и баллонообразная деформация контура; *b* – спикулообразная инвазия параметральной клетчатки; *c* – параметральная инвазия по ходу кровеносных сосудов.

Схематичная визуализация опухоли шейки матки в аксиальной плоскости: 1 – строма шейки матки; 2 – цервикальный канал; 3 – опухоль шейки матки; 4 – кровеносные сосуды параметральной клетчатки; 5 – жировая клетчатка таза

Fig. 8. Types of parametric invasion of cervical tumors:

*a* – tumor protrusion with balloon-shaped deformation of the contour; *b* – spicule-shaped invasion of parametric tissue; *c* – parametrial invasion along blood vessels.

Schematic visualization of a cervical tumor in the axial plane: 1 – cervical stroma; 2 – cervical canal; 3 – cervical tumor; 4 – parametrial blood vessels; 5 – pelvic adipose tissue

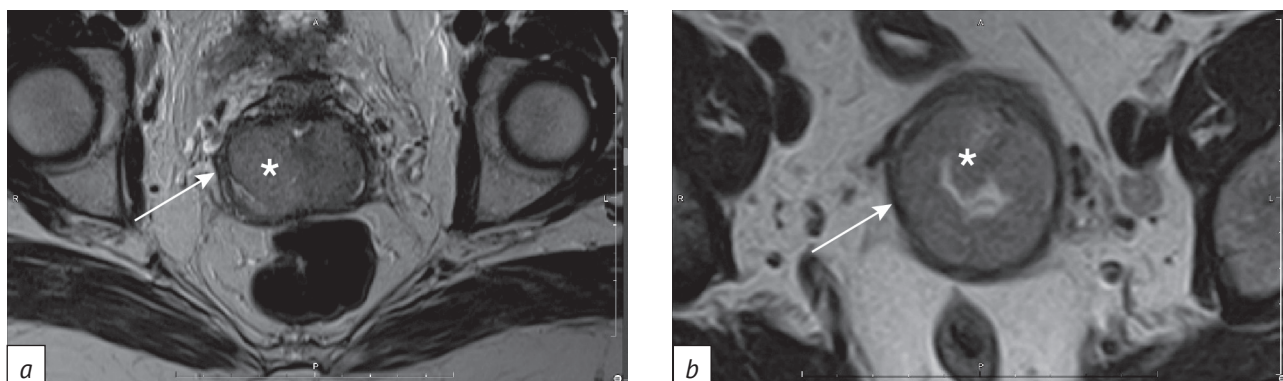


Рис. 9. Магнитно-резонансные томограммы в режиме T2-ВИ в аксиальной плоскости:

*a* – срез на уровне верхней трети влагалища, опухоль (звездочка) пролабирует в полость влагалища без инвазии стенок (стрелка); *b* – срез на уровне средней трети шейки матки, опухоль (звездочка) с глубокой инвазией стромы шейки матки (стрелка), без инвазии параметриев, сохранен циркулярный слой наружных отделов стромы шейки матки (гипоинтенсивное кольцо)

Fig. 9. Magnetic resonance images, T2WI mode, axial plane:

*a* – section at the level of the upper third of the vagina, the tumor (asterisk) prolapses into the vaginal cavity without wall invasion (arrow); *b* – section at the level of the middle third of the cervix, the tumor (asterisk) with deep invasion of the cervical stroma (arrow), without parametrium invasion, the circular layer of the outer parts of the cervical stroma is preserved (hypointense ring)

химиолучевую терапию, следует принимать на основе точной оценки параметральной инвазии [17–19]. Для улучшения локального контроля и выживаемости, если параметральная инвазия обнаружена после операции, рекомендуется дополнительная химиолучевая терапия [20].

В исследовании С. Bourgioti et al. доказано, что МРТ является более точной методикой определения параметральной инвазии, чем клиническая оценка врачом-гинекологом при бимануальном ручном обследовании [21]. Включение МРТ в клиническую оценку улучшило точность опре-

деления параметральной инвазии: чувствительность и специфичность составили 73,3% и 92,5% соответственно. При сравнении с постоперационными патоморфологическими данными К. Yang et al. [22] показали, что точность МРТ в оценке параметральной инвазии составила 77,2%, чувствительность – 53,8%, специфичность – 82,1%. Кроме того, в исследовании М.А. Shweel et al. [23] МРТ имела специфичность 85,7% и была чрезвычайно чувствительна (100%) в определении параметральной инвазии. С точностью 90,9% против 79,0% Z. Kraljević et al. [24] продемонстрировали, что МРТ превосходит клиническое обследование для стадирования РШМ. В нашей работе подтверждены высокие показатели информативности МРТ в диагностике параметральной инвазии при РШМ: чувствительность и специфичность метода у врача со стажем составили 91,7% и 87,5% соответственно.

По данным метаанализа S. Woo et al. [8] (42 статьи по МРТ-диагностике и 8 по УЗИ), объединенные чувствительность и специфичность МРТ для оценки параметральной инвазии варьировались от 0,71 до 0,88 и от 0,86 до 0,95 соответственно [8]. При оценке параметральной инвазии УЗИ продемонстрировало объединенную чувствительность и специфичность 0,67 и 0,94 соответственно – уровни эффективности, сопоставимые с таковыми для МРТ. В нашем исследовании чувствительность МРТ была сопоставима с комплексным УЗИ.

Следует также отметить, что косое аксиальное Т2-ВИ потенциально обеспечивает большую диагностическую ценность, чем истинное аксиальное Т2-ВИ для определения параметральной инвазии, особенно для опухолей размером более 2,5 см. Согласованность между исследователями была выше при анализе параметральных тканей на косых аксиальных Т2-ВИ [9].

В целом приходится учитывать два основных направления УЗИ патологических сосудов при местнораспространенном РШМ:

– выраженность неоваскуляризации шейки матки при первичной диагностике и дальнейший

динамический контроль этих показателей в процессе химиолучевого лечения;

– возможность оценки неоваскуляризации парацервикальной области.

Кроме того, наличие воспалительных и фиброзных изменений в окружающей клетчатке в процессе НАПХТ и/или лучевой терапии затрудняет оценку объема шейки матки, особенно ширины.

Как показывают проведенное нами исследование и ряд предшествующих научных работ, применение высокотехнологичных методов диагностики УЗИ и МРТ позволяет с высокими показателями диагностической информативности визуализировать патологию матки [25].

## Заключение / Conclusion

Анализ данных, полученных в ходе исследования, позволил сделать предварительные выводы:

– в процессе проведения ХЭМА и/или НАПХТ у всех пациенток отмечено уменьшение объема шейки матки и локусов неоваскуляризации, а также снижение скорости кровотока в большинстве случаев;

– включение хирургического этапа лечения возможно при отсутствии парацервикальной, параметральной инфильтрации на основе клинических данных, результатов МРТ и УЗИ с учетом отсутствия ультразвукового признака «парацервикальный сосуд +»;

– отсутствие ультразвукового признака «парацервикальный сосуд +» и, соответственно, параметральной инвазии, коррелировало с результатами МРТ;

– диагностическая информативность УЗИ в выявлении параметральной инвазии составила: чувствительность – 89,4%, специфичность – 91,3%, ПЦПР – 89,4%, ПЦОР – 55,2%;

– диагностическая информативность МРТ в выявлении параметральной инвазии составила: чувствительность – 76,9% и 91,7%, специфичность – 75% и 87,5%, ПЦПР – 83,3% и 84,6%, ПЦОР – 66,7% и 77,8% для исследователя 1 (стаж 2 года) и исследователя 2 (стаж 8 лет) соответственно.

## Литература [References]

- Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 2022: 239 с. [Kaprin AD, Starinsky VV, Shakhzadova AO. State of oncological care for the population of Russia in 2022. Moscow: Herzen Moscow Research Institute of Oncology – branch of National Medical Research Center for Radiology; 2022: 239 pp (in Russ).]
- Мерабишвили В.М., Беляев А.М. Состояние онкологической помощи в России: однолетняя выживаемость больных злокачественными новообразованиями и летальность на первом году жизни по всем локализациям опухолей (популяционное исследование на уровне федерального округа). Вопросы онкологии. 2023; 69(1): 55–66. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2023-69-1-55-66>. [Merabishvili VM, Belyaev AM. The state of cancer care in Russia: one-year survival rate of patients with malignant neoplasms and first-year mortality rate for cancer of any site (population study at the federal district level). Voprosy onkologii / Problems of Oncology. 2023; 69(1): 55–66 (in Russ). <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2023-69-1-55-66>.]
- Рерберг А.Г., Каприн А.Д., Костин А.А. и др. Неоадьювантная комбинированная химиотерапия местно-распространенного рака шейки матки. Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. 2017;

- 6(6): 32–37. <https://doi.org/10.17116/onkolog20176632-37>. [Rerberg AG, Kaprin AD, Kostin AA, et al. Neoadjuvant combined chemotherapy for locally advanced carcinoma of the cervix uteri. PA. Herzen Journal of Oncology. 2017; 6(6): 32–37 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/onkolog20176632-37>.]
4. Бабаева Н.А., Антонова И.Б., Алешикова О.И. и др. Роль селективной химиоэмболизации маточных артерий в комплексном лечении местнораспространенного рака шейки матки. Доктор.Ру. 2018; 2: 20–5. [Babaeva NA, Antonova IB, Aleshikova OI, et al. The role of selective uterine artery chemoembolization in combination therapy for locally advanced cervical cancer. Doctor.Ru. 2018; 2: 20–5 (in Russ).]
  5. Bhatla N, Aoki D, Sharma DN, Sankaranarayanan R. Cancer of the cervix uteri: 2021 update. *Int J Gynecol Obstet*. 2021; 155(S1): 28–44. <https://doi.org/10.1002/ijgo.13865>.
  6. Хохлова С.В., Кравец О.А., Морхов К.Ю. и др. Рак шейки матки. Злокачественные опухоли. 2024; 14(3s2-2): 136–64. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2024-14-3s2-1.2-05>. [Khokhlova SV, Kravets OA, Morkhov KYu, et al. Cervical cancer. Malignant Tumors. 2024; 14(3s2-2): 136–64 (in Russ). <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2024-14-3s2-1.2-05>.]
  7. Cohen PA, Jhingran A, Oaknin A, Denny L. Cervical cancer. *Lancet*. 2019; 393(10167): 169–82. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32470-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32470-X).
  8. Woo S, Atun R, Ward ZJ, et al. Diagnostic performance of conventional and advanced imaging modalities for assessing newly diagnosed cervical cancer: systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol*. 2020; 30(10): 5560–77. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06909-3>.
  9. Woo S, Moon MH, Cho JY, et al. Diagnostic performance of MRI for assessing parametrial invasion in cervical cancer: a head-to-head comparison between oblique and true axial T2-weighted images. *Korean J Radiol*. 2019; 20(3): 378–84. <https://doi.org/10.3348/kjr.2018.0248>.
  10. Антонова И.Б., Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Кригер А.В. Возможности и ограничения магнитно-резонансной томографии для диагностики эндоцервикальных аденокарцином шейки матки. *Digital Diagnostics*. 2024; 5(2): 149–66. <https://doi.org/10.17816/DD585195>. [Antonova IB, Aksenova SP, Nudnov NV, Kriger AV. Possibilities and limitations of magnetic resonance imaging in the diagnostics of endocervical adenocarcinomas. *Digital Diagnostics*. 2024; 5(2): 149–66 (in Russ). <https://doi.org/10.17816/DD585195>.]
  11. Тарачкова Е.В., Николаев Э.В., Шориков М.А. и др. Оценка распространенности рака шейки матки с помощью мультипараметрической магнитно-резонансной томографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2019; 100(5): 298–303. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-5-298-303>. [Tarachkova EV, Nikolaev EV, Shorikov MA, et al. Estimation of the extent of cervical cancer using multiparametric magnetic resonance imaging. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2019; 100(5): 298–303 (in Russ). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-5-298-303>.]
  12. Manganaro L, Lakhman Y, Bharwani N, et al. Staging, recurrence and follow-up of uterine cervical cancer using MRI: updated guidelines of the European Society of Urogenital Radiology after revised FIGO staging 2018. *Eur Radiol*. 2021; 31: 7802–16. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07632-9>.
  13. Hsiao YH, Yang SF, Chen YH, et al. Updated applications of ultrasound in uterine cervical cancer. *J Cancer*. 2021; 12(8): 2181–9. <https://doi.org/10.7150/jca.49479>.
  14. Ашрафян Л.А., Антонова И.Б., Ивашина С.В. и др. Современные ультразвуковые методы в оценке эффективности неoadьювантной полихимиотерапии у больных раком шейки матки и раком яичников. *Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии*. 2012; 12-3: 11. [Ashrafyan LA, Antonova IB, Ivashina SV, et al. Modern ultrasound methods in the evaluation of the effectiveness of neoadjuvant chemotherapy in patients with cervical cancer and ovarian cancer. *Vestnik of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology*. 2012; 12-3: 11 (in Russ).]
  15. Fischerová D, Cibula D. The role of ultrasound in primary workup of cervical cancer staging (ESGO, ESTRO, ESP cervical cancer guidelines). *Ceska Gynekol*. 2019; 84(1): 40–8.
  16. Рубцова Н.А., Березовская Т.П., Быченко В.Г. и др. Лучевая диагностика рака шейки матки. Консенсус экспертов. Медицинская визуализация. 2024; 28(1): 141–56. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1341>. [Rubtsova NA, Berezovskaia TP, Bychenko VG, et al. Imaging of cervical cancer. Consensus of experts. *Medical Visualization*. 2024; 28(1): 141–56 (in Russ). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1341>.]
  17. Sturdza A, Pötter R, Fokdal LU, et al. Image guided brachytherapy in locally advanced cervical cancer: improved pelvic control and survival in RetroEMBRACE, a multicenter cohort study. *Radiother Oncol*. 2016; 120(3): 428–33. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2016.03.011>.
  18. Di Martino G, Lissoni AA, Ferrari D, et al. Dose-dense neoadjuvant chemotherapy with paclitaxel and carboplatin in cervical cancer: efficacy on pathological response. *Anticancer Res*. 2021; 41(1): 497–502. <https://doi.org/10.21873/anticancer.14800>.
  19. Kenter G, Greggi S, Vergote I, et al. Results from neoadjuvant chemotherapy followed by surgery compared to chemoradiation for stage Ib2–Iib cervical cancer, EORTC 55994. *J Clin Oncol*. 2019; 37(15 Suppl): 5503. [https://doi.org/10.1200/JCO.2019.37.15\\_suppl.5503](https://doi.org/10.1200/JCO.2019.37.15_suppl.5503).
  20. Katanyoo K, Praditsitthikorn N, Tangjitgamol S, et al. Cost-utility analysis of treatments for stage IB cervical cancer. *J Gynecol Oncol*. 2014; 25(2): 97–104. <https://doi.org/10.3802/jgo.2014.25.2.97>.
  21. Bourgioti C, Chatoupis K, Rodolakis A, et al. Incremental prognostic value of MRI in the staging of early cervical cancer: a prospective study and review of the literature. *Clin Imaging*. 2016; 40(1): 72–8. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2015.09.012>.
  22. Yang K, Park W, Huh SJ, et al. Parametrial involvement on magnetic resonance imaging has no effect on the survival of early-stage cervical cancer patients. *Int J Gynecol Cancer*. 2017; 27(3): 507–13. <https://doi.org/10.1097/IGC.0000000000000909>.
  23. Shweel MA, Abdel-Gawad EA, Abdel-Gawad EA, et al. Uterine cervical malignancy: diagnostic accuracy of MRI with histopathologic correlation. *J Clin Imaging Sci*. 2012; 2: 42. <https://doi.org/10.4103/2156-7514.99175>.
  24. Kraljević Z, Visković K, Ledinsky M, et al. Primary uterine cervical cancer: correlation of preoperative magnetic resonance imaging and clinical staging (FIGO) with histopathology findings. *Coll Antropol*. 2013; 37(2): 561–8.
  25. Нуднов Н.В., Ивашина С.В., Аксенова С.П. Высокотехнологичные лучевые методы в диагностике рака эндометрия – мультипараметрическая МРТ, ультразвуковая томография, 3D-ангиография, энергетическая доплерография. *Медицинская визуализация*. 2023; 27(2): 147–60. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1167>. [Nudnov NV, Ivashina SV, Aksenova SP. High-tech radiation methods in the diagnosis of endometrial cancer – multiparametric MRI, ultrasound tomography, 3D angiography, energy dopplerography. *Medical Visualization*. 2023; 27(2): 147–60 (in Russ). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1167>.]



# Цифровой томосинтез молочных желез как инструмент снижения ложноположительных результатов маммографии: сравнительный анализ диагностической ТОЧНОСТИ

Фатхутдинова А.Т.<sup>1,2</sup>, Юсупова А.Ф.<sup>1</sup>, Хайртдинова К.Ш.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России  
ул. Бутлерова, 49, Казань, 420012, Российская Федерация

<sup>2</sup> ГАУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер Министерства здравоохранения Республики Татарстан имени профессора М.З. Сигала»,  
Сибирский тракт, 29, Казань, 420029, Российская Федерация

**Фатхутдинова Аида Тагировна**, к. м. н., доцент кафедры онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, врач-рентгенолог ГАУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер Министерства здравоохранения Республики Татарстан имени профессора М.З. Сигала»;  
<http://orcid.org/0009-0001-4276-3984>

**Юсупова Алсу Фаридовна**, к. м. н., доцент кафедры онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0003-2852-3471>

**Хайртдинова Камиля Шавкатовна**, ординатор кафедры онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0009-0006-8714-3531>

## Резюме

**Актуальность.** Рост интереса к цифровому томосинтезу молочных желез (digital breast tomosynthesis, DBT) обусловлен его способностью существенно снижать частоту ложноположительных результатов маммографии за счет послойной визуализации, обеспечивающей более детальный анализ структурных особенностей тканей.

**Цель:** оценка эффективности DBT в снижении частоты ложноположительных результатов маммографии.

**Материал и методы.** Ретроспективно проанализированы данные 82 пациенток с категорией BI-RADS 4 по 2D-маммографии, которым выполнен DBT на аппарате Fujifilm FDR MS-3500 (режим высокого разрешения, толщина срезов 1 мм). В случае отнесения выявленных изменений к категориям BI-RADS 4–5 по DBT осуществлена стереотаксическая биопсия с гистологической верификацией. Проведен анализ согласованности между DBT и маммографией в классификации патологических изменений по категории BI-RADS, а также оценка положительной прогностической ценности 2D-маммографии и DBT.

**Результаты.** Цифровой томосинтез реклассифицировал категорию BI-RADS 4, установленную по результатам маммографии, в BI-RADS 2 в 59% случаев и в BI-RADS 3 в 8,5% случаев. Положительная прогностическая ценность для маммографии составила 17,1%, для DBT – 53,8%. У пациенток с рентгенологически плотными молочными железами (C, D по ACR) в 66,7% случаев категория BI-RADS 4 была реклассифицирована в BI-RADS 2–3.

**Заключение.** DBT доказанно превосходит стандартную маммографию в точности классификации образований по категориям BI-RADS, в том числе у пациенток с высокой плотностью молочных желез, обеспечивая детальную визуализацию архитектоники патологий и снижая частоту ложноположительных результатов.

**Ключевые слова:** томосинтез; маммография; рак молочной железы.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Фатхутдинова А.Т., Юсупова А.Ф., Хайртдинова К.Ш. Цифровой томосинтез молочных желез как инструмент снижения ложноположительных результатов маммографии: сравнительный анализ диагностической точности. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2025; 106(1–3): 17–26. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-17-26>

**Для корреспонденции:** Фатхутдинова Аида Тагировна, e-mail: [aida0906@yandex.ru](mailto:aida0906@yandex.ru)

Статья поступила 22.05.2025

После доработки 29.06.2025

Принята к печати 04.08.2025

# Digital Breast Tomosynthesis as a Tool to Reduce False-Positive Mammography Results: a Comparative Analysis of Diagnostic Accuracy

Aida T. Fatkhutdinova<sup>1,2</sup>, Alsu F. Yusupova<sup>1</sup>, Kamilya Sh. Khairtdinova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan State Medical University,  
ul. Butlerova, 49, Kazan, 420012, Russian Federation

<sup>2</sup> Republican Clinical Oncology Dispensary named after prof. M.Z. Sigal,  
Sibirsky trakt, 29, Kazan, 420029, Russian Federation

**Aida T. Fatkhutdinova**, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Chair of Oncology, Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Kazan State Medical University; Radiologist, Republican Clinical Oncology Dispensary named after prof. M.Z. Sigal;  
<http://orcid.org/0009-0001-4276-3984>

**Alsu F. Yusupova**, Cand. Med. Sc., Associate Professor, Chair of Oncology, Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Kazan State Medical University;  
<https://orcid.org/0000-0003-2852-3471>

**Kamilya Sh. Khairtdinova**, Resident, Chair of Oncology, Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Kazan State Medical University;  
<https://orcid.org/0009-0006-8714-3531>

## Abstract

**Background.** The growing interest in digital breast tomosynthesis (DBT) is due to its ability to significantly reduce the false-positive rate of mammography due to layer-by-layer imaging, which provides a more detailed analysis of tissue structural features.

**Objective:** to evaluate the effectiveness of DBT in reducing the rate of false-positive mammography results.

**Material and methods.** The data of 82 patients with BI-RADS category 4 on 2D mammography who underwent DBT using Fujifilm FDR MS-3500 device (high resolution mode, slice thickness 1 mm) were retrospectively analyzed. If the detected changes were classified as BI-RADS 4–5 by DBT, a stereotactic biopsy with histological verification was performed. An analysis of the consistency between DBT and mammography in the classification of pathological changes in the BI-RADS category was carried out, as well as an assessment of the positive prognostic value of 2D mammography and DBT.

**Results.** DBT reclassified BI-RADS 4 determined by mammography results to BI-RADS 2 in 59% of cases and to BI-RADS 3 in 8.5% of cases. The positive prognostic value for mammography was 17.1%, for DBT it was 53.8%. In patients with radiologically dense mammary glands (ACR C, D), in 66.7% of cases, BI-RADS 4 were reclassified into BI-RADS 2–3.

**Conclusion.** DBT was proven to be superior to standard mammography in accurately classifying masses according to BI-RADS categories, including in patients with high breast density, providing detailed visualization of the architectonics of pathologies and reducing the incidence of false positives.

**Keywords:** tomosynthesis; mammography; breast cancer.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Fatkhutdinova AT, Yusupova AF, Khairtdinova KSh. Digital breast tomosynthesis as a tool to reduce false-positive mammography results: a comparative analysis of diagnostic accuracy. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2025; 106(1–3): 17–26 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-17-26>

**For corresponding:** Aida T. Fatkhutdinova, e-mail: [aida0906@yandex.ru](mailto:aida0906@yandex.ru)

Received May 22, 2025

Revised June 29, 2025

Accepted August 4, 2025

## Введение / Introduction

Цифровая маммография остается основным методом лучевой диагностики рака молочной железы в клинической практике [1]. Несмотря на широкое применение, ее диагностическая эффективность существенно варьируется в зависимости от плотности железистой ткани. Современные исследования подтверждают, что чувствительность

цифровой маммографии в общей популяции составляет 79–85% [2], но снижается до 48% у женщин с высокой рентгенологической плотностью молочных желез [3, 4]. Специфичность метода достигает 94–97% [5].

В течение второго десятилетия XXI века началось внедрение инновационного диагностического подхода – цифрового томосинтеза молочных же-

лез (digital breast tomosynthesis, DBT) [6]. Данная технология предполагает движение рентгеновской трубки по дуговой траектории с углом наклона, значение которого зависит от модели системы (15–50°), в то время как детектор, как правило, в ряде моделей остается статичным [7]. В процессе сканирования выполняется серия низкодозовых экспозиций. Суммарная доза облучения при DBT сопоставима с цифровой маммографией (1,2–2,0 мГр) [8, 9].

В DBT реализованы два режима визуализации: стандартный (standard resolution, SR) и высокого разрешения (high resolution, HR), которые характеризуются различиями в количестве проекционных снимков, угле наклона рентгеновской трубки и лучевой нагрузке, что обусловлено их целевым назначением – оптимизацией баланса между скоростью исследования (SR для скрининга) и детализацией морфологических структур (HR для углубленной диагностики). Режим SR предусматривает сокращенный протокол (угол 15–25°, размер пиксела 150/100 мкм) для минимизации дозы облучения, режим HR предполагает расширенный набор данных (угол 30–50°, размер пиксела 100/50 мкм), что повышает пространственное разрешение за счет увеличения экспозиции. Но не все системы DBT имеют разделение на SR и HR [10]. Наличие таких режимов зависит от производителя и технических возможностей аппарата (мощность трубки,

тип детектора и программное обеспечение для реконструкции). Сравнительная визуализация молочной железы в режимах SR и HR представлена на рисунке 1.

Посредством алгоритмов реконструкции (например, метода фильтрованных обратных проекций и метода итерационного восстановления) [11] создается серия корональных срезов толщиной 1 мм [12], в некоторых системах – до 0,5 мм [13], что особенно важно для визуализации микрокальцинатов. Этот подход обеспечивает послойную визуализацию морфологических структур, уменьшая артефакты наложения тканей [14] и повышая точность дифференциации патологических очагов размером  $\leq 1$  см. Клинические исследования скрининговых популяций показывают, что комбинированное использование DBT и маммографии приводит к повышению чувствительности до 85–90% при одновременном увеличении специфичности [15, 16].

Метод DBT получил первичное одобрение Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (U.S. Food and Drug Administration, FDA) в 2011 г. как инновационный инструмент для выявления неоплазий молочной железы [17]. К 2020 г. технология DBT интегрирована в маммографические системы ведущих мировых компаний, занимающихся производством рентгеновской аппаратуры [18].

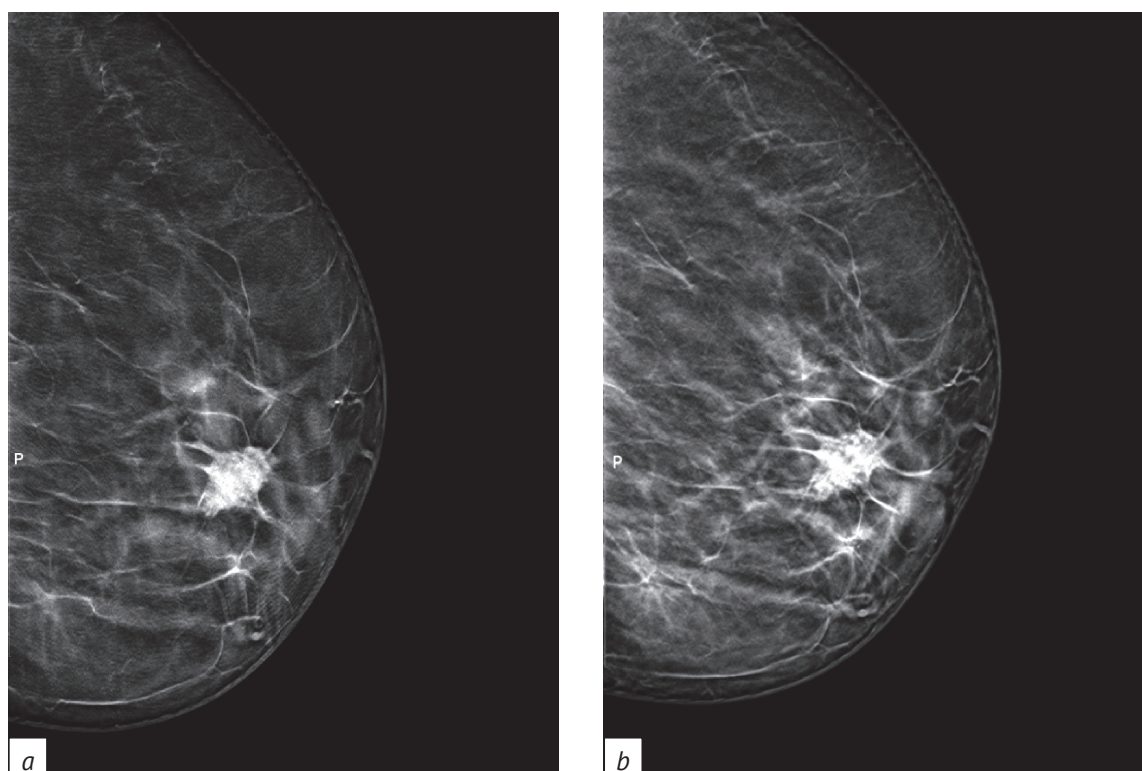


Рис. 1. Томограммы левой молочной железы в косой проекции в режимах высокого (а) и стандартного (b) разрешения  
Fig. 1. Tomograms of the left breast in oblique projection in high (a) and standard (b) resolution modes

Клиническая значимость DBT подтверждена метаанализами, продемонстрировавшими увеличение частоты обнаружения рака на 1,5–2,5 случая на 1000 исследований по сравнению с 2D-маммографией [19–21]. В 2016 г. FDA одобрило включение метода DBT в рекомендации для комбинированного использования с цифровой маммографией в рамках первичного скрининга рака молочной железы [11].

Внедрение DBT сталкивается с рядом технологических и экономических ограничений. Основным барьером остается высокая стоимость оборудования. Тем не менее согласно клиническим исследованиям DBT демонстрирует более высокую экономическую эффективность по сравнению с традиционной маммографией при обследовании женщин с плотной структурой молочных желез [22]. К существенным недостаткам метода относится увеличение времени интерпретации результатов: при DBT оно составляет 2–3 мин на один случай, тогда как для цифровой маммографии этот показатель не превышает 45–60 с [21, 23]. Дополнительные сложности связаны с обработкой данных: DBT генерирует 200–500 ГБ информации на 1000 исследований, что требует внедрения объемных хранилищ данных. Отдельную проблему представляет биомедицинский аспект внедрения DBT в клиническую практику. При комбинированном использовании с 2D-маммографией суммарная дозовая нагрузка достигает 3,5–4,5 мГр [8, 24], что на 30–40% превышает показатели стандартного протокола обследования.

**Цель** – оценка эффективности DBT в снижении частоты ложноположительных результатов маммографии.

## Материал и методы / Material and methods

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- определить степень согласованности классификации BI-RADS (Breast Imaging Reporting and Data System) при использовании маммографии и DBT в диагностике заболеваний молочной железы;
- оценить вклад DBT в уточнение пространственной архитектуры патологических изменений, таких как структура, контуры и кальцинаты, и сравнить положительную прогностическую ценность (ППЦ) маммографии и DBT;
- установить влияние DBT на реклассификацию категорий BI-RADS у пациенток с высокой плотностью молочных желез (типы C и D по классификации Американской коллегии радиологов (American College of Radiology, ACR)).

Проведено ретроспективное одноцентровое когортное исследование на базе ГАУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер

Министерства здравоохранения Республики Татарстан имени профессора М.З. Сигала», в которое включены 82 пациентки в возрасте от 37 до 92 лет (средний возраст  $59,7 \pm 15,7$  года), отобранные в период с 2024 по 2025 гг., у которых выявленные патологические изменения в молочных железах были отнесены к категории BI-RADS 4.

Цифровая маммография выполнена на аппарате Fujifilm FDR MS-3500 в стандартных проекциях: краниокаудальной и медиолатеральной. Для уточнения характера выявленных изменений, оценки их структуры и контуров всем участницам проведен DBT на том же аппарате в режиме HR с реконструкцией срезов толщиной 1 мм.

В случае отнесения выявленных изменений к категориям BI-RADS 4–5 по результатам DBT выполнена стереотаксическая кор-биопсия иглой 14G под рентгенологическим наведением. Гистологическая верификация включала стандартное окрашивание гематоксилином и эозином, а также иммуногистохимический анализ рецепторного статуса опухолей (эстрогеновые, прогестероновые рецепторы, рецепторы 2 эпидермального фактора роста человека).

Статистическая обработка данных осуществлена с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2007 и SPSS Statistics v. 18.0.

## Результаты / Results

Результаты, полученные в ходе анализа категорий BI-RADS при маммографии и DBT, представлены в таблице 1. Показано, что DBT чаще занижает категории BI-RADS по сравнению с маммографией. В 56 случаях категория B4 по маммографии была понижена при DBT до B2 (49 случаев) и B3 (7 случаев). Повышение категории (B4→B5) наблюдалось в 5 случаях. Полная согласованность (B4→B4) зафиксирована в 21 случае.

Среди случаев, в которых при использовании обоих методов присвоена категория BI-RADS 4 ( $n=21$ ), гистологическое исследование подтвердило злокачественный процесс у 9 пациенток (истинно-положительные результаты), тогда как 12 заключений оказались ложноположительными. При расхождении в оценках, когда маммография определила категорию B4, а DBT – B5 ( $n=5$ ), все 5 случаев были верифицированы как злокачественные.

При оценке диагностической эффективности маммографии выявлено 14 истинно-положительных результатов (верифицированных гистологически) и 68 ложноположительных, что соответствует расчетной ППЦ:

$$\frac{14}{(14+68)} \times 100 = 17,1\%.$$

Для DBT при аналогичном числе истинно-положительных результатов зарегистрировано

Таблица 1

Сравнительная оценка категорий BI-RADS, полученных при маммографии и цифровом томосинтезе: анализ согласованности

Table 1

Comparative assessment of BI-RADS categories obtained by mammography and digital tomosynthesis: a concordance analysis

| Категория BI-RADS / BI-RADS category                    |    | По результатам томосинтеза / Obtained by tomosynthesis |    |    |    |    |
|---------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------|----|----|----|----|
|                                                         |    | B1                                                     | B2 | B3 | B4 | B5 |
| По результатам маммографии /<br>Obtained by mammography | B4 | 0                                                      | 49 | 7  | 21 | 5  |

12 ложноположительных случаев, что определило значимо более высокую ППЦ:

$$\frac{14}{(14+12)} \times 100 = 53,8\%.$$

В 24,4% случаев (n=20) с помощью стандартной маммографии выявлены образования с нечеткими контурами. При просмотре послойных изображений DBT границы образований визуализировались четко на протяжении всего объема, что подтвердило доброкачественный характер

контуров, исключив признаки инфильтративного роста (рис. 2).

В 11,0% наблюдений (n=9) зоны нарушения архитектоники, выявленные при маммографии, были интерпретированы как артефакты наложения фиброзных тяжей после послойного анализа томограмм (рис. 3).

В 2,4% случаев (n=2) высокая плотность скопления микрокальцинатов была обусловлена наложением двух небольших полей микрокальцинатов средней величины, находящихся на разных срезах

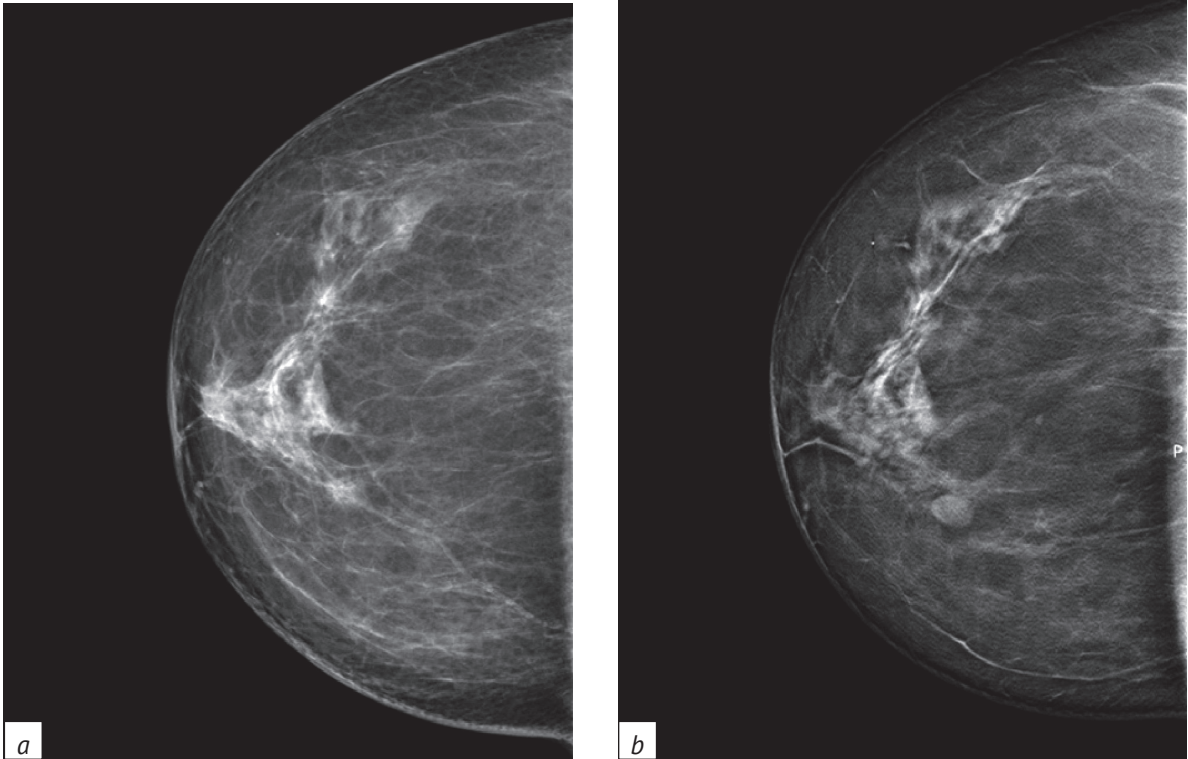


Рис. 2. Маммограмма (a) и томограмма (b) правой молочной железы, краниокаудальная проекция. По результатам маммографии определено образование с нечеткими неровными контурами, на основании чего оно было отнесено к категории BI-RADS 4, тогда как цифровой томосинтез выявил четкие ровные границы образования, позволив реклассифицировать его в категорию BI-RADS 2

Fig. 2. Mammogram (a) and tomogram (b) of the right breast in craniocaudal projection. Mammography revealed a mass with indistinct irregular contours, on the basis of which it was categorized as BI-RADS 4, whereas digital tomosynthesis showed clear, smooth borders of the mass, allowing it to be reclassified as BI-RADS 2

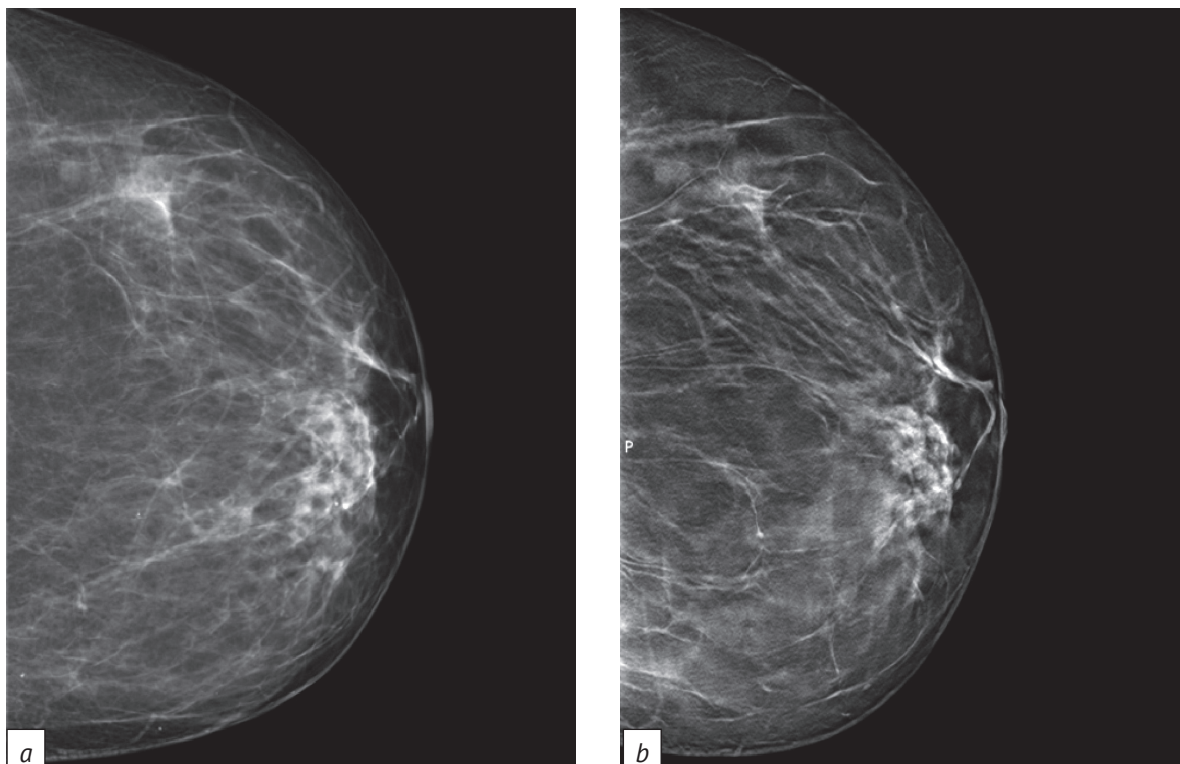


Рис. 3. Маммограмма (а) и томограмма (b) левой молочной железы в краниокаудальной проекции. При маммографии визуализируется асимметричное уплотнение без четких контуров и формы (BI-RADS 4). Цифровой томосинтез не подтвердил наличия патологической перестройки ткани, что позволило реклассифицировать категорию в BI-RADS 2

Fig. 3. Mammogram (a) and tomogram (b) of the left breast in craniocaudal projection. Mammography visualizes an asymmetric thickening without clear contours and shape (BI-RADS 4). Digital tomosynthesis did not confirm the presence of pathologic tissue rearrangement, which allowed reclassification category to BI-RADS 2

(уровнях). У 30,5% пациенток (n=25) метод обеспечил детализацию внутренней структуры образования (рис. 4).

У 3,7% пациенток (n=3) DBT дополнил описание цифровой маммографии наличием тяжести в окружающие ткани, изменив категорию BI-RADS 4 на BI-RADS 5 (рис. 5).

Таким образом, среди 56 доброкачественных поражений локальный аденоз диагностирован в 5 случаях (8,9%), фиброзно-кистозные изменения – в 5 (8,9%), фиброаденома/киста – в 22 (39,3%), интрамаммарный лимфатический узел – в 4 (7,1%), локальный фиброз – в 18 (32,1%), рассеянные доброкачественные кальцинаты – в 2 (3,6%).

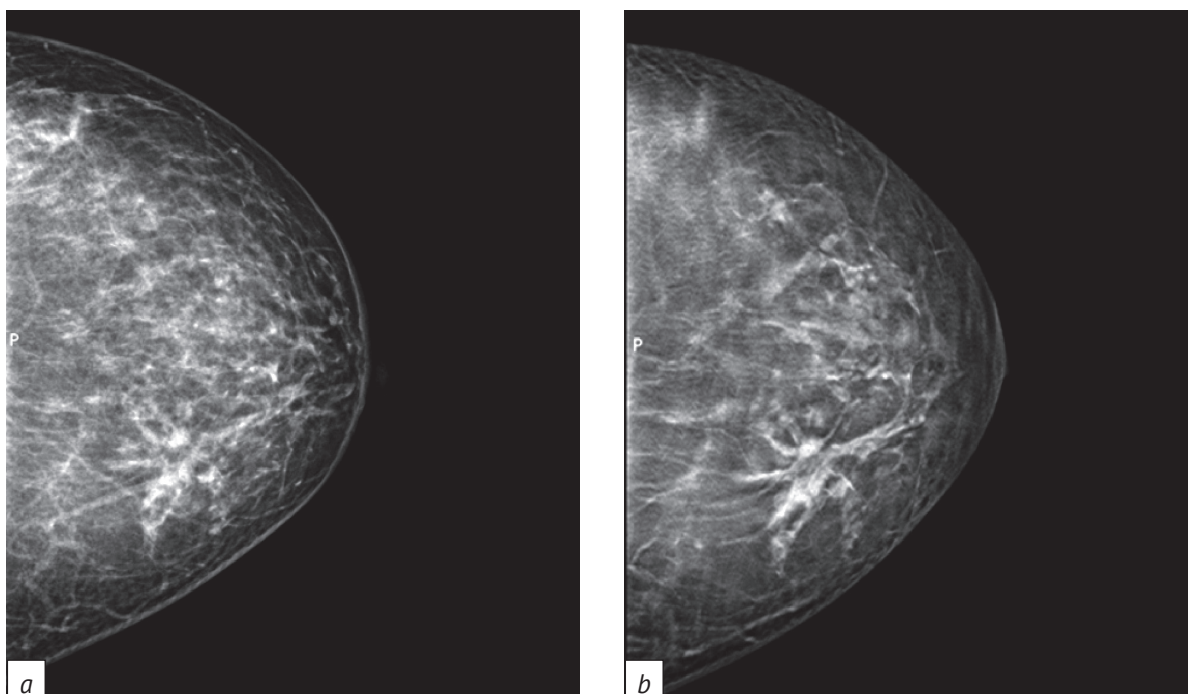
Среди 14 злокачественных новообразований преобладала инвазивная протоковая карцинома – 12 случаев (85,7%), тогда как протоковая карцинома *in situ* зарегистрирована в 2 случаях (14,3%). Дольковая карцинома в исследованной когорте не выявлена.

У пациенток с высокой плотностью молочных желез (ARC C, D) применение DBT привело к значимой реклассификации категорий BI-RADS. Исходно по данным маммографии 12 случаев были отнесены к категории BI-RADS 4. После томосин-

теза 8 из 12 случаев (66,7%) перешли в категории BI-RADS 2–3, что соответствует доброкачественным изменениям. Количество случаев, подозрительных на злокачественный процесс, снизилось до 4 (33,3%): 3 случая BI-RADS 4 и 1 случай реклассифицирован в BI-RADS 5.

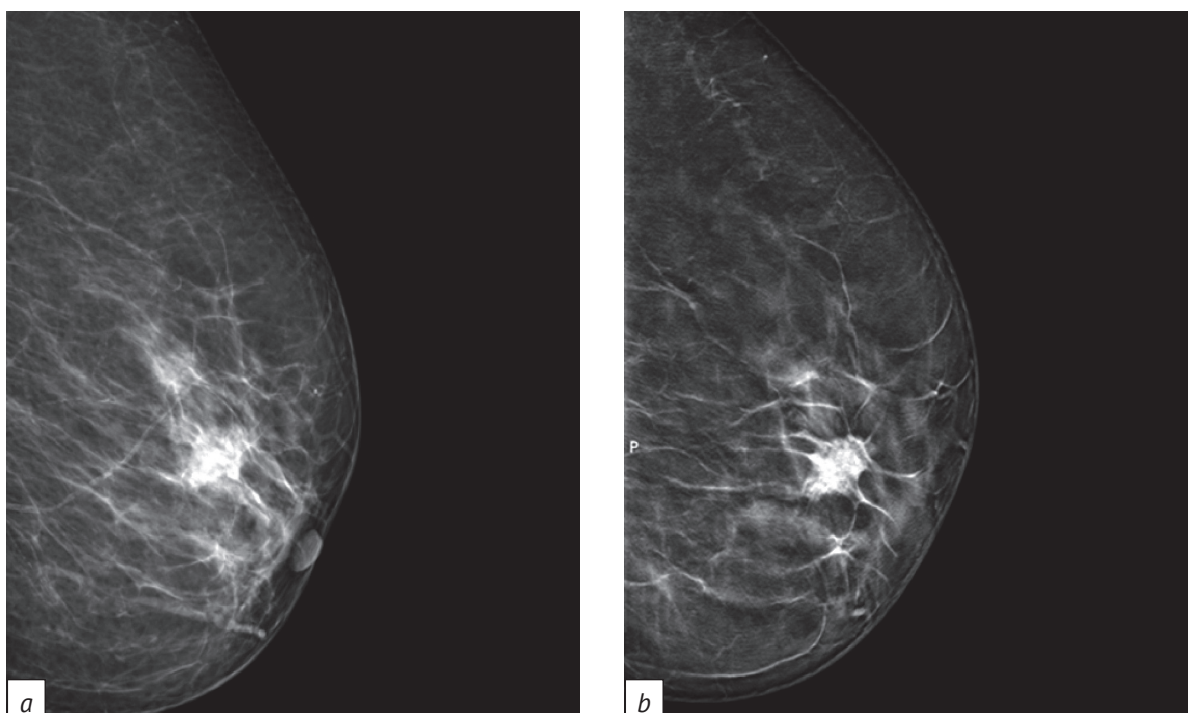
### Обсуждение / Discussion

Результаты исследования демонстрируют тенденцию DBT к реклассификации категорий BI-RADS в сторону занижения. В частности, для категории B4 он привел к снижению классификации в 59% случаев до B2, что соответствует доброкачественным изменениям, не требующим инвазивной диагностики, и в 8,5% – до B3. Полученные данные согласуются с результатами ряда других исследований. Частота реклассификации категории BI-RADS 4 в нашей работе коррелирует с данными R.M. Naeim et al. [25], где показатель реклассификации BI-RADS 4 в BI-RADS 2–3 составил 23,3% и в BI-RADS 1 – 6,7%. Аналогичные выводы были представлены в публикации M.L. Zuley et al. [26], где при DBT частота ложноположительных результатов снизилась с 57% до 48% для случаев с рейтингом BI-RADS категории



*Рис. 4.* Маммограмма (а) и томограмма (b) левой молочной железы в краниокаудальной проекции. При маммографии визуализируется участок нарушения архитектоники (BI-RADS 4). Цифровой томосинтез выявил звездчатое образование с лучистыми контурами во всех направлениях, что подтвердило категорию BI-RADS 4

*Fig. 4.* Mammogram (a) and tomogram (b) of the left breast in craniocaudal projection. Mammography visualizes an area of architectonics disruption (BI-RADS 4). Digital tomosynthesis revealed a stellate mass with radiating contours in all directions, which confirmed BI-RADS category 4



*Рис. 5.* Маммограмма (а) и томограмма (b) левой молочной железы в медиолатеральной проекции. При маммографии визуализируется образование с нечеткими неровными контурами (BI-RADS 4). Цифровой томосинтез выявил дополнительные критерии злокачественности (тяжистость, спикурообразные контуры), что позволило реклассифицировать категорию в BI-RADS 5

*Fig. 5.* Mammogram (a) and mammogram (b) of the left breast in the mediolateral projection. Mammography visualizes formations with indistinct, uneven contours (BI-RADS 4). Digital tomosynthesis revealed additional criteria of malignancy (heaviness, spicule-shaped contours), which allowed the category to be reclassified to BI-RADS 5

4 или 5. Подобная реклассификация позволяет сократить количество необоснованных биопсий, снижая психоэмоциональную нагрузку на пациентов и риски осложнений.

Однако снижение категории В4→В3 требует динамического наблюдения для исключения прогрессии предраковых состояний, таких как протоковая карцинома *in situ*. По литературным данным, у 2% пациенток с реклассификацией В4→В3 в течение 24 мес наблюдения выявлялась малигнизация [27]. Таким образом, ключевым преимуществом метода является не полный отказ от биопсий, а их рационализация – биопсия назначается только при сохранении подозрительных признаков в динамике. Такой подход соответствует принципу ALARA (as low as reasonably achievable) в радиологии, минимизируя инвазивность при сохранении онкологической настороженности [9].

ППЦ для DBT составила 53,8%, то есть более половины положительных результатов при использовании данного метода соответствуют истинному наличию патологии. Этот показатель отражает клиническую эффективность DBT в минимизации диагностических ошибок по сравнению с традиционной маммографией, для которой при аналогичном числе истинно-положительных случаев (n=14) и большем количестве ложноположительных результатов (n=68) ППЦ составила бы 17,1%. Полученные данные согласуются с результатами С.Ю. Микушина и др. [14] (где ППЦ томосинтеза составила 82%, подтверждая его преимущество перед традиционной маммографией, ППЦ которой 66,1%) и R.M. Naeim et al. [25] (продемонстрирован рост ППЦ при использовании DBT на 23%).

DBT показал высокую диагностическую ценность при визуализации молочных желез, устранив артефакты наложения в 11% случаев и обеспечив детальную оценку морфологических параметров объемных образований в 30,5% наблюдений. Метод также уточнил четкость контуров у 23,4% пациенток и корректно идентифицировал пространственное распределение микрокальцинатов в 2,4% случаев, что позволило избежать ложноположительных результатов. В работах В.Е. Гажиновой и др. [5], А. Elmi et al. [28], Е. Shen et al. [29], N. Mohindra et al. [30] подчеркиваются преимущества DBT в дифференциации доброкачественных

и злокачественных образований за счет лучшей детализации контуров, уточнения пространственной локализации микрокальцинатов, минимизации наложения тканей, особенно у пациенток с плотной паренхимой молочных желез. Исследование J. Lei et al. [31] подтверждает, что DBT снижает количество ложноположительных результатов и улучшает визуализацию объемных образований.

Среди доброкачественных поражений преобладали фиброаденомы/кисты (39,3%) и локальный фиброз (32,1%), а также были выявлены локальный аденоз (8,9%), фиброзно-кистозные изменения (8,9%) и интрамаммарные лимфоузлы (7,1%). Это подчеркивает способность DBT дифференцировать широкий спектр патологий, минимизируя гипердиагностику.

Применение DBT у пациенток с высокой плотностью ткани молочных желез (ARC C, D) продемонстрировало высокую диагностическую эффективность, сократив необходимость биопсии на 66,7%. Работы Н.В. Климовой и др. [32], J. Olinder et al. [33] подтверждают полученные нами данные, но существуют и противоположные наблюдения [34], вероятно, связанные с различиями в популяции или методике оценки. Тем не менее соответствие наших результатов данным крупных исследований [35, 36], включая метаанализ [15], укрепляет доводы в пользу DBT как инструмента минимизации инвазивных вмешательств у пациенток с высокой плотностью ткани молочных желез.

## Заключение / Conclusion

Технология DBT доказанно превосходит стандартную маммографию в точности классификации образований по категориям BI-RADS, в том числе у пациенток с высокой плотностью молочных желез (ARC C, D), обеспечивая детальную визуализацию архитектоники патологий и снижая частоту ложноположительных результатов. Однако ее применение требует рационального подхода. Высокая себестоимость, повышенная лучевая нагрузка, ограниченная доступность DBT определяют целесообразность его использования в качестве дополнительного, уточняющего метода, то есть в спорных клинических случаях на этапе перед проведением биопсии.

## Литература [References]

1. Sardanelli F, Aase HS, Álvarez M, et al. Position paper on screening for breast cancer by the European Society of Breast Imaging (EUSOBI) and 30 national breast radiology bodies from Austria, Belgium, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Israel, Lithuania, Moldova, The Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland and Turkey. Eur Radiol. 2017; 27(7): 2737–43. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4612-z>.
2. Айнаулова А.С., Кайдарова Д.Р., Жолдыбай Ж.Ж. и др. Возможности современных лучевых методов дополнительной визуализации молочных желез в скрининге рака молочной железы: обзор литературы. Сибирский онкологический

- журнал. 2021; 20(4): 99–107. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2021-20-4-99-107>.
- [Ainakulova AS, Kaidarova DR, Zholdybai ZhZh, et al. Role of modern imaging techniques in additional visualization of breast cancer: literature review. *Siberian Journal of Oncology*. 2021; 20(4): 99–107 (in Russ). <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2021-20-4-99-107>.]
3. Weigel S, Heindel W, Heidrich J, et al. Digital mammography screening: sensitivity of the programme dependent on breast density. *Eur Radiol*. 2017; 27(7): 2744–51. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4636-4>.
  4. Гринберг М.В., Харченко Н.В., Кунда М.А. и др. Дигитальный томосинтез – новая технология в диагностике непальпируемого рака молочной железы. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2015; 3: 46–60. [Grinberg MV, Harchenko NV, Kunda MA, et al. Digital tomosynthesis in diagnosis of palpable breast cancer. *RUDN Journal of Medicine*. 2015; 3: 46–60 (in Russ).]
  5. Гажонова В.Е., Ефремова М.П., Дорохова Е.А. Современные методы неинвазивной лучевой диагностики рака молочной железы. Русский медицинский журнал. Мать и дитя. 2016; 24(5): 321–4. [Gazhonova VE, Efremova MP, Dorokhova EA. Modern methods of non-invasive radiation diagnostics of breast cancer. *Russian Journal of Woman and Child Health*. 2016; 24(5): 321–4 (in Russ).]
  6. Monticciolo DL. Digital breast tomosynthesis: a decade of practice in review. *J Am Coll Radiol*. 2023; 20(2): 127–33. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2022.08.005>.
  7. Ha AS, Lee AY, Hippe DS, et al. Digital tomosynthesis to evaluate fracture healing: prospective comparison with radiography and CT. *AJR Am J Roentgenol*. 2015; 205(1): 136–41. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.13833>.
  8. Gennaro G, Bernardi D, Houssami N. Radiation dose with digital breast tomosynthesis compared to digital mammography: per-view analysis. *Eur Radiol*. 2018; 28(2): 573–81. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5024-4>.
  9. Солодкий В.А., Рожкова Н.И., Мазо М.Л. Первый опыт томосинтеза для повышения диагностической эффективности заболеваний молочной железы. Лечащий врач. 2012; 11: 25. [Solodkiy VA, Rozhkova NI, Mazo ML. The first experience of tomosynthesis to improve the diagnostic efficiency of breast diseases. *Lechaschi vrach*. 2012; 11: 25 (in Russ).]
  10. Рожкова Н.И., Решетцова Г.В., Запирова С.Б. О возможностях маммографического цифрового томосинтеза. Радиология – практика. 2008; 6: 19–23. [Rozhkova NI, Reshetzova GV, Zapirova SB. On the possibilities of mammographic digital tomosynthesis. *Radiology and Practice*. 2008; 6: 19–23 (in Russ).]
  11. Сулейменова Д., Айнакулова А.С., Жолдыбай Ж.Ж. Цифровой томосинтез молочных желез: физические основы метода. Вестник Казахского национального медицинского университета. 2020; 1: 15–9. [Suleimenova D, Zholdybay ZhZh, Ainakulova AS. Digital breast tomosynthesis: physical bases of the method. *Vestnik KazNMU*. 2020; 1: 15–9 (in Russ).]
  12. Sechopoulos I. A review of breast tomosynthesis. Part II. Image reconstruction, processing and analysis, and advanced applications. *Med Phys*. 2013; 40(1): 014302. <https://doi.org/10.1118/1.4770281>.
  13. Iranmakani S, Mortezaadeh T, Sajadian F, et al. A review of various modalities in breast imaging: technical aspects and clinical outcomes. *Egypt J Radiol Nucl Med*. 2020; 51: 57. <https://doi.org/10.1186/s43055-020-00175-5>.
  14. Микушин С.Ю., Рожкова Н.И., Гришкевич В.И. и др. Оценка диагностической эффективности рентгенологического томосинтеза при заболеваниях молочной железы. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2019; 9(3): 86–92. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-3-86-92>. [Mikushin SYu, Rozhkova NI, Grishkevich VI, et al. Assessment of diagnostic efficiency of digital breast tomosynthesis in diagnostics of breast diseases. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2019; 9(3): 86–92 (in Russ). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-3-86-92>.]
  15. Phi XA, Tagliafico A, Houssami N, et al. Digital breast tomosynthesis for breast cancer screening and diagnosis in women with dense breasts – a systematic review and meta-analysis. *BMC Cancer*. 2018; 18(1): 380. <https://doi.org/10.1186/s12885-018-4263-3>.
  16. Destounis S. Role of digital breast tomosynthesis in screening and diagnostic breast imaging. *Semin Ultrasound CT MR*. 2018; 39(1): 35–44. <https://doi.org/10.1053/j.sult.2017.08.002>.
  17. Friedewald SM, Rafferty EA, Rose SL, et al. Breast cancer screening using tomosynthesis in combination with digital mammography. *JAMA*. 2014; 311(24): 2499–507. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.6095>.
  18. Rosenqvist S, Brännmark J, Dustler M. Digital breast tomosynthesis in breast cancer screening: an ethical perspective. *Insights Imaging*. 2024; 15: 213. <https://doi.org/10.1186/s13244-024-01790-w>.
  19. Marinovich ML, Hunter KE, Macaskill P, Houssami N. Breast cancer screening using tomosynthesis or mammography: a meta-analysis of cancer detection and recall. *J Natl Cancer Inst*. 2018; 110(9): 942–9. <https://doi.org/10.1093/jnci/djy121>.
  20. Алиева Г.С., Корженкова Г.П., Колядина И.В. Комплексная лучевая диагностика раннего рака молочной железы (обзор литературы). Современная онкология. 2019; 21(3): 26–32. <https://doi.org/10.26442/18151434.2019.3.190469>. [Aliyeva GS, Korzhenkova GP, Kolyadina IV. Complex radiologic imaging of early breast cancer (literature review). *Journal of Modern Oncology*. 2019; 21(3): 26–32 (in Russ). <https://doi.org/10.26442/18151434.2019.3.190469>.]
  21. Skaane P, Bandos AI, Gullien R, et al. Comparison of digital mammography alone and digital mammography plus tomosynthesis in a population-based screening program. *Radiology*. 2013; 267(1): 47–56. <https://doi.org/10.1148/radiol.12121373>.
  22. Wang J, Phi XA, Greuter MJW, et al. The cost-effectiveness of digital breast tomosynthesis in a population breast cancer screening program. *Eur Radiol*. 2020; 30(10): 5437–45. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06812-x>.
  23. Partridge GJW, Darker I, James JJ, et al. How long does it take to read a mammogram? Investigating the reading time of digital breast tomosynthesis and digital mammography. *Eur J Radiol*. 2024; 177: 111535. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2024.111535>.
  24. Ali RMKM, England A, Tootell AK, Hogg P. Radiation dose from digital breast tomosynthesis screening – a comparison with full field digital mammography. *J Med Imaging Radiat Sci*. 2020; 51(4): 599–603. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2020.08.018>.
  25. Naeim RM, Marouf RA, Nasr ME, Abd El-Rahman MA. Comparing the diagnostic efficacy of digital breast tomosynthesis with full-field digital mammography using BI-RADS scoring. *Egypt*

- J Radiol Nucl Med. 2021; 52: 44. <https://doi.org/10.1186/s43055-021-00421-4>.
26. Zuley ML, Bandos AI, Ganott MA, et al. Digital breast tomosynthesis versus supplemental diagnostic mammographic views for evaluation of noncalcified breast lesions. *Radiology*. 2013; 266(1): 89–95. <https://doi.org/10.1148/radiol.12120552>.
27. Berg WA, Berg JM, Sickles EA, et al. Cancer yield and patterns of follow-up for BI-RADS category 3 after screening mammography recall in the National Mammography Database. *Radiology*. 2020; 296(1): 32–41. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020192641>.
28. Elmi A, Rakow-Penner R, Chong A, et al. Calcifications on DBT and synthetic views: update and management strategies. *Curr Radiol Rep*. 2020; 8: 9. <https://doi.org/10.1007/s40134-020-00352-4>.
29. Shen E, Li C, Zhao K, et al. Image quality enhancement for digital breast tomosynthesis: high-density object artifact reduction. *J Imaging Inform Med*. 2024; 37(5): 2649–61. <https://doi.org/10.1007/s10278-024-01084-z>.
30. Mohindra N, Neyaz Z, Agrawal V, et al. Impact of addition of digital breast tomosynthesis to digital mammography in lesion characterization in breast cancer patients. *Int J Appl Basic Med Res*. 2018; 8(1): 33–7. [https://doi.org/10.4103/ijabmr.IJABMR\\_372\\_16](https://doi.org/10.4103/ijabmr.IJABMR_372_16).
31. Lei J, Yang P, Zhang L, et al. Diagnostic accuracy of digital breast tomosynthesis versus digital mammography for benign and malignant lesions in breasts: a meta-analysis. *Eur Radiol*. 2014; 24(3): 595–602. <https://doi.org/10.1007/s00330-013-3012-x>.
32. Климова Н.В., Белоцерковцева Л.Д., Кузнецов А.А. Возможности цифрового рентгеновского томосинтеза в скрининговой программе женщин с высокой маммографической плотностью (обзор литературы с собственными клиническими наблюдениями). *Радиология – практика*. 2021; 1: 64–79. [Klimova NV, Belocerkevceva LD, Kuznecov AA. Possibilities of digital X-ray tomosynthesis in the screening program for women with high mammographic density (literature review with their own clinical observations). *Radiology and Practice*. 2021; 1: 64–79 (in Russ).]
33. Olinder J, Johnson K, Åkesson A, et al. Impact of breast density on diagnostic accuracy in digital breast tomosynthesis versus digital mammography: results from a European screening trial. *Breast Cancer Res*. 2023; 25: 116. <https://doi.org/10.1186/s13058-023-01712-6>.
34. Lowry KP, Coley RY, Miglioretti DL, et al. Screening performance of digital breast tomosynthesis vs digital mammography in community practice by patient age, screening round, and breast density. *JAMA Netw Open*. 2020; 3(7): e2011792. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.11792>.
35. Weigel S, Heindel W, Hense HW, et al. Breast density and breast cancer screening with digital breast tomosynthesis: a TOSYMA trial subanalysis. *Radiology*. 2023; 306(2): e221006. <https://doi.org/10.1148/radiol.221006>.
36. Østerås BH, Martinsen ACT, Gullien R, Skaane P. Digital mammography versus breast tomosynthesis: impact of breast density on diagnostic performance in population-based screening. *Radiology*. 2019; 293(1): 60–8. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019190425>.



# КТ-диагностика ранних послеоперационных осложнений при лечении рака легкого

**Дворецкая М.А., Дворецкий С.Ю., Сперанская А.А.**

ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России,  
ул. Льва Толстого, 6-8, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация

**Дворецкая Мария Алексеевна**, к. м. н., врач отделения рентгеновской компьютерной томографии № 1 ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0002-3136-5825>

**Дворецкий Сергей Юрьевич**, д. м. н., доцент, профессор кафедры онкологии факультета послевузовского образования ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0001-8746-9343>

**Сперанская Александра Анатольевна**, д. м. н., профессор, профессор кафедры рентгенологии и радиационной медицины ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0001-8322-4509>

## Резюме

**Цель:** оценить возможности компьютерной томографии (КТ) в диагностике и дифференциальной диагностике ранних послеоперационных осложнений при лечении рака легкого.

**Материал и методы.** В отделении торакальной онкологии ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России за период с 2014 по 2025 гг. по поводу рака легкого были прооперированы 564 пациента. Средний возраст больных составил  $64 \pm 0,7$  года (от 29 до 90 лет). Выполнено 426 (75,6%) анатомических резекций легких (лобэктомия, билобэктомия) и 138 (24,4%) пневмонэктомий. Всем пациентам в раннем послеоперационном периоде (до 30 сут) назначалась обзорная рентгенография органов грудной полости. Для диагностики возникших послеоперационных осложнений КТ проведена в 77 случаях (13,6%).

**Результаты.** Серьезные послеоперационные осложнения (IIIВ и выше по классификации Clavien–Dindo–Strasberg) после анатомических резекций легких возникли у 27 (6,3%) пациентов, после пневмонэктомии – у 50 (36,2%). На основании данных КТ осуществлена диагностика и дифференциальная диагностика послеоперационных осложнений при хирургическом лечении рака легкого. Рассмотрены варианты осложнений у пациентов, перенесших открытую или видеоторакоскопическую операцию по поводу рака легкого в раннем послеоперационном периоде.

**Заключение.** КТ позволяет выявить патогномичные признаки разных вариантов ранних послеоперационных осложнений при лечении рака легкого, что имеет существенное значение для тактики ведения пациентов, их выживаемости и прогноза течения заболевания.

**Ключевые слова:** рак легкого; послеоперационные осложнения; компьютерная томография.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Дворецкая М.А., Дворецкий С.Ю., Сперанская А.А. КТ-диагностика ранних послеоперационных осложнений при лечении рака легкого. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2025; 106(1–3): 27–44. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-27-44>

**Для корреспонденции:** Дворецкая Мария Алексеевна, e-mail: [mariavasilek.87@mail.ru](mailto:mariavasilek.87@mail.ru)

Статья поступила 04.07.2025

После доработки 20.08.2025

Принята к печати 21.08.2025

## CT Diagnostics of Early Postoperative Complications After Lung Cancer Treatment

**Maria A. Dvoretskaya, Sergey Yu. Dvoretskiy, Aleksandra A. Speranskaya**

Pavlov First Saint Petersburg State Medical University,  
ul. L'va Tolstogo, 6-8, Saint Petersburg, 197022, Russian Federation

**Maria A. Dvoretzskaya**, Cand. Med. Sc., Physician, X-ray Computed Tomography Department No. 1, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University;  
<http://orcid.org/0000-0002-3136-5825>

**Sergey Yu. Dvoretzkiy**, Dr. Med. Sc., Associate Professor, Professor of Chair of Oncology, Faculty of Postgraduate Education, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University;  
<https://orcid.org/0000-0001-8746-9343>

**Aleksandra A. Speranskaya**, Dr. Med. Sc., Professor, Professor of Chair of Roentgenology and Radiation Medicine, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University;  
<https://orcid.org/0000-0001-8322-4509>

## Abstract

**Objective:** to evaluate the capabilities of computed tomography (CT) in the diagnosis and differential diagnosis of early postoperative complications in the treatment of lung cancer.

**Material and methods.** In the Department of Thoracic Oncology, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, 564 patients were operated for lung cancer from 2014 to 2025. The mean age of patients was  $64 \pm 0.7$  (from 29 to 90) years. Surgeries performed included 426 (75.6%) anatomical lung resections (lobectomy, bilobectomy), and 138 (24.4%) pneumonectomies. All patients in the early postoperative period (up to 30 days) were prescribed a chest survey radiography. To diagnose postoperative complications, CT was performed in 77 cases (13.6%).

**Results.** Serious postoperative complications (IIIB and higher according to the Clavien–Dindo–Strasberg classification) after anatomical lung resections occurred in 27 (6.3%) patients, after pneumonectomy – in 50 (36.2%). Based on CT data, diagnostics and differential diagnostics of postoperative complications in surgical treatment of lung cancer were carried out. The variants of complications in patients who underwent open or video-assisted thoracoscopic surgery for lung cancer in the early postoperative period were considered.

**Conclusion.** CT allows identifying pathognomonic signs of different variants of early postoperative complications in the treatment of lung cancer, which is of significant importance for the tactics of patient management, their survival and prognosis of the disease course.

**Keywords:** lung cancer; postoperative complications; computed tomography.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Dvoretzskaya MA, Dvoretzkiy SYu, Speranskaya AA. CT diagnostics of early postoperative complications after lung cancer treatment. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2025; 106(1–3): 27–44 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-27-44>

**For corresponding:** Maria A. Dvoretzskaya, e-mail: [mariavasilek.87@mail.ru](mailto:mariavasilek.87@mail.ru)

Received July 4, 2025

Revised August 20, 2025

Accepted August 21, 2025

## Введение / Introduction

По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в мире на различных органах выполняют около 234 млн обширных оперативных вмешательств. Серьезные осложнения развиваются в 3–16% случаев, показатели стойкой нетрудоспособности или смертности в экономически благополучных странах составляют 0,4–0,8%, а в развивающихся – 5–10% [1]. После малоинвазивных эндоскопических торакальных операций частота послеоперационных осложнений колеблется от 1% до 2%, после открытых операций с использованием торакотомного доступа – от 4% до 12% [2].

Существует большое количество различных классификаций послеоперационных осложнений, отражающих их характер, время возникновения, тяжесть состояния пациента и т.д. (например, классификация интраоперационных неблагоприятных инцидентов по R. Satava [3], классификация послеоперационных осложнений Accordion [4],

в том числе ее модифицированный вариант [5]). Однако в клинической практике наиболее удобной и часто используемой является система Clavien–Dindo–Strasberg (табл. 1) [6, 7].

**Цель** – оценить возможности компьютерной томографии (КТ) в диагностике и дифференциальной диагностике ранних послеоперационных осложнений при лечении рака легкого.

## Материал и методы / Material and methods

В отделении торакальной онкологии ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России за период с 2014 по 2024 гг. по поводу рака легкого были прооперированы 564 пациента. Средний возраст составил  $64 \pm 0,7$  года (от 29 до 90 лет).

Выполнено 426 (75,6%) анатомических резекций легких (лобэктомия, билобэктомия) и 138 (24,4%) пневмонэктомий. Характер и частота возникших осложнений в раннем послеоперационном

Таблица 1

## Классификация послеоперационных осложнений Clavien–Dindo–Strasberg

Table 1

## Clavien–Dindo–Strasberg classification of postoperative complications

| Класс / Class | Описание / Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I             | Любое отклонение от нормального течения послеоперационного периода без необходимости медикаментозного лечения или хирургических, эндоскопических, радиологических вмешательств / Any deviation from the normal course of the postoperative period without the need for drug treatment or surgical, endoscopic, radiological interventions             |
| II            | Осложнения, требующие лечения медикаментозными препаратами, помимо допускаемых для I класса осложнений, также включены переливание крови и общее парентеральное питание / Complications requiring treatment with medications, in addition to those permitted for class I complications, also include blood transfusion and total parenteral nutrition |
| III           | Осложнения, требующие хирургических, эндоскопических, радиологических вмешательств / Complications requiring surgical, endoscopic, radiological interventions                                                                                                                                                                                         |
|               | A – вмешательства без общего обезболивания / A – interventions without general anesthesia                                                                                                                                                                                                                                                             |
|               | B – вмешательства под общим обезболиванием / B – interventions under general anesthesia                                                                                                                                                                                                                                                               |
| IV            | Жизнеугрожающие осложнения (включая осложнения со стороны центральной нервной системы)*, требующие лечения в отделениях реанимации и интенсивной терапии / Life-threatening complications (including ones from the central nervous system)* requiring treatment in intensive care units                                                               |
|               | A – дисфункция одного органа (включая гемодиализ) / A – dysfunction of one organ (including hemodialysis)                                                                                                                                                                                                                                             |
|               | B – полиорганная недостаточность / B – multiple organ failure                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| V             | Смерть пациента / Patient's death                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Если у пациента были осложнения во время выписки (которые привели к инвалидности), к соответствующему классу осложнения добавляется суффикс «d» / If a patient had complications at discharge (which resulted in disability), the suffix “d” is added to the corresponding complication class

Примечание. \* Кровоизлияние в мозг, ишемический инсульт, субарахноидальное кровоизлияние, но исключая транзиторную ишемическую атаку.  
Note. \* Cerebral hemorrhage, ischemic stroke, subarachnoid hemorrhage, but excluding transient ischemic attack.

периоде (до 30 сут после операции) представлены в таблице 2.

Всем пациентам в раннем послеоперационном периоде (до 30 сут) назначалась обзорная рентгенография органов грудной полости. Для диагностики возникших послеоперационных осложнений КТ проведена в 77 случаях (13,6%).

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Серьезные послеоперационные осложнения (IIIB и выше по классификации Clavien–Dindo–Strasberg) после анатомической резекции легких возникли у 27 (6,3%) пациентов, после пневмонэктомии – у 50 (36,2%).

В настоящее время единой и общепризнанной КТ-классификации послеоперационных осложнений нет, однако по этиологическому механизму развития возможно разделение на следующие группы:

- осложнения воспалительной природы (в плевральной полости – эмпиема, в легочной ткани – бактериальные и вирусные пневмонии);
- сосудистые осложнения (тромбозы легочной артерии (ТЭЛА), гемоторакс, внутрилегочная геморрагическая имбибиция);
- острый ателектаз;
- ранние послеоперационные рецидивы опухоли;
- несостоятельность швов культи крупного бронха, в том числе с формированием бронхоплевральных свищей;
- послеоперационные отеки легких.

Выявление всех перечисленных выше осложнений в раннем послеоперационном периоде меняет обычную тактику ведения пациентов. Для их диагностики и дифференциальной диагностики ранее применялась традиционная рентгенография, позволяющая выявить тяжелые изменения. В последние десятилетия с этой целью использу-

Таблица 2

Осложнения, возникшие после хирургического лечения рака легкого, n (%)

Table 2

Complications after surgical treatment of lung cancer, n (%)

| Осложнение / Complication                                 | Тип вмешательства / Type of intervention                   |                                |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                                           | Анатомическая резекция легкого / Anatomical lung resection | Пневмонэктомия / Pneumonectomy |
| Несостоятельность культи бронха / Bronchial stump failure | 5 (1,1)                                                    | 6 (4,3)                        |
| Тромбоэмболия легочной артерии / Pulmonary embolism       | 5 (1,1)                                                    | 0 (0,0)                        |
| Кровотечение / Bleeding                                   | 4 (0,9)                                                    | 13 (9,4)                       |
| Внутрибольничная пневмония / Hospital-acquired pneumonia  | 2 (0,4)                                                    | 2 (1,4)                        |
| Эмпиема плевры / Pleural empyema                          | 0 (0,0)                                                    | 2 (1,4)                        |
| Сосудистые осложнения* / Vascular complications*          | 3 (0,7)                                                    | 2 (1,4)                        |

Примечание. \* Инфаркт миокарда, тромбоз легочной вены, мезентериальный тромбоз.

Note. \* Myocardial infarction, pulmonary vein thrombosis, mesenteric thrombosis.

ется рентгеновская КТ с применением многофазного болюсного контрастирования, при которой можно определить весь спектр патологии (в том числе сосудистые изменения).

**Осложнения воспалительной природы**

**Эмпиема плевры**

Эмпиема плевры – частое и опасное осложнение, которое возникает в 5–30% случаев после операций на легких. У пациентов, перенесших пневмонэктомию частота развития эмпиемы плевры значительно выше (до 7%), чем после резекции легкого (до 0,9%) [8]. К факторам риска появления эмпиемы плевры относятся: наличие хронических воспалительных процессов в легочной паренхиме, предоперационная химио- и лучевая терапия, расширенные резекции легкого с лимфодиссекцией, несостоятельность культи бронха, завершающая пневмонэктомию после предшествующего оперативного вмешательства, развитие интраплеврального кровотечения, персистирующий послеоперационный пневмоторакс и инородные тела в плевральной полости [9].

По классификации Британского торакального общества выделяют три стадии развития эмпиемы [10]:

- I стадия (серозная) характеризуется накоплением плеврального выпота;
- на II стадии (гнойно-фибринозной) происходит инфицирование плеврального содержимого;
- в III стадии (фибринозной организации) на поверхности легкого образуется капсула, мешающая полной экскурсии, для снятия которой требуется декорткация легкого.

По данным КТ дифференциальная диагностика экссудата от транссудата представляет серьезные затруднения (табл. 3). Однако благодаря КТ эмпиему плевры возможно заподозрить на II и III стадиях по совокупности признаков: повышение плотностных показателей выпота, утолщение плевральных листков, появление разнокалиберных пузырей газа. КТ-ангиография в случае эмпиемы дополняет нативное исследование, но не является необходимым. При выполнении исследования в условиях внутривенного контрастирования отмечается неравномерное утолщение плевральных листков, накопление ими контрастного препарата, в ряде случаев более отчетливо визуализируются спайки, разграничивающие плевральную полость.

**Клинический пример 1**

Пациент Б. 1967 г.р. Правосторонняя пневмонэктомия по поводу плоскоклеточного рака легкого, несостоятельность культи правого главного бронха, эмпиема плевры (верифицирована при торакоскопии). КТ-картина перехода серозной стадии эмпиемы плевры (рис. 1, а, b) в гнойно-фиброзную (рис. 1, с, d) с неравномерным утолщением плевральных листков, накоплением ими контрастного препарата, появлением соединительнотканых септ в правой плевральной полости. Выявляются косвенные КТ-признаки несостоятельности культи правого главного бронха в виде появления пузырьков газа вокруг нее.

**Послеоперационная пневмония**

Нозокомиальные пневмонии являются одним из наиболее частых осложнений после резекций легкого, а также пневмонэктомий. По данным за-

Таблица 3

## КТ-признаки эмпиемы плевры

Table 3

## CT signs of pleural empyema

| Стадия / Grade                                                  | КТ-картина / CT picture                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I (серозная) /<br>I (serous)                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Выпот в плевральной полости расположен свободно, без КТ-признаков осумкования / Pleural effusion is freely located, without CT signs of encapsulation</li> <li>– Выпот однородный, плотностью до +10 HU / The effusion is homogeneous, with a density of up to +10 HU</li> <li>– Реактивная ипсилатеральная лимфоаденопатия / Reactive ipsilateral lymphadenopathy</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| II (гнойно-фибринозная) /<br>II (purulent-fibrinous)            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Выпот в плевральной полости с участками осумкования, пузырьками газа, наличием септ / Pleural effusion with areas of encapsulation, gas bubbles, and the presence of septa</li> <li>– Повышение плотностных показателей до +25 HU / Increase in density indicators up to +25 HU</li> <li>– Реактивная ипсилатеральная лимфоаденопатия / Reactive ipsilateral lymphadenopathy</li> <li>– Содружественные изменения смежных отделов легочной ткани (участки компрессионного коллапса и округлые ателектазы) / Associated changes in adjacent areas of lung tissue (sites of compression collapse and rounded atelectases)</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |
| III (фибринозной организации) /<br>III (fibrinous organization) | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Спаечный процесс в плевральной полости с формированием толстостенной остаточной полости, в той или иной степени коллабирующей легкое, с бронхиальными свищами или без них, с наличием крупных газовых пузырей / Adhesive process in pleural cavity with formation of a thick-walled residual cavity, which to some extent collapses the lung, with or without bronchial fistulas, with large gas bubbles</li> <li>– Плотность выпота до +35 HU / Effusion density up to +35 HU</li> <li>– Реактивная ипсилатеральная лимфоаденопатия, содружественные изменения смежных отделов легочной ткани (плеврогенный цирроз легкого) и в тканях грудной стенки / Reactive ipsilateral lymphadenopathy, concomitant changes in adjacent areas of lung tissue (pleurogenic lung cirrhosis) and in chest wall tissues</li> </ul> |

рубежных авторов, частота пневмоний у пациентов после операции на грудной полости составляет 5–25% [11]. Летальность при возникновении пневмонии в послеоперационном периоде достигает 46% [10]. К факторам риска развития послеоперационных пневмоний относятся мужской пол, наличие хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ), пожилой возраст, при этом почти в 30% случаев клиническая картина их течения стертая [5]. Дыхательная недостаточность и пневмония – наиболее частые легочные осложнения, возникающие у пациентов после операции на легких, перенесших предшествующую химио- или лучевую терапию.

КТ-семиотика воспалительных процессов на фоне послеоперационных изменений при лечении рака легкого:

- полисегментарная, сливная инфильтрация в легочной ткани, часто с ателектатическим компонентом;
- отсутствие воздушной бронхографии;
- локализация преимущественно в дорзобазальных отделах;
- быстрое формирование деструктивных изменений в легочной ткани;
- быстрая отрицательная динамика (нарастание инфильтрации);
- наличие небольшого по объему реактивного выпота;

– отсутствие выраженной лимфоаденопатии.

Изменения, выявляемые при КТ у пациентов с вирусной пневмонией, а именно с новой корона-вирусной инфекцией (COVID-19), в раннем послеоперационном периоде, имеют особенности, знание которых позволяет своевременно поставить правильный диагноз и изменить лечебную тактику.

КТ-семиотика новой коронавирусной инфекции на фоне послеоперационных изменений:

- диссеминированное поражение;
- обширные фокусы «матового стекла» за счет уплотнения внутри- и междолькового интерстиция;
- ретикулярные изменения;
- фульминантное течение;
- присоединение бактериальной флоры (появление альвеолярной инфильтрации, реактивного выпота на стороне максимально выраженных изменений).

Клинический пример 2

Пациент Р. 1969 г.р. Левосторонняя торакотомия, верхняя расширенная лобэктомия по поводу аденокарциномы легкого. Динамика воспалительной инфильтрации за 7 сут: отмечается увеличение протяженности и выраженности зоны альвеолярной инфильтрации в нижней доле левого легкого без КТ-признаков воздушной бронхографии, далее – формирование мелких (до 0,5 см) полостей деструкции в апикальных отделах S6 нижней доли

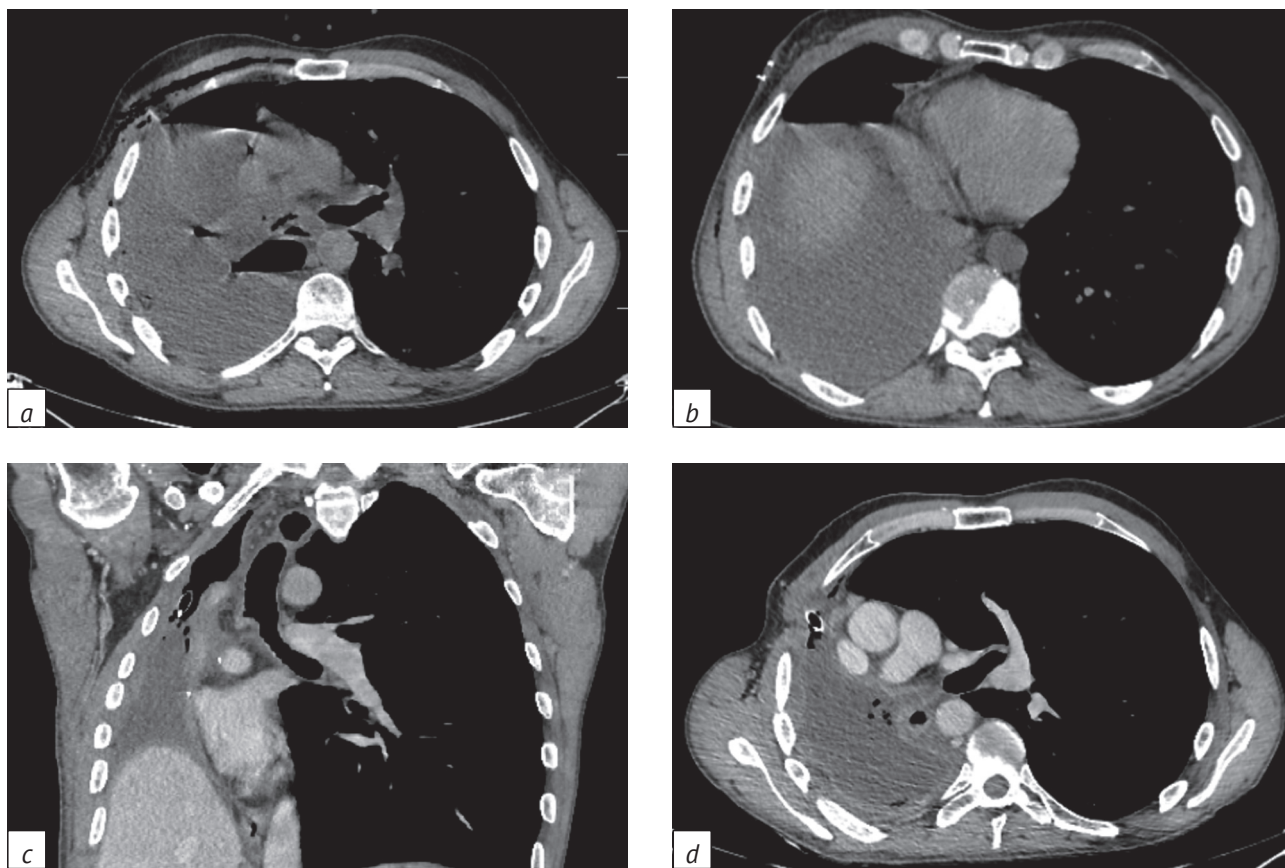


Рис. 1. Пациент Б. 1967 г.р. Правосторонняя пневмонэктомия по поводу плоскоклеточного рака легкого, несостоятельность культи правого главного бронха, эмпиема плевры (верифицирована при торакоскопии):  
a, b – КТ от 18.05.2023 г.; c, d – КТ от 03.06.2023 г.

Fig. 1. Patient B., born in 1967. Right pneumonectomy for squamous cell lung cancer, right main bronchus stump failure, pleural empyema (verified by thoracoscopy):  
a, b – CT scan dated May 18, 2023; c, d – CT scan dated July 3, 2023

слева, появление минимального по объему выпота в верхних отделах левой плевральной полости (рис. 2, a–d). Через 8 сут наблюдаются уменьшение объема нижней доли левого легкого (за счет ателектатического компонента), элевация левой половины диафрагмы, увеличение размеров полостей деструкции в S6 левого легкого (рис. 2, e, f).

В результате лечебных мероприятий состояние пациента стабилизировано, он был выписан из стационара. Через 4 мес после левосторонней торакотомии, верхней лобэктомии КТ-картина поствоспалительных фиброзных изменений в апикальных отделах нижней доли легкого с уменьшением ее объема, наличием плевральных шварт (неравномерное утолщение плевральных листков) и наличием парацикатрической эмфиземы в смежных отделах базальных сегментов нижней доли левого легкого (рис. 2, g, h).

### Клинический пример 3

Пациентка Ц. 1962 г.р. Состояние после верхней лобэктомии справа по поводу плоскоклеточного рака легкого (верифицированная новая ко-

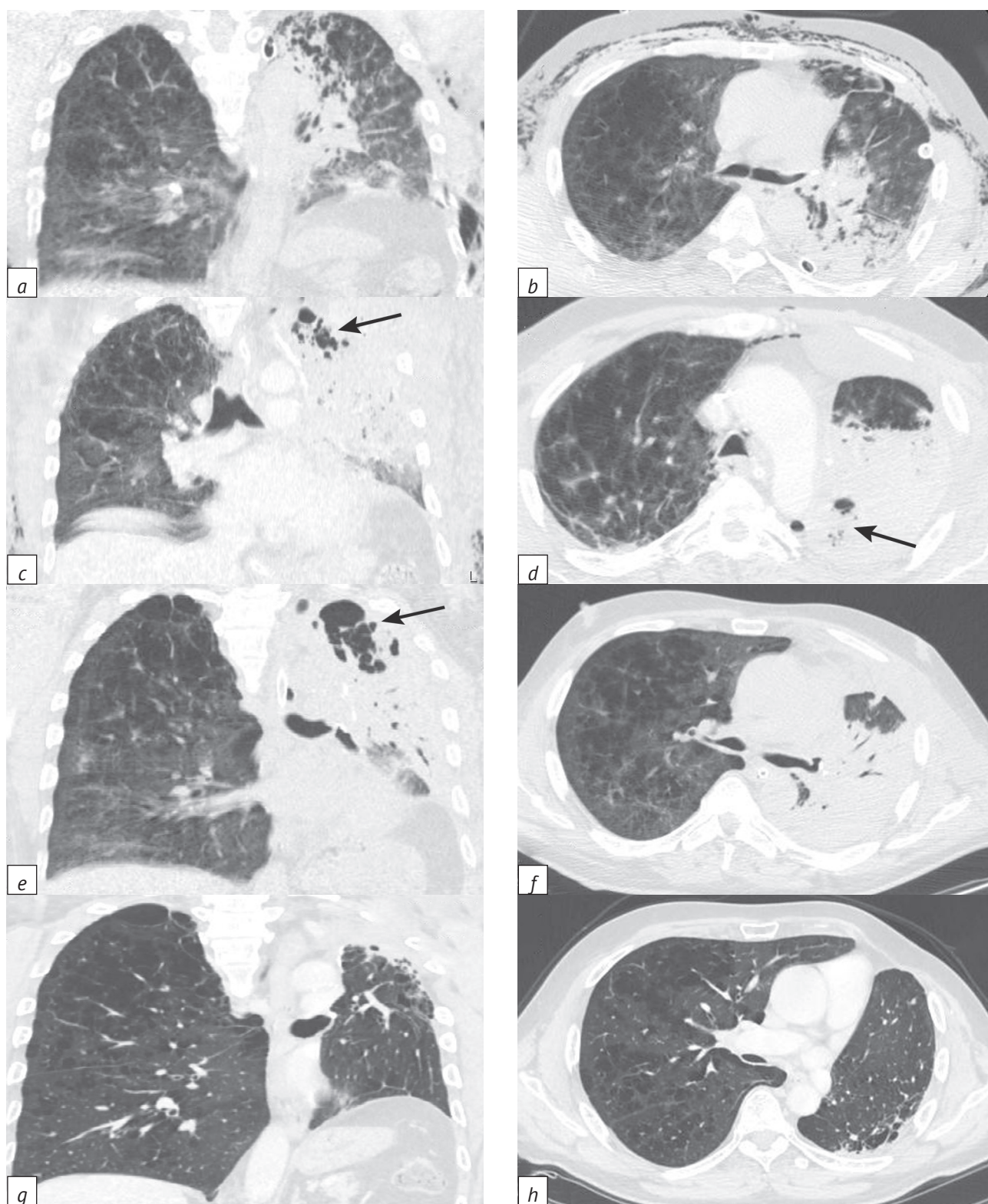
ронавирусная инфекция – COVID-19). Динамика полисегментарной вирусной пневмонии с нарастанием изменений, появлением фокусов альвеолярной инфильтрации в нижних отделах правого легкого (присоединение бактериальной флоры) (рис. 3).

### Сосудистые осложнения

#### Кровотечение

Частота развития кровотечений в послеоперационном периоде составляет 2,5–4,0%. В 47–52% случаев кровотечения являются причиной реторакотомий<sup>1</sup>. Источниками кровотечения являются сосуды резекционной поверхности легочной паренхимы (23%), сосуды грудной стенки (20%), мелкие сосуды диафрагмы (2%), в 20% наблюдений источник кровотечения не определяется [12]. Кровотечение из легочной паренхимы имеет склон-

<sup>1</sup> Дружинин С.Г. Выбор тактики хирургического лечения при свернувшемся гемотораксе. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Ярославль; 2016.



*Рис. 2.* Пациент Р. 1969 г.р. Левосторонняя торакотомия, верхняя расширенная лобэктомия по поводу аденокарциномы легкого:

*a, b* – КТ от 06.05.2020 г.; *c, d* – КТ от 13.05.2020 г. (стрелками отмечены мелкие (до 0,5 см) полости деструкции); *e, f* – КТ от 21.05.2020 г. (стрелкой отмечены увеличившиеся в размере полости деструкции в S6 левого легкого); *g, h* – КТ от 18.09.2021 г.

*Fig. 2.* Patient R., born in 1969. Left thoracotomy, extended upper lobectomy for lung adenocarcinoma:

*a, b* – CT scan dated May 6, 2020; *c, d* – CT scan dated May 13, 2020 (arrows indicate small (up to 0.5 cm) cavities of destruction); *e, f* – CT scan dated May 21, 2020 (the arrow indicates the increased size of destruction cavity in S6 left lung); *g, h* – CT scan dated September 18, 2021

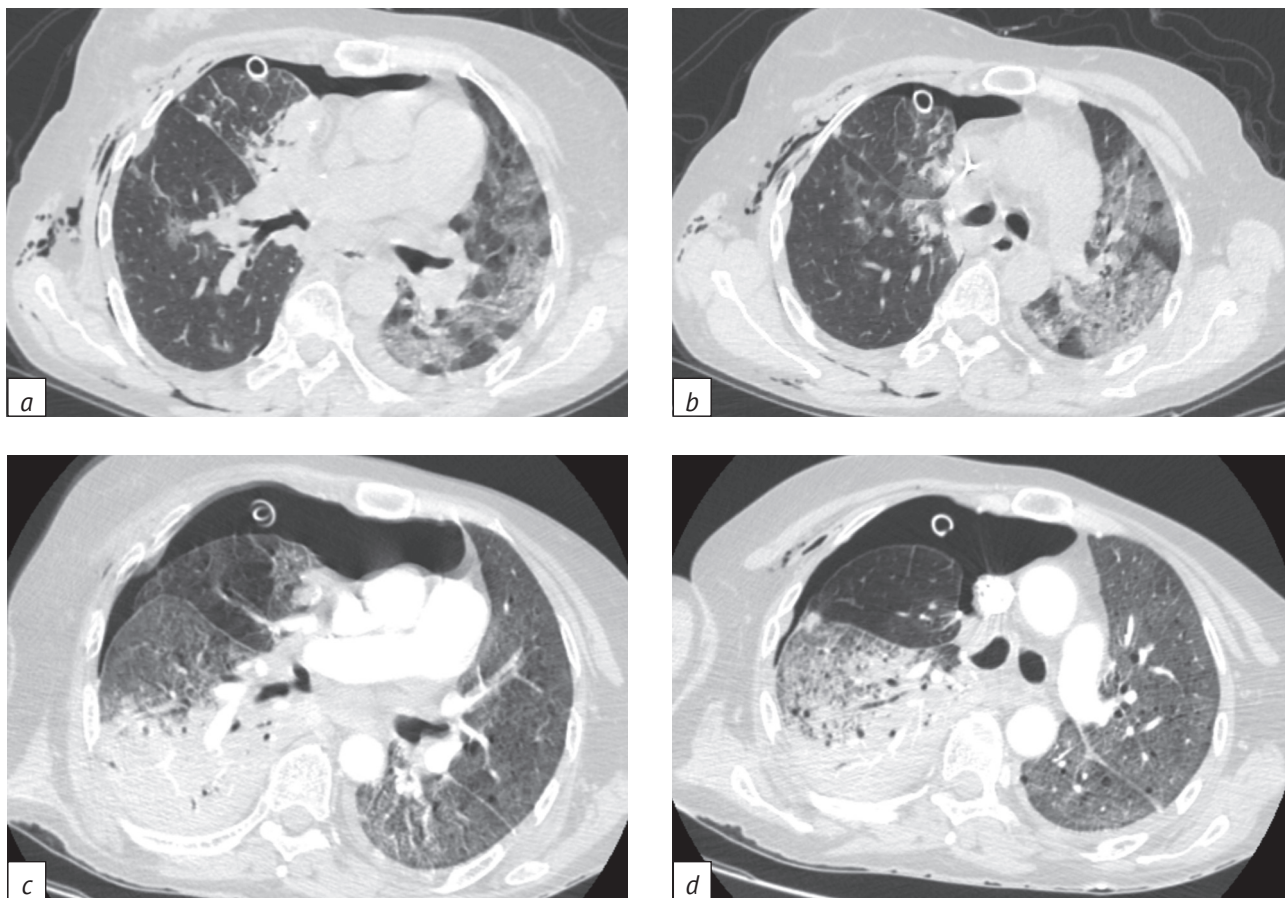


Рис. 3. Пациентка Ц. 1962 г.р. Состояние после верхней лобэктомии справа по поводу плоскоклеточного рака легкого (верифицированная новая коронавирусная инфекция):  
a, b – КТ от 15.12.2020 г.; c, d – КТ от 20.12.2020 г.

Fig. 3. Patient C., born in 1962. Condition after right upper lobectomy for squamous cell lung cancer (verified new coronavirus infection):

a, b – CT scan dated December 15, 2020; c, d – CT scan dated December 20, 2020

ность к самостоятельной остановке, кровотечение из межреберных, внутренних грудных артерий или крупных сосудов средостения, как правило, не прекращается и приводит к образованию прогрессирующего массивного гемоторакса [2].

КТ-семиотика гемоторакса:

- гиперденсный (более +60 HU) выпот в плевральной полости (чем раньше срок выполненного исследования, тем выше плотностные показатели);
- формирование высокоплотностных (до +90 HU) сгустков неправильной формы;
- тенденция к осумкованию плеврального выпота;
- выраженное коллабирование смежных отделов легочной ткани;
- возможно выделение объема и формы гемоторакса: локальный (в синусах, над диафрагмой, паракостально и т.д.), плащевидный, тотальный (объемом свыше 1500 см<sup>3</sup>), фрагментарный (не связанные друг с другом, отграниченные скопления сгустков крови в различных отделах плевральной полости).

#### Клинический пример 4

Пациент П. 1957 г.р. Состояние после левосторонней пневмонэктомии по поводу плоскоклеточного рака легкого. КТ-признаки гемоторакса, сгустков в левой плевральной полости, эмфиземы мягких тканей грудной стенки (рис. 4).

#### Тромбоэмболия легочной артерии

ТЭЛА является грозным и часто фатальным осложнением для пациентов в послеоперационном периоде. У онкологических больных риск развития ТЭЛА повышается в 3–5 раз [13, 14]. Частота встречаемости ТЭЛА после операций на легких варьируется от 0,19% до 47% [15]. Вероятнее всего, такой значительный разброс связан с исходным статусом пациентов, наличием сопутствующей коморбидной патологии и другими факторами. Ряд авторов отмечает, что ТЭЛА является второй по частоте причиной смерти онкологических пациентов в раннем послеоперационном периоде [16].

Возникновение ТЭЛА после пневмонэктомии, или резекции легкого в любом объеме, связывают

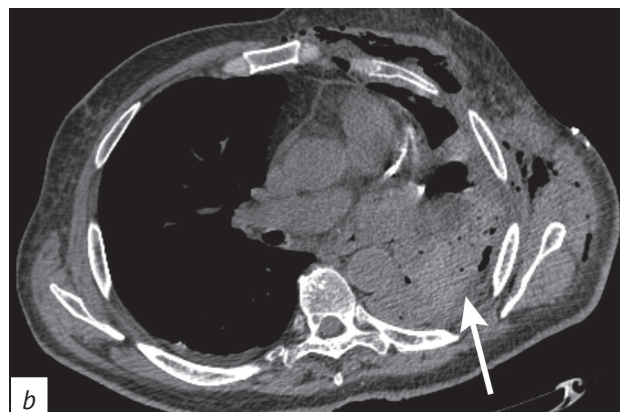
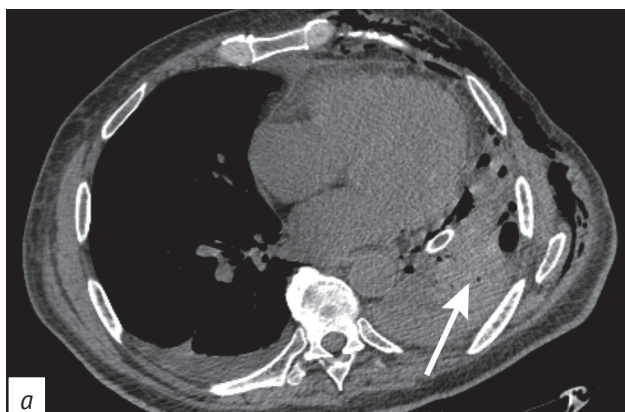


Рис. 4. Пациент П. 1957 г.р. Состояние после левосторонней пневмонэктомии по поводу плоскоклеточного рака легкого. На КТ-изображениях (а, б) стрелками отмечены сгустки в левой плевральной полости

Fig. 4. Patient P., born in 1957. Condition after left pneumonectomy for squamous cell lung cancer. In CT images (a, b), arrows indicate clots in the left pleural cavity

с повышением давления в системе легочной артерии, изменением возврата крови в правые отделы сердца и снижением в связи с этим объема циркулирующей крови [17]. Также значимую роль в развитии ТЭЛА может играть повышение вязкости крови вследствие гиподинамии и несоответствующей коррекции объема циркулирующей крови. Согласно литературным источникам пик развития ТЭЛА у пациентов после пневмонэктомии/лобэктомии чаще всего приходится на 6–7-е сутки послеоперационного периода [18].

В отделении торакальной онкологии ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова» Минздрава России за период с 2014 по 2024 гг. у пациентов, прооперированных по поводу рака легкого, тромбоэмболия ветвей легочной артерии определялась в 5 случаях после пневмонэктомии, что составило 1,1%. У больных после анатомических резекций в раннем послеоперационном периоде клинических признаков ТЭЛА выявлено не было. По протяженности во всех случаях определялась субмассивная ТЭЛА с наличием тромбов в долевых и сегментарных венозных сосудах.

КТ-семиотика ТЭЛА:

- прямые признаки (внутрипросветные и пристеночные дефекты контрастирования легочной артерии);
- косвенные признаки (мозаичность перфузии легочной ткани, инфаркты легкого треугольной формы, субплевральной локализации, и/или фокусы внутриальвеолярного кровоизлияния [20], «скачок» калибра ветвей легочной артерии, локальное обеднение сосудистого рисунка, расширение ствола легочной артерии, сопутствующий плевральный выпот/перикардит, дисковидные ателектазы);

- по протяженности: массивная – поражение более 50% сосудистого русла легких (эмболия легочного ствола или главных легочных артерий), субмассивная – окклюзия 30–50% объема сосудистого русла легких (эмболия нескольких долевых или многих сегментарных ветвей), немассивная – обструкция менее 30% объема сосудистого русла легких (эмболия мелких дистальных легочных артерий) [19].

#### Клинический пример 5

Пациент А. 1954 г.р. Правосторонняя верхнедолевая лобэктомия по поводу аденокарциномы легкого. КТ-признаки ТЭЛА на 3-и сутки после проведения оперативного вмешательства с наличием внутрипросветных и пристеночных тромбов в сегментарных и долевых ветвях легочной артерии с обеих сторон (рис. 5).

#### Геморрагическая имбибиция легкого

Для рентгенолога очень важно на предоперационном этапе оценить вариантную сосудистую анатомию легкого для исключения повреждения сверхкомплектных или аномально расположенных сосудов. Возникновение геморрагической имбибиции в оставшейся части легкого после анатомических резекций связано с интраоперационной травмой дренирующей вены либо остро возникшим ее тромбозом.

В процессе эмбриогенеза у человека формируются четыре легочные вены (по две с каждой стороны), несущие кровь к левому предсердию, причем среднедолевая вена впадает в верхнюю легочную. Такой вариант строения, принятый за норму, по данным разных авторов, встречается у 60–70% населения, но в 30–40% наблюдений анатомия венозных сосудов может быть другой.

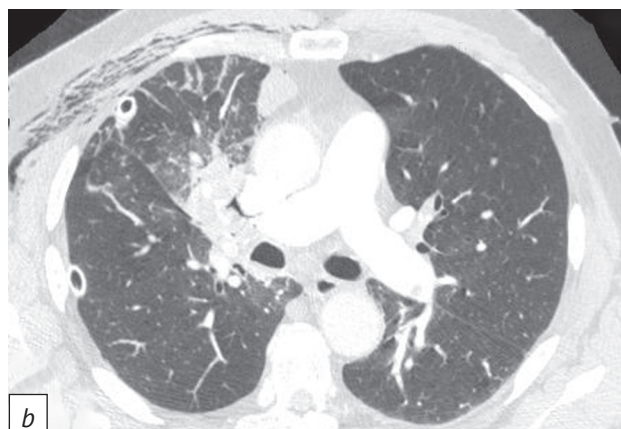
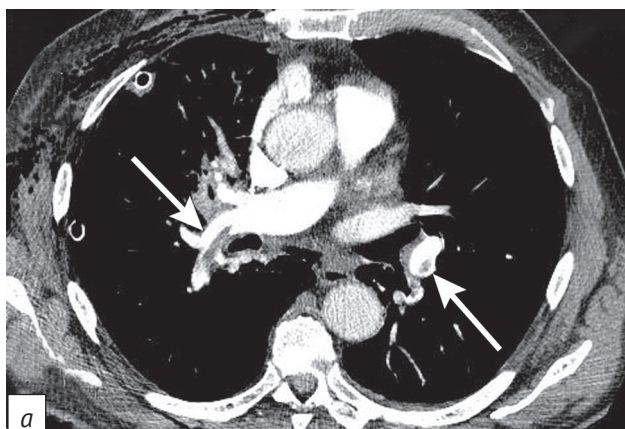


Рис. 5. Пациент А. 1954 г.р. Правосторонняя верхнедолевая лобэктомия по поводу аденокарциномы легкого. На КТ-изображениях (а, б) стрелками отмечены внутрипросветные и пристеночные тромбы в сегментарных и долевых ветвях легочной артерии с обеих сторон

Fig. 5. Patient A., born in 1954. Right upper lobectomy for lung adenocarcinoma. In CT images (a, b), arrows indicate intraluminal and parietal thrombi in segmental and lobar branches of pulmonary artery on both sides

Так, A. Fourdrain et al. оценили трехмерную КТ-ангиографию у 100 пациентов, которым планировались анатомические резекции легкого. Те или иные особенности строения венозного русла легкого были обнаружены у 36 из них [20]. S. Yamada et al. предоперационно обследовали 86 больных, у 5 из которых выявили aberrantные вены [21]. Нарушение оттока крови вызывает отек и венозное полнокровие участка легкого, что может проявляться клинически внутриплевральным кровотечением, кровохарканьем, нарастанием дыхательной недостаточности, повышением температуры тела, иногда выраженным лейкоцитозом [22].

КТ-семиотика геморрагической имбиции легочной ткани:

- зоны «матового стекла» за счет внутриальвеолярного заполнения геморрагическим содержимым, ограниченные контуром вторичной легочной доли;
- усиление междолькового интерстиция;

– отсутствие гравитационного эффекта с равномерным характером распределения изменений в соответствующей части легкого.

#### Клинический пример 6

Пациентка Б. 1949 г.р. Состояние после нижней лобэктомии слева по поводу аденокарциномы легкого. На 3-и сутки резкое ухудшение, снижение витальных показателей. Пациентка трактуется как больная с частичным/полным тромбозом легочной вены, имбицией кровью левого легкого с формированием вторичного интерстициального отека. При КТ-исследовании визуализируются признаки субтотальной геморрагической имбиции оставшейся ткани верхней доли левого легкого (рис. 6).

#### Острый ателектаз

Острый ателектаз является наиболее частым послеоперационным осложнением, возникающим

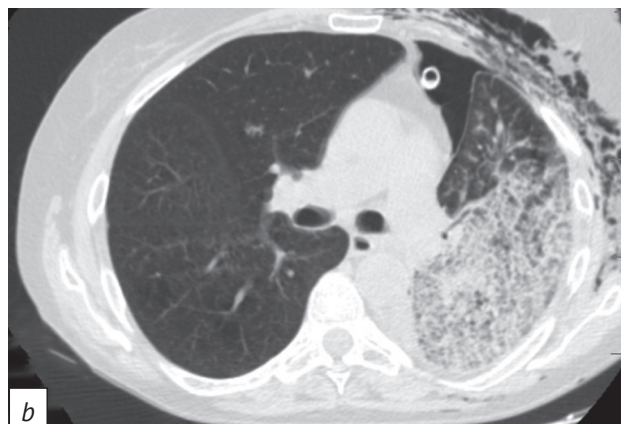
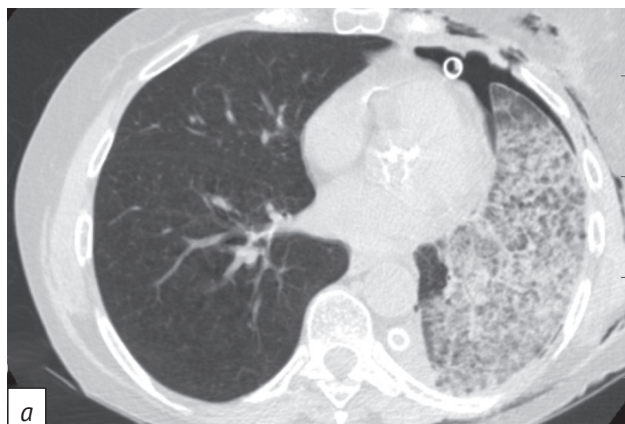


Рис. 6. Пациентка Б. 1949 г.р. Состояние после нижней лобэктомии слева по поводу аденокарциномы легкого. КТ-исследование от 06.05.2020 г. (а, б)

Fig. 6. Patient B., born in 1949. Condition after lower left lobectomy for lung adenocarcinoma. CT scan dated May 6, 2020 (a, b)

у 3–7% пациентов. Ателектаз чаще всего развивается после правой верхней лобэктомии и правой верхней билобэктомии. К основным факторам, способствующим формированию ателектаза, относят гиповентиляцию, отек легких с перегрузкой объемом, снижение активности мукоцилиарного клиренса и наличие ХОБЛ [19]. По этиопатогенетическим факторам и особенностям визуализации при КТ возможно разделение послеоперационных ателектазов на три группы [23]:

- рефлекторный (дисковидный) ателектаз – состояние, при котором происходит спадение альвеол в результате рефлекторной реакции на раздражение нервных окончаний, чаще всего в ответ на боль или травматическое воздействие на легкие (это приводит к уменьшению объема пораженной части легкого и нарушению газообмена);

- компрессионный ателектаз – отражение компрессионного механизма спадения легочной ткани за счет давления извне субстратом в плевральной полости;

- обтурационный ателектаз – соответствует сегментарному строению легких, вызывается инородным телом, опухолью, иным субстратом, блокирующим просвет бронха (при выполнении КТ-ангиографии будут визуализироваться интенсивно контрастированные сосуды, так как нет нарушения притока и оттока крови).

КТ-семиотика острых послеоперационных ателектазов представлена в таблице 3.

#### Клинический пример 7

Пациент Б. 1949 г.р. Состояние после нижней лобэктомии слева по поводу аденокарциномы легкого. Отсутствие значимой динамики острого ателектаза средней доли правого легкого за период динамического наблюдения (рис. 7). КТ-признаки уменьшения объема средней доли правого легкого, сближения в ней элементов легочного рисунка, острой тромбоэмболии сегментарных ветвей легочной артерии с положительной динамикой на фоне терапии антикоагулянтами. При фибробронхоскопии в просветах бронхов правого легкого значительное количество вязкого мутного слизистого содержимого с геморрагическим компонентом, больше в среднедолевом бронхе, после аспирации содержимого поступления свежей крови не отмечается.

#### **Рецидив опухоли в послеоперационном периоде**

По данным литературы, первые два года после оперативного вмешательства при местнораспространенном немелкоклеточном раке легкого считаются критическим периодом, в течение которого выявляется наибольшее количество рецидивов и отдаленных метастазов [24].

В источниках крайне мало данных по частоте встречаемости, особенностям течения и диагностики локорегионарных рецидивов в раннем послеоперационном периоде (до 30 сут после проведения оперативного вмешательства). Под местным рецидивом подразумевается появление очага в оставшейся ткани легкого или бронха на стороне поражения. Регионарным рецидивом считают проявление процесса в ипсилатеральных лимфатических узлах. Под отдаленным метастазированием подразумевается выявленное поражение в отдаленных органах. Скорость появления локорегионарных рецидивов зависит от агрессивности опухоли, а также от радикальности выполненного оперативного вмешательства<sup>2</sup>.

КТ-семиотика локорегионарного рецидива при хирургическом лечении рака легкого:

- появление мягкотканых масс в культе бронха и/или вдоль плевральных листков после пневмонэктомии/лобэктомии;
- накопление (в большинстве случаев неоднородное) контрастного препарата «плюс-тканью»;
- отрицательная динамика нарастания объема поражения за период наблюдения;
- ипсилатеральная лимфоаденопатия.

#### Клинический пример 8

Пациент П. 1957 г.р. Состояние после расширенной комбинированной левосторонней пневмонэктомии с резекцией перикарда, грудной стенки, мышечного слоя стенки пищевода по поводу плоскоклеточного рака легкого (рис. 8, а, b), состояние после левосторонней пневмонэктомии (24-е сутки после проведения оперативного лечения). КТ-данных за наличие ТЭЛА не получено. КТ-признаки опухолевых масс в переднем субплевральном отделе левого гемиторакса с отрицательной динамикой (рис. 8, с, d) на 44-е сутки после проведения оперативного лечения, появление плевроторакального свища слева.

#### **Несостоятельность швов культи бронха, в том числе с формированием бронхоплевральной фистулы**

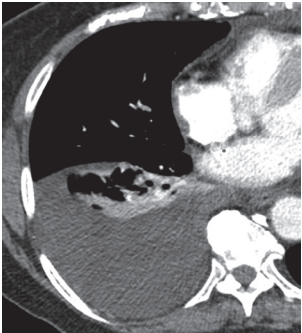
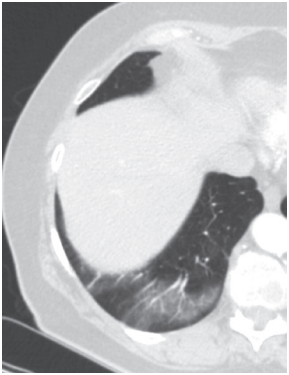
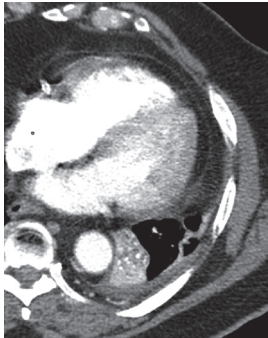
Несостоятельность швов бронха (НШБ), или бронхоплевральная фистула (БПФ) – осложнение лоб- или пневмонэктомии, характеризующееся прохождением воздуха из трахеи и бронхов в плевральную полость на стороне операции и поступлением плеврального экссудата в трахею и бронхи [25]. Оно является основной причи-

<sup>2</sup> Левченко Н.В., Совершенствование бронхопластических вмешательств в хирургии злокачественных новообразований легкого. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург; 2016.

КТ-семиотика острых постоперационных ателектазов

Table 3

CT semiotics of acute postoperative atelectases

| Вид ателектаза /<br>Type of atelectasis | Семиотика / Semiotics                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Пример / Example                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Компрессионный /<br>Compression         | <ul style="list-style-type: none"><li>– Интенсивное контрастирование / Intense contrast</li><li>– Сдавление легочной ткани извне (выпотом, вследствие элевации купола диафрагмы) / Compression of lung tissue from outside (effusion, due to elevation of diaphragm dome)</li><li>– Отсутствие втяжения междолевой границы / Absence of interlobar border retraction</li><li>– Интерстициальные изменения в смежных отделах легких / Interstitial changes in adjacent lung areas</li></ul>                       |  <p>Компрессионный ателектаз у пациента с обширным гидротораксом (до 1,5 л) / Compression atelectasis in a patient with extensive hydrothorax (up to 1.5 l)</p>                                                |
| Рефлекторный /<br>Reflex                | <ul style="list-style-type: none"><li>– Интенсивное контрастирование / Intense contrast</li><li>– Линейные участки уплотнения легочной ткани за счет рефлекторного спадения субсегментарных бронхов / Linear areas of lung tissue compaction due to reflex collapse of sub-subsegmental bronchi</li><li>– Отсутствие втяжения междолевой границы / Absence of interlobar border retraction</li><li>– Интерстициальные изменения в смежных отделах легких / Interstitial changes in adjacent lung areas</li></ul> |  <p>Рефлекторные дисковидные ателектазы на фоне хронического бронхита, хронической обструктивной болезни легких / Reflex discoid atelectases in chronic bronchitis, chronic obstructive pulmonary disease</p> |
| Обтурационный /<br>Obturator            | <ul style="list-style-type: none"><li>– Гиперваскулярный или контрастируется минимально, на фоне чего видны сосуды / Hypervascular or minimally contrasted, with visible vessels</li><li>– Уменьшение объема доли или соответствующего сегмента / Reduced volume of a lobe or corresponding segment</li><li>– Втяжение междолевой границы / Interlobar border retraction</li><li>– Интерстициальные изменения в смежных отделах легких / Interstitial changes in adjacent lung areas</li></ul>                   |  <p>Обтурационный ателектаз у пациента с центральным новообразованием нижнедолевого бронха / Obturative atelectasis in a patient with central tumor in the lower lobe bronchus</p>                           |

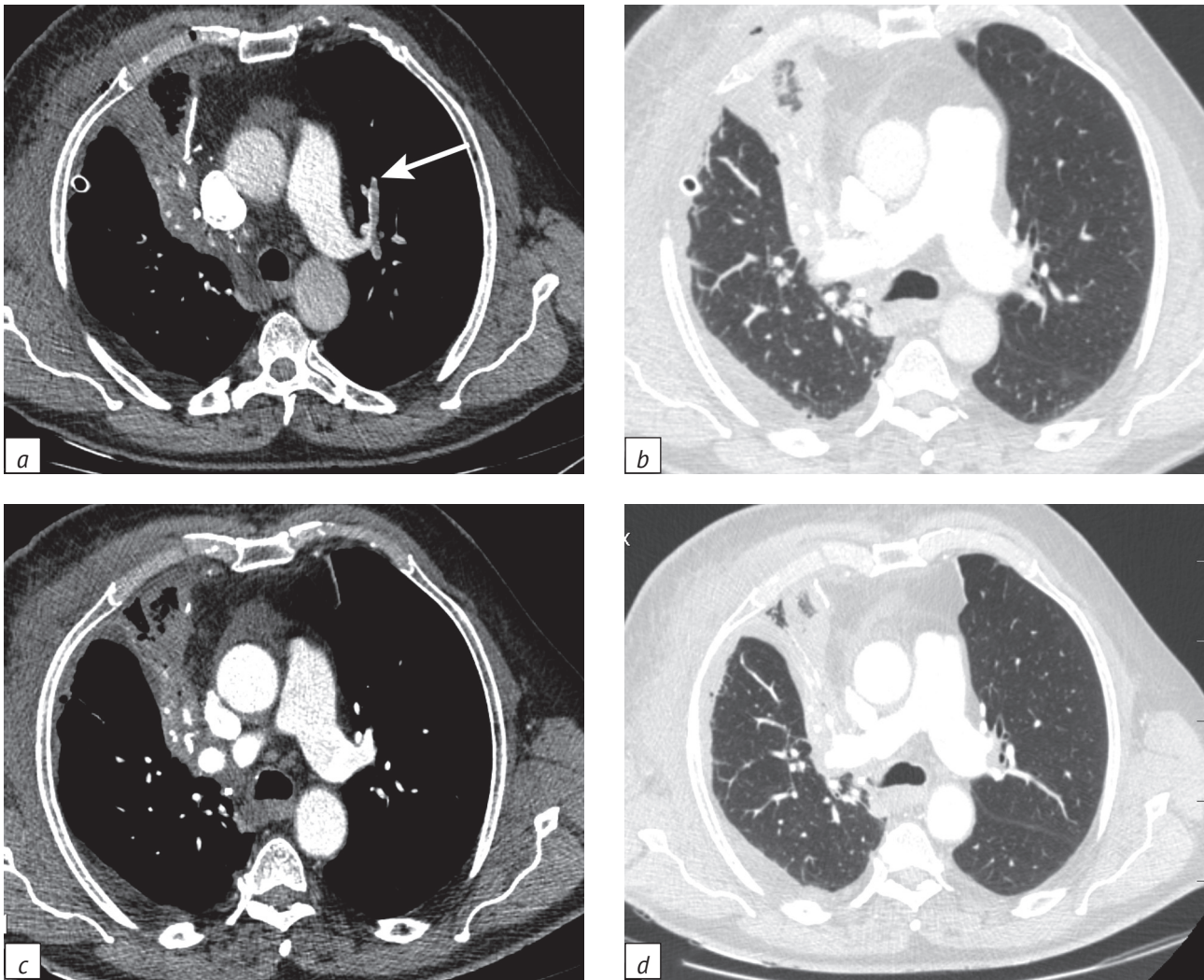


Рис. 7. Пациент Б. 1949 г.р. Состояние после нижней лобэктомии слева по поводу аденокарциномы легкого: а, б – КТ от 16.08.2024 г. (стрелкой указана острая тромбоэмболия сегментарных ветвей легочной артерии); в, д – КТ от 20.08.2024 г.

Fig. 7. Patient B., born in 1949. Condition after lower left lobectomy for lung adenocarcinoma: а, б – CT scan dated August 16, 2024 (the arrow indicates acute thromboembolism of pulmonary artery segmental branches); в, д – CT scan dated August 20, 2024

ной смерти пациентов в раннем послеоперационном периоде [26].

Частота встречаемости БПФ составляет около 0,1% после сегментэктомий, 0,2–3% после лобэктомий и достигает 10% после пневмонэктомий. Основная причина смерти пациентов с БПФ – сепсис, вызванный аспирационной пневмонией, эмпиема плевры, реже массивное кровохарканье как результат эрозивного кровотечения из легочной артерии. В зависимости от величины дефекта культи главного бронха различают три степени не состоятельности [1]:

- I степень – диаметр свища до 0,4 см;
- II степень – диаметр свища до 1 см;
- III степень – диаметр свища более 1 см и полное расхождение стенок бронха.

По срокам возникновения НШБ условно делят на острую (возникающую в первые 48 ч), раннюю (с 3-х по 14-е сутки) и позднюю (через 15 сут после операции) [27]. Острая и ранняя НШБ развивается при дефектах аппаратного или ручного шва, поздняя чаще имеет ишемический генез.

КТ-семиотика НШБ:

- патогномоничных КТ-признаков нет;
- появление и/или увеличение количества пузырьков газа вокруг культи бронха;
- длительно (более 7 сут) сохраняющийся пневмоторакс, эмфизема средостения, межмышечная эмфизема;
- увеличение количества воздуха в плевральной полости, средостении при контрольных КТ-исследованиях;

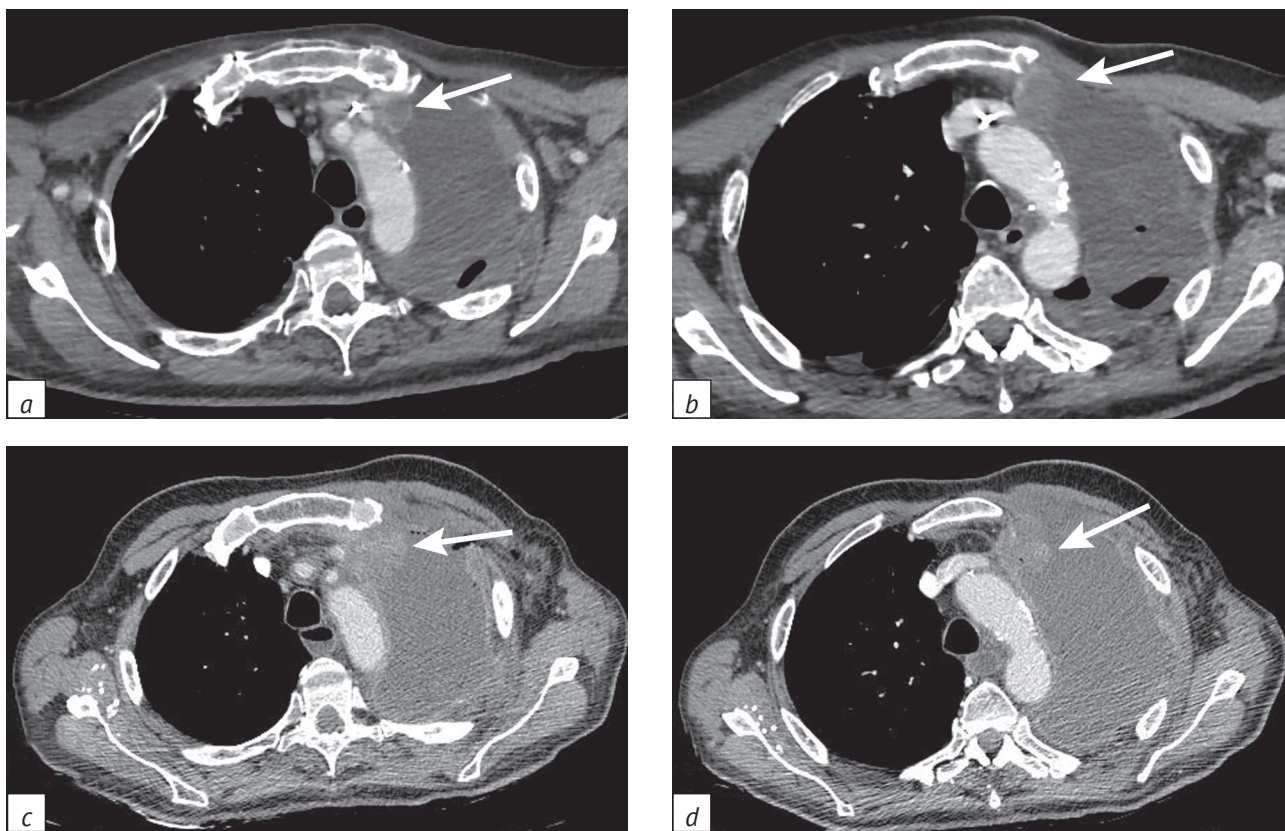


Рис. 8. Пациент П. 1957 г.р. Состояние после расширенной комбинированной левосторонней пневмонэктомии с резекцией перикарда, грудной стенки, мышечного слоя стенки пищевода по поводу плоскоклеточного рака легкого: а, б – КТ от 04.03.2024 г.; в, д – КТ от 30.03.2024 г. (стрелками указаны признаки опухолевых масс в переднем субплевральном отделе левого гемиторакса)

Fig. 8. Patient P., born in 1957. Condition after extended combined left pneumonectomy with resection of pericardium, chest wall, esophageal wall muscular layer for squamous cell lung cancer:

а, б – CT scan dated March 4, 2024; в, д – CT scan dated March 30, 2024 (arrows indicate signs of tumor masses in anterior subpleural region of left hemithorax)

– дефект стенки бронха с непосредственной визуализацией бронхоплеврального свища.

#### Клинический пример 9

Пациент Б. 1955 г.р. Состояние после левосторонней пульмонэктомии с резекцией мышечного слоя пищевода по поводу плоскоклеточного рака легкого. На КТ через 12 сут после проведения оперативного вмешательства – признаки значительного по объему левостороннего гидропневмоторакса, скопление газа вокруг культи левого главного бронха (рис. 9). При бронхоскопии – признаки дефекта культи левого главного бронха.

#### Клинический пример 10

Пациент Б. 1957 г.р. Состояние после комбинированной правосторонней пневмонэктомии с резекцией перикарда по поводу плоскоклеточного рака легкого от 09.03.2023 г. Резекция культи правого главного бронха, закрытие торакостомы от 23.05.2023 г., диагностическая видеоторакоскопия, повторное формирование торакостомы

справа от 19.06.2023 г. КТ-картина от 25.07.2023 г.: состояние после правосторонней торакостомии, сформированного бронхоплеврального свища на уровне культи правого главного бронха (рис. 10).

#### Постпневмонэктомический отек легкого

Постпневмонэктомический отек легкого (ППОЛ) – крайне опасное состояние, ассоциирующееся с высокой летальностью, которое может возникать как при избыточной гидратации пациента в периоперационном периоде, так и без нее. Частота встречаемости данного осложнения составляет 2–5%. Несмотря на предпринимаемую активную терапию, смертность достигает 50%. Выделяют отеки, связанные с повышением давления в легочных капиллярах (кардиогенный за счет декомпенсации сердечной недостаточности и некардиогенный), и отеки, возникающие при нарушении функции альвеолокапиллярной мембраны [28].

К факторам, способствующим возникновению послеоперационного отека единственного легкого, относят: перегрузку объемом жидкости,

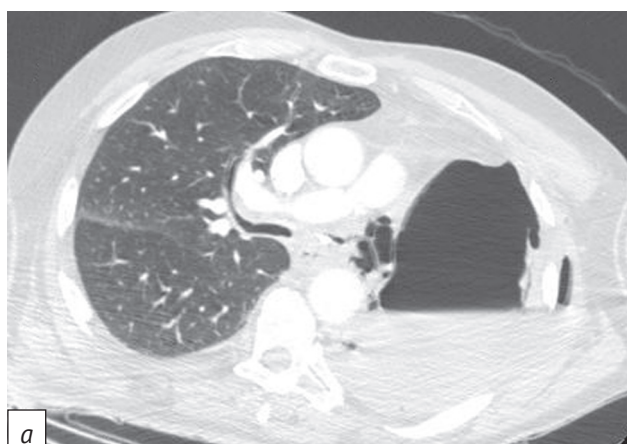


Рис. 9. Пациент Б. 1955 г.р. Состояние после левосторонней пульмонэктомии с резекцией мышечного слоя пищевода по поводу плоскоклеточного рака легкого. КТ от 17.06.2018 г. (через 12 сут после проведения оперативного вмешательства) (a, b)

Fig. 9. Patient B., born in 1955. Condition after left pneumonectomy with esophagus muscular layer resection due to squamous cell lung cancer. CT scan dated June 17, 2018 (12 days after surgery) (a, b)

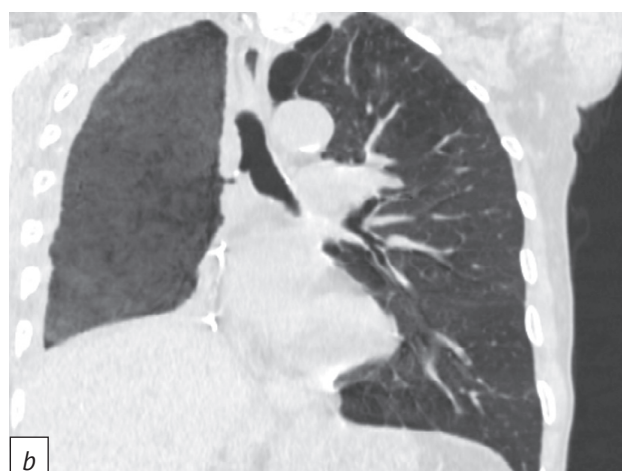
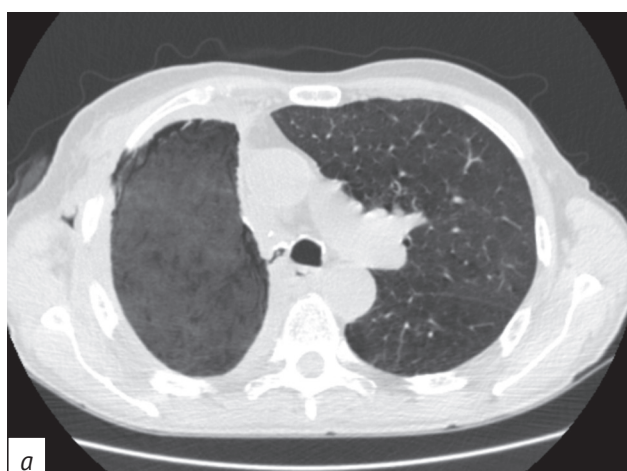


Рис. 10. Пациент Б. 1957 г.р. Состояние после комбинированной правосторонней пневмонэктомии с резекцией перикарда по поводу плоскоклеточного рака легкого. Ререзекция культи правого главного бронха, закрытие торакостомы, диагностическая видеоторакоскопия, повторное формирование торакостомы справа. На КТ-изображении от 25.07.2023 г. состояние после правосторонней торакостомии, сформированного бронхоплеврального свища на уровне культи правого главного бронха (a, b)

Fig. 10. Patient B., born in 1957. Condition after combined right pneumonectomy with pericardial resection for squamous cell lung cancer. Re-resection of right main bronchus stump, thoracostomy closure, diagnostic videothoracoscopy, re-formation of thoracostomy on the right. CT scan dated July 25, 2023 shows the condition after right thoracostomy, formed bronchopleural fistula at the level of right main bronchus stump (a, b)

повреждение лимфатических протоков при лимфодиссекции, «жесткие» параметры вентиляции с повреждением легочного эндотелия (баротравма), декомпенсацию правожелудочковой недостаточности и факторы, повышающие секрецию цитокинов. ППОЛ чаще возникает после правосторонней пневмонэктомии, имеет в большинстве случаев кардиогенный характер, а пик его приходится на 2–3-и сутки после операции [9].

КТ-семиотика ППОЛ:

– усиление центрального (перибронховаскулярные муфты) и периферического (утолщенные стенки вторичных легочных долек, линии Керли) интерстиция;

– локализация изменений в прикорневых отделах (симптом «бабочки»);  
– полисерозит (гидроторакс, гидроперикард);  
– признаки легочной гипертензии, кардиомегалии.

#### Клинический пример 11

Пациент И. 1947 г.р. Центральный плоскоклеточный рак правого легкого с ипсилатеральной лимфаденопатией бифуркационной, правой бронхопульмональной групп, инвазией в терминальные отделы правой главной ветви легочной артерии, ХОБЛ. КТ-картина центрального новообразования корня правого легкого с ипсилате-

ральной лимфоаденопатией бифуркационной, правой бронхопульмональной групп, инвазией в терминальные отделы правой главной ветви легочной артерии, ХОБЛ (рис. 11).

В связи с распространенной стадией центрального плоскоклеточного рака правого лег-

кого (сТ4N1M0) пациенту была выполнена правосторонняя пневмонэктомия. На фоне терапии за период 3-недельного наблюдения отмечена положительная КТ-динамика постпневмонэктомического альвеолярно-интерстициального отека единственного легкого (рис. 12).

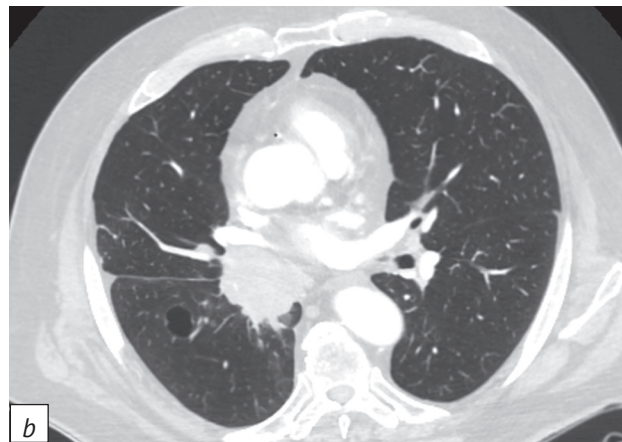
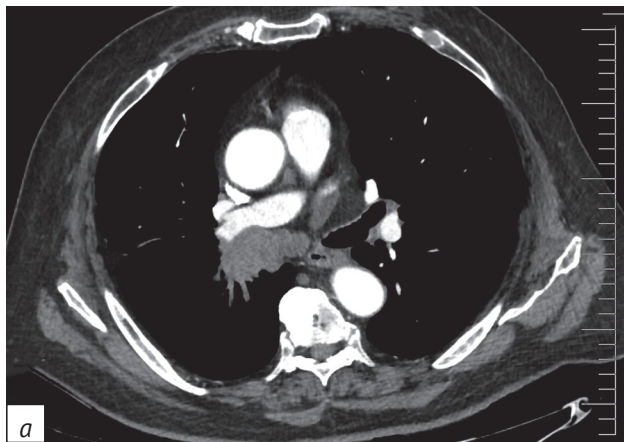


Рис. 11. Пациент И. 1947 г.р. Центральный плоскоклеточный рак правого легкого с ипсилатеральной лимфоаденопатией бифуркационной, правой бронхопульмональной групп, инвазией в терминальные отделы правой главной ветви легочной артерии, хронической обструктивной болезнью легких. КТ-картина от 17.04.2019 г. (a, b)

Fig. 11. Patient I., born in 1947. Central squamous cell carcinoma of the right lung with ipsilateral lymphadenopathy of bifurcation, right bronchopulmonary groups, invasion into the terminal sections of pulmonary artery right main branch, chronic obstructive pulmonary disease. CT scan dated April 17, 2019 (a, b)

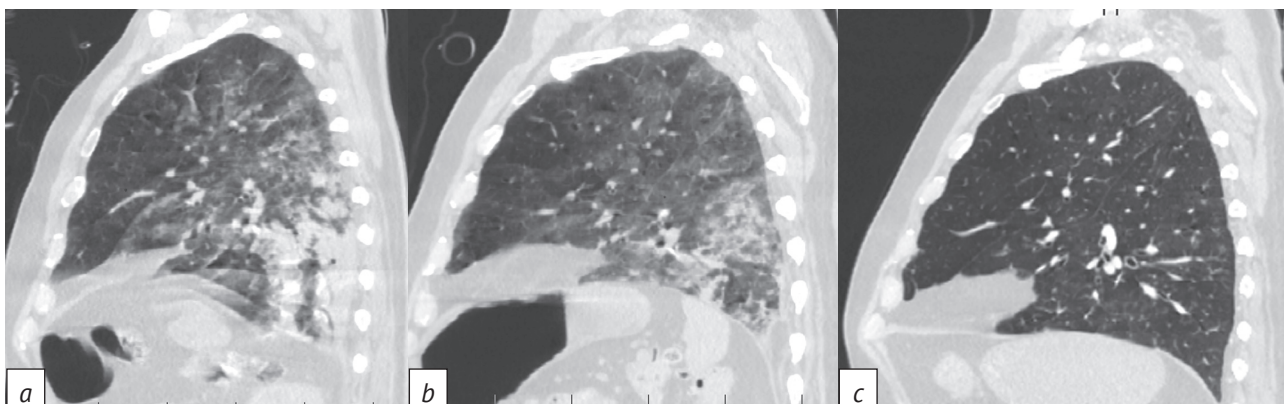


Рис. 12. Пациент И. 1947 г.р. Положительная КТ-динамика постпневмонэктомического альвеолярно-интерстициального отека единственного легкого на фоне терапии за период наблюдения:

a – КТ от 27.05.2019 г.; b – КТ от 31.05.2019 г.; c – КТ от 19.06.2019 г.

Fig. 12. Patient I., born in 1947. Positive CT dynamics of postpneumonectomy alveolar-interstitial edema of a single lung due to therapy during the observation period:

a – CT scan dated May 27, 2019; b – CT scan dated May 31, 2019; c – CT scan dated June 19, 2019

## Заключение / Conclusion

Таким образом, КТ в постоперационном периоде играет роль одновременно экстренной и экспертной методики, позволяющей быстро ответить на все вопросы о послеоперационных осложнениях при хирургическом лечении рака легкого. Мультидисциплинарный подход, знание рентгенологом анамнеза, хода оперативного вмешательства и всех лечебных мероприятий имеют

большое значение для постановки правильного диагноза.

КТ позволяет выявить патогномичные признаки разных вариантов послеоперационных осложнений при лечении рака легкого, что играет существенную роль в выборе тактики ведения пациентов, составлении прогноза течения заболевания и в конечном итоге – в повышении показателей выживаемости.

## Литература

1. Практическое руководство по использованию контрольного перечня ВОЗ по хирургической безопасности: безопасная хирургия спасает жизни. Всемирная организация здравоохранения, 2009. Хирургическая практика. 2013; 4: 63–71.
2. Плаксин С.А., Петров М.Е. Ранние реторакотомии при заболеваниях и травмах груди. Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2012; 5: 20–3.
3. Satava RM. Identification and reduction of surgical error using simulation. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2005; 14(4): 257–61. <https://doi.org/10.1080/13645700500274112>.
4. Казарян А.М., Акопов А.Л., Росок Б. и др. Российская редакция классификации осложнений в хирургии. Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2014; 173(2): 86–91.
5. Паршин В.Д., Бирюков Ю.В., Гудовский Л.М., Григорьева С.П. Реторакотомия в торакальной хирургии. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2012; 5: 4–9.
6. Clavien PA, Sanabria JR, Strasberg SM. Proposed classification of complications of surgery with examples of utility in cholecystectomy. *Surgery*. 1992; 111(5): 518–26.
7. Strasberg SM, Linehan DC, Hawkins WG. The accordion severity grading system of surgical complications. *Ann Surg*. 2009; 250(2): 177–86. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3181afde41>.
8. Багненко С.Ф., Тулупов А.Н. Актуальные проблемы диагностики и лечения тяжелой закрытой травмы груди. Скорая медицинская помощь. 2009; 10(2): 4–10.
9. Яблонский П.К., Соколов Е.Г., Васильев И.В. и др. Торакальная хирургия: национальные клинические рекомендации. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2014: 160 с.
10. Koegeleberg C, Diacon A, Bolliger C. Parapneumonic pleural effusion and empyema. *Respiration*. 2008; 75(3): 241–50. <https://doi.org/10.1159/000117172>.
11. Труфанов Г.Е., Митусова Г.М. (ред.) Лучевая диагностика заболеваний и повреждений органов грудной полости (атлас рентгено-компьютерно-томографических изображений). СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2008: 365 с.
12. Zhang Z, Liu D, Guo Y, et al. The common causes of conversion of VATS during operation for 248 non-small cell lung cancers. *Zhongguo Fei Ai Za Zhi*. 2011; 14(6): 523–8 (in Chinese). <https://doi.org/10.3779/j.issn.1009-3419.2011.06.08>.
13. Cai B, Bedayat A, George E, et al. Malignancy and acute pulmonary embolism: risk stratification including the right to left ventricle diameter ratio in 1596 subjects. *J Thorac Imaging*. 2013; 28(3): 196–201. <https://doi.org/10.1097/RTI.0b013e3182870bf9>.
14. Klok FA, Barco S, Bertolotti L. Optimal approach to performing and reporting computed tomography angiography for suspected acute pulmonary embolism: a clinical consensus statement of the ESC Working Group on Pulmonary Circulation & Right Ventricular Function, the Fleischner Society, the Association for Acute Cardiovascular Care (ACVC) and the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) of the ESC, Endorsed by European Respiratory Society (ERS), Asian Society of Thoracic Radiology (ASTR), European Society of Thoracic Imaging (ESTI), and Society of Thoracic Radiology (STR). *Radiology*. 2025; 315(3): e243833. <https://doi.org/10.1148/radiol.243833>.
15. Siva R, Idrees JJ, Blackstone EH, et al. Routine venous thromboembolism screening after pneumonectomy: the more you look, the more you see. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2016; 152(2): 524–32.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2016.03.097>.
16. Mason DP, Quader MA, Blackstone EH, et al. Thromboembolism after pneumonectomy for malignancy: an independent marker of poor outcome. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2006; 131(3): 711–8. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2005.10.027>.
17. Lugassy G, Falanga A, Kakkar A, Rickles F. Thrombosis and cancer. *Wyd Warszawa: Medipage*; 2006: 255 pp (in Polish).
18. Christensen TD, Vad H, Pedersen S, et al. Venous thromboembolism in patients undergoing operations for lung cancer: a systematic review. *Ann Thorac Surg*. 2014; 97(2): 394–400. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsurg.2013.10.074>.
19. Dickstein K, Cohen-Solal A, Filippatos G, et al. ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008: the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association of the ESC (HFA) and endorsed by the European Society of Intensive Care Medicine (ESICM). *Eur J Heart Fail*. 2008; 10(10): 933–89. <https://doi.org/10.1016/j.ejheart.2008.08.005>.
20. Fourdrain A, De Dominicis F, Bensussan M, et al. Three-dimensional computed tomography angiography of the pulmonary veins and their anatomical variations: involvement in video-assisted thoracoscopic surgery-lobectomy for lung cancer. *Folia Morphol*. 2017; 76(3): 388–93. <https://doi.org/10.5603/FM.a2016.0081>.
21. Yamada S, Suga A, Inoue Y, Iwazaki M. Importance of preoperative assessment of pulmonary venous anomaly for safe video-assisted lobectomy. *Inter Cardiovasc Thor Surg*. 2010; 10(6): 851–4. <https://doi.org/10.1510/icvts.2009.221804>.
22. Акопов А.Л., Агишев А.С., Яковлева Н.С. Нарушение венозного оттока после удаления доли легкого. Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2023; 182(3): 33–9.
23. Тюрин И.Е. Компьютерная томография органов грудной полости. СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2003: 371 с.
24. Bogot NR, Quint LE. Imaging of recurrent lung cancer. *Cancer Imaging*. 2004; 4(2): 61–7. <https://doi.org/10.1102/1470-7330.2004.0002>.
25. Макаренко Т.П., Харитонов Л.Г., Богданов Л.Г. Ведение больных общехирургического профиля в послеоперационном периоде. 2-е изд. М: Медицина; 1989; 349 с.
26. Аксарин А.А., Тер-Ованесов М.Д. Несостоятельность швов культи бронха в хирургии рака легкого. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2014; 9: 33–6.
27. Вагнер Е.А., Субботин В.М., Маковеев В.И. и др. Эндоскопическая окклюзия культи главного бронха. Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 1990; 2: 46–8.
28. Штабникий В.А. Кардиогенный и некардиогенный отек легких. Справочник поликлинического врача. 2017; 6: 38–44.

## References

1. Practical guidance on the use of the WHO checklist for surgical safety: safe surgery saves lives. World Health Organization, 2009. Surgical Practice. 2013; 4: 63–71 (in Russ).
2. Plaksin SA, Petrov ME. Early rethoracotomies for diseases and chest traumas. Grekov's Bulletin of Surgery. 2012; 5: 20–3 (in Russ).
3. Satava RM. Identification and reduction of surgical error using simulation. Minim Invasive Ther Allied Technol. 2005; 14(4): 257–61. <https://doi.org/10.1080/13645700500274112>.
4. Kazaryan AM, Akopov AL, Rosok B, et al. Russian edition of the classification of complications in surgery. Grekov's Bulletin of Surgery. 2014; 173(2): 86–91 (in Russ).
5. Parshin VD, Biriukov IuV, Gudovskii LM, Grigor'eva SP. Rethoracotomy in thoracic surgery. Pirogov Russian Journal of Surgery. 2012; 5: 4–9 (in Russ).
6. Clavien PA, Sanabria JR, Strasberg SM. Proposed classification of complications of surgery with examples of utility in cholecystectomy. Surgery. 1992; 111(5): 518–26.
7. Strasberg SM, Linehan DC, Hawkins WG. The accordion severity grading system of surgical complications. Ann Surg. 2009; 250(2): 177–86. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3181afde41>.
8. Bagnenko SF, Tulupov AN. Current problems in diagnostics and treatment of closed chest trauma. Emergency Medical Care. 2009; 10(2): 4–10 (in Russ).
9. Yablonsky PK, Sokolovich EG, Vasilyev IV, et al. Thoracic surgery: national clinical guidelines. Moscow: GEOTAR-Media; 2014: 160 pp (in Russ).
10. Koegeleberg C, Diacon A, Bolliger C. Parapneumonic pleural effusion and empyema. Respiration. 2008; 75(3): 241–50. <https://doi.org/10.1159/000117172>.
11. Trufanov GE, Mitusova GM (Eds). Radiation diagnostics of chest diseases and injuries (atlas of X-ray-computer-tomographic images). Saint Petersburg: ELBI-SPb; 2008: 365 pp (in Russ).
12. Zhang Z, Liu D, Guo Y, et al. The common causes of conversion of VATS during operation for 248 non-small cell lung cancers. Zhongguo Fei Ai Za Zhi. 2011; 14(6): 523–8 (in Chinese). <https://doi.org/10.3779/j.issn.1009-3419.2011.06.08>.
13. Cai B, Bedayat A, George E, et al. Malignancy and acute pulmonary embolism: risk stratification including the right to left ventricle diameter ratio in 1596 subjects. J Thorac Imaging. 2013; 28(3): 196–201. <https://doi.org/10.1097/RTI.0b013e3182870bf9>.
14. Klok FA, Barco S, Bertoletti L. Optimal approach to performing and reporting computed tomography angiography for suspected acute pulmonary embolism: a clinical consensus statement of the ESC Working Group on Pulmonary Circulation & Right Ventricular Function, the Fleischner Society, the Association for Acute Cardiovascular Care (ACVC) and the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) of the ESC, Endorsed by European Respiratory Society (ERS), Asian Society of Thoracic Radiology (ASTR), European Society of Thoracic Imaging (ESTI), and Society of Thoracic Radiology (STR). Radiology. 2025; 315(3): e243833. <https://doi.org/10.1148/radiol.243833>.
15. Siva R, Idrees JJ, Blackstone EH, et al. Routine venous thromboembolism screening after pneumonectomy: the more you look, the more you see. J Thorac Cardiovasc Surg. 2016; 152(2): 524–32.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2016.03.097>.
16. Mason DP, Quader MA, Blackstone EH, et al. Thromboembolism after pneumonectomy for malignancy: an independent marker of poor outcome. J Thorac Cardiovasc Surg. 2006; 131(3): 711–8. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2005.10.027>.
17. Lugassy G, Falanga A, Kakkar A, Rickles F. Thrombosis and cancer. Wyd Warszawa: Medipage; 2006: 255 pp (in Polish).
18. Christensen TD, Vad H, Pedersen S, et al. Venous thromboembolism in patients undergoing operations for lung cancer: a systematic review. Ann Thorac Surg. 2014; 97(2): 394–400. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsurg.2013.10.074>.
19. Dickstein K, Cohen-Solal A, Filippatos G, et al. ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008: the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association of the ESC (HFA) and endorsed by the European Society of Intensive Care Medicine (ESICM). Eur J Heart Fail. 2008; 10(10): 933–89. <https://doi.org/10.1016/j.ejheart.2008.08.005>.
20. Fourdrain A, De Dominicis F, Bensussan M, et al. Three-dimensional computed tomography angiography of the pulmonary veins and their anatomical variations: involvement in video-assisted thoracoscopic surgery-lobectomy for lung cancer. Folia Morphol. 2017; 76(3): 388–93. <https://doi.org/10.5603/FM.a2016.0081>.
21. Yamada S, Suga A, Inoue Y, Iwazaki M. Importance of preoperative assessment of pulmonary venous anomaly for safe video-assisted lobectomy. Inter Cardiovasc Thor Surg. 2010; 10(6): 851–4. <https://doi.org/10.1510/icvts.2009.221804>.
22. Akopov AL, Agishev AS, Yakovleva NS. Venous drainage disorder after pulmonary lobectomies. Grekov's Bulletin of Surgery. 2023; 182(3): 33–9 (in Russ).
23. Tyurin I.E. Chest computer tomography. Saint Petersburg: ELBI-SPb; 2003: 371 pp (in Russ).
24. Bogot NR, Quint LE. Imaging of recurrent lung cancer. Cancer Imaging. 2004; 4(2): 61–7. <https://doi.org/10.1102/1470-7330.2004.0002>.
25. Makarenko TP, Kharitonov LG, Bogdanov LG. Management of general surgical patients in the postoperative period. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow: Meditsina; 1989; 349 pp (in Russ).
26. Aksarin AA, Ter-Ovanesov MD. Bronchus sutures failure in lung cancer surgery. Pirogov Russian Journal of Surgery. 2014; 9: 33–6 (in Russ).
27. Vagner EA, Subbotin VM, Makoveev VI, et al. Endoscopic occlusion of the stump of the main bronchus in its insufficiency. Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 1990; 2: 46–8 (in Russ).
28. Shtabnitskiy VA. Cardiogenic and non-cardiogenic pulmonary edema. Spravochnik poliklinicheskogo vracha / Handbook for Polyclinic doctor. 2017; 6: 38–44 (in Russ).



# Novel Texture-Based Radiomic Signatures for Non-Invasive Prediction of EGFR Mutation Status in Lung Nodules

**Faridoddin Shariaty, Vitalii A. Pavlov**

*Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University,  
ul. Polytekhnicheskaya, 29 lit. B, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation*

**Faridoddin Shariaty**, Assistant Professor, Higher School of Applied Physics and Space Technologies, Institute of Electronics and Telecommunications, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University;  
<http://orcid.org/0000-0002-7060-8826>

**Vitalii A. Pavlov**, Cand. Tech. Sc., Associate Professor, Higher School of Applied Physics and Space Technologies, Institute of Electronics and Telecommunications, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University;  
<https://orcid.org/0000-0003-0726-6613>

## Abstract

**Background.** Accurate identification and analysis of lung nodules via computed tomography are pivotal for lung cancer diagnosis and the detection of genetic alterations, such as epidermal growth factor receptor (EGFR) mutations. While conventional radiomics has become a cornerstone of medical imaging, its predictive power for determining EGFR mutation status remains limited, necessitating innovative approaches to improve diagnostic reliability.

**Objective:** to enhance the accuracy of EGFR mutation status prediction in lung nodules by introducing and integrating novel texture-based radiomics features into conventional radiomics analysis.

**Material and methods.** Three novel radiomic features were developed: Adaptive Texture Contrast (ATC), Directional Texture Uniformity (DTU), and Co-occurrence of Texture Transitions (CTT). They were designed to capture complex texture patterns associated with EGFR mutations. Integrating these features, a classification model was employed to differentiate EGFR mutant from wild-type lung nodules.

**Results.** The incorporation of ATC, DTU, and CTT into the radiomics feature set improved the classification accuracy by 4%. The Minimum Redundancy Maximum Relevance (MRMR) feature selection method further validated the significance of these features, ranking them as the top contributors to the model's predictive performance.

**Conclusion.** The findings underscore the potential of advanced texture analysis in improving the diagnostic capabilities of radiomics for lung nodule classification. By enabling more accurate predictions of EGFR mutations, the study supports the advancement of personalized medicine and targeted treatment strategies in lung cancer, highlighting the importance of continuous innovation in feature engineering.

**Keywords:** lung nodule classification; EGFR mutation; radiomics; texture analysis; feature engineering; computational diagnostics; personalized medicine; machine learning; MRMR feature selection.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Funding.** This research was funded by Russian Science Foundation (RSF), grant No. 24-25-00204 (<https://rscf.ru/en/project/24-25-00204>).

**For citation:** Shariaty F, Pavlov VA. Novel texture-based radiomic signatures for non-invasive prediction of EGFR mutation status in lung nodules. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2025; 106(1–3): 45–52. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-45-52>

**For corresponding:** Faridoddin Shariaty, e-mail: [shariaty3@gmail.com](mailto:shariaty3@gmail.com)

*Received July 14, 2025*

*Revised August 21, 2025*

*Accepted August 22, 2025*

## Новые текстурные радиомические сигнатуры для неинвазивного прогнозирования статуса мутации EGFR в легочных узелках

**Шариати Ф., Павлов В.А.**

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,  
ул. Политехническая, 29 лит. Б, Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация*

**Шариати Фаридоддин**, ассистент Высшей школы прикладной физики и космических технологий Института электроники и телекоммуникаций ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; <http://orcid.org/0000-0002-7060-8826>

**Павлов Виталий Александрович**, к. т. н., доцент Высшей школы прикладной физики и космических технологий Института электроники и телекоммуникаций ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; <https://orcid.org/0000-0003-0726-6613>

## Резюме

**Актуальность.** Точная идентификация и анализ легочных узелков с помощью компьютерной томографии имеют решающее значение для диагностики рака легких и выявления генетических изменений, таких как мутации рецептора эпидермального фактора роста (epidermal growth factor receptor, EGFR). Хотя традиционная радиомика стала основой медицинской визуализации, ее прогностическая ценность для определения статуса мутации EGFR остается ограниченной, что требует инновационных подходов для повышения надежности диагностики.

**Цель:** повысить точность прогнозирования статуса мутации EGFR в легочных узелках путем внедрения и интеграции новых текстурных радиомических признаков в традиционный радиомический анализ.

**Материал и методы.** Разработаны три новых радиомических признака: адаптивный контраст текстуры (Adaptive Texture Contrast, ATC), направленная однородность текстуры (Directional Texture Uniformity, DTU) и совместная встречаемость переходов текстуры (Co-occurrence of Texture Transitions, CTT). Они предназначены для выявления сложных текстурных паттернов, связанных с мутациями EGFR. С использованием этих признаков применяется классификационная модель для различения легочных узелков с мутацией EGFR от узелков дикого типа.

**Результаты.** Включение ATC, DTU и CTT в набор радиомических признаков повысило точность классификации на 4%. Метод отбора признаков «минимум избыточности, максимум релевантности» (Minimum Redundancy Maximum Relevance, MRMR) дополнительно подтвердил значимость данных признаков, определив их основной вклад в прогностическую эффективность модели.

**Заключение.** Результаты исследования указывают на потенциал передового анализа текстур в улучшении диагностических возможностей радиомики для классификации легочных узелков. Полученные данные обеспечивают более точное прогнозирование мутаций EGFR, способствуют развитию персонализированной медицины и таргетных стратегий лечения рака легких, подчеркивая важность постоянных инноваций в инженерии признаков.

**Ключевые слова:** классификация легочных узелков; мутация EGFR; радиомика; анализ текстур; разработка признаков; вычислительная диагностика; персонализированная медицина; машинное обучение; отбор признаков MRMR.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 24-25-00204 (<https://rscf.ru/project/24-25-00204>).

**Для цитирования:** Шариати Ф., Павлов В.А. Новые текстурные радиомические сигнатуры для неинвазивного прогнозирования статуса мутации EGFR в легочных узелках. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2025; 106(1–3): 45–52 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-45-52>

**Для корреспонденции:** Шариати Фаридоддин, e-mail: shariaty3@gmail.com

Статья поступила 14.07.2025

После доработки 21.08.2025

Принята к печати 22.08.2025

## Introduction / Введение

Lung cancer remains the leading cause of cancer mortality worldwide, with non-small cell lung cancer (NSCLC) accounting for the majority of diagnoses. Among genetic alterations linked to NSCLC, mutations in the epidermal growth factor receptor (EGFR) gene have emerged as key biomarkers due to their critical role in guiding targeted therapies. Detecting EGFR mutations in lung nodules is pivotal for determining prognosis and tailoring treatment strategies, as these mutations significantly influence therapeutic response and patient survival [1].

The evolution of precision oncology has intensified demand for non-invasive tools capable of de-

coding tumor biology at the molecular level. Radiomics – a multidisciplinary approach combining medical imaging with advanced data analytics – addresses this need by translating standard medical images into quantitative descriptors. These descriptors, spanning shape, intensity, texture, and higher-order statistical metrics, enable a granular characterization of tumor heterogeneity and spatial complexity, surpassing conventional visual assessment [2–5].

The potential of radiomics extends beyond mere phenotypic characterization; it encompasses the predictive modeling of genetic mutations, such as those affecting the EGFR gene. This capability is particularly significant given the heterogeneous nature of lung

cancer, where tumors with identical histological classifications may exhibit divergent genetic profiles and, consequently, respond differently to targeted therapies. By correlating specific radiomic signatures with the presence of EGFR mutations, researchers aim to develop non-invasive biomarkers that can reliably predict mutation status. Such biomarkers would not only streamline the selection of appropriate therapeutic interventions but also eliminate the need for invasive biopsy procedures, thereby reducing patient discomfort and associated risks [2–4].

Furthermore, the integration of radiomics into clinical workflows holds the promise of transforming cancer care through personalized treatment strategies. By leveraging advanced machine learning algorithms to analyze the rich dataset provided by radiomic features, clinicians can gain unprecedented insights into the molecular underpinnings of each patient's tumor. This approach enables the tailoring of treatment plans to the individual's genetic profile, maximizing efficacy while minimizing unnecessary exposure to potentially ineffective therapies [6–8].

Despite the considerable progress made in the field of radiomics, its application in the context of EGFR mutation detection in NSCLC remains an area of active research. Challenges such as the standardization of image acquisition protocols, feature extraction methodologies, and the validation of predictive models across diverse patient populations are currently being addressed. As these obstacles are overcome, radiomics stands on the cusp of revolutionizing the paradigm of cancer diagnosis and treatment, heralding a new era of precision oncology that is guided by the intricate interplay between imaging phenotypes and genetic information.

This study introduces an innovative radiomics framework to improve the non-invasive prediction of EGFR mutation status in lung nodules by integrating three newly developed texture-based features engineered to quantify subtle textural and geometric signatures associated with genetic mutations, combining advanced mathematical models with state-of-the-art image processing techniques. By capturing previously underutilized patterns in computed tomography (CT) data, this approach seeks to enhance diagnostic precision, enabling clinicians to tailor targeted therapies and optimize patient outcomes through personalized oncological care.

**Objective:** to enhance the accuracy of EGFR mutation status prediction in lung nodules by introducing and integrating novel texture-based radiomics features into conventional radiomics analysis.

## Material and methods / Материал и методы

Three novel texture-driven radiomic features – Adaptive Texture Contrast (ATC), Directional Texture Uniformity (DTU), and Co-occurrence of Texture

Transitions (CTT) were designed to improve diagnostic precision in identifying EGFR mutations within lung nodules. These features integrate mathematical frameworks and cutting-edge image analysis techniques to quantify subtle textural and geometric signatures linked to genetic alterations. Figure 1 illustrates the radiomic feature extraction pipeline, which encompasses the conceptual foundation, computational workflows, and validation protocols for each feature.

The analysis leveraged a large-scale radiogenomic dataset [9, 10] comprising 211 patient cases, including high-resolution CT scans, clinical annotations of tumor regions, and genomic profiling data. This dataset enabled the systematic evaluation of feature performance in distinguishing EGFR mutation statuses while ensuring robustness across diverse clinical scenarios.

### Adaptive Texture Contrast (ATC)

The concept of ATC is developed from the empirical observation that pathological tissues exhibit distinctive texture patterns, which vary significantly in contrast across different scales. These patterns are crucial for distinguishing between normal and pathological tissue states and are particularly effective in identifying key genetic mutations, such as those associated with the EGFR.

The ATC computation is a detailed three-part process.

#### Fourier Transform

It is the first step in the ATC process involves transforming the region of interest (ROI) from the spa-

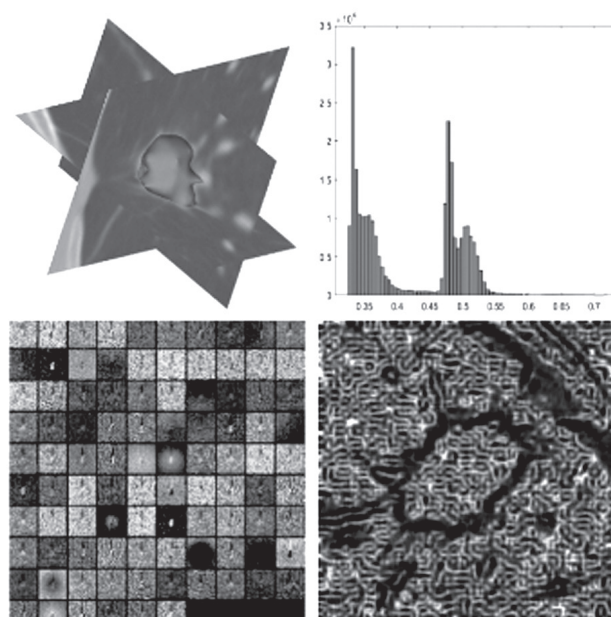


Fig. 1. Extracting features of radiomics

Рис. 1. Извлечение радиомических признаков

tial domain to the frequency domain using the Fourier Transform. This transformation is crucial as it allows us to analyze the frequency components of the image, facilitating the subsequent identification and isolation of dominant frequencies that are significant for textural analysis in the ROI).

#### *Dominant Frequency Identification and Isolation*

Following the transformation, the next step involves identifying and isolating dominant frequencies. This is achieved using a thresholding technique on the magnitude spectrum of the transformed data. A band-pass filter is applied to retain only those frequencies within a specific range set by a predefined threshold, effectively isolating the textures that are most relevant to the analysis.

#### *Contrast Calculation*

It is the final stage of the ATC workflow involves quantifying contrast levels within the isolated texture patterns. This is achieved through standardized metrics such as Michelson's contrast formula [11], expressed as:

$$C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}, \quad (1)$$

where,  $C$  denotes the contrast value, while  $L_{\max}$  and  $L_{\min}$  represent the maximum and minimum luminance values, respectively, within the ROI.

These luminance values are derived from the intensity levels highlighted by the band-pass filter, focusing on the texture patterns correlated with the dominant frequencies.

#### *Directional Texture Uniformity (DTU)*

DTU is engineered to evaluate the consistency of texture patterns across multiple orientations within a ROI. This metric is particularly vital for analyzing lung nodules, where pathological tissues often exhibit anisotropic (directionally dependent) textures – a hallmark of malignancy and genetic alterations like EGFR mutations. The degree of uniformity or spatial heterogeneity in these textures serves as a critical biomarker for distinguishing between benign and malignant transformations.

The DTU feature extraction process can be broken down into two main steps.

#### *Applying Directional Filters*

To effectively highlight specific texture orientations within the ROI, Gabor filters are employed, known for their efficacy in texture analysis. Gabor filters are particularly adept at isolating frequency content in precise orientations, making them ideal for distinguishing subtle textural differences in pathological

tissues. The response of a Gabor filter applied to an image is mathematically defined as:

$$G(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right), \quad (2)$$

where,

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta;$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta;$$

$\theta$ : Orientation angle of the filter's normal vector relative to the direction of parallel stripes, enabling directional sensitivity;

$\sigma$ : Standard deviation of the Gaussian envelope ( $\sigma$ ), dictating the spatial localization of the filter's response;

$\lambda$ : Wavelength of the sinusoidal component, governing the periodicity of texture patterns captured;

$\psi$ : Phase displacement, controlling the sinusoidal wave's alignment within the filter;

$\gamma$ : Spatial aspect ratio, specifying the ellipticity of the filter's support region to accommodate anisotropic textures.

For this study, Gabor filters were configured to target specific frequencies and orientations based on preliminary analysis of lung CT images, which suggested enhanced detection of anomalous textures associated with EGFR mutations. The filter parameters were optimized through a series of experiments to maximize the detection accuracy of early-stage mutations.

#### *Calculating the Uniformity*

After filtering, uniformity of the emphasized textures is assessed, serving as a key indicator of tissue normalcy or pathology.

Entropy measures the randomness in the distribution of filtered image values, computed as:

$$H = -\sum_i p(i) \log_2 p(i), \quad (3)$$

where,  $H$  is the entropy,  $p(i)$  is the probability of intensity level  $i$  in the filtered image.

High entropy values suggest significant texture variation, often correlating with pathological changes. Similarly, the dispersion of intensity values (variance) is analyzed to determine how widely texture intensities are spread about the mean, which assists in distinguishing pathological from normal textures. The specific methods and thresholds used for calculating these metrics are tailored to the unique characteristics of the lung nodule textures observed in the datasets. Variance provides a measure of how widely texture intensities are spread about the mean, further assisting in distinguishing pathological from normal textures.

### Co-occurrence of Texture Transitions (CTT)

The feature represents an innovative texture-centric metric engineered to refine the precision of EGFR mutation status prediction in lung nodules. By systematically quantifying the spatial interplay among distinct textural configurations, CTT prioritizes transitions between these patterns within a defined ROI. Building on the framework of the gray-level co-occurrence matrix (GLCM) [12], CTT shifts analytical focus from basic pixel intensity variations to intricate textural pattern interactions, delivering a detailed perspective on tumor heterogeneity and architectural complexity.

CTT is designed to capture the evolution of texture within medical images, analyzing how different texture patterns interact spatially. This approach moves beyond the traditional GLCM, which primarily assesses gray-level spatial dependencies, to explore texture transitions that are indicative of underlying tissue architecture changes, such as those associated with pathological conditions like EGFR mutations.

The computation of CTT involves several key steps, each contributing to the extraction of this advanced feature.

#### Texture Pattern Identification

The process begins by distinguishing different texture patterns within the ROI. The process begins by distinguishing different texture patterns within the ROI. This categorization is achieved through unsupervised learning techniques that utilize rotation-invariant texture descriptors like Local Binary Patterns (LBP), which systematically group voxels with analogous textural properties.

The LBP operator is defined for each pixel by comparing it with its neighbors, computed as:

$$LBP(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(i_p - i_c) 2^p \quad (4)$$

where  $i_c$  is the intensity of the central pixel,  $i_p$  are the intensities of  $P$  surrounding pixels in a circular neighborhood, and  $s$  is the sign function:

$$s(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

Techniques such as K-means are applied to the LBP values to systematically identify distinct texture patterns across the ROI.

#### Texture Transition Matrix (TTM) Generation

After identifying unique texture patterns, a Texture Transition Matrix (TTM) is constructed. This matrix is analogous to GLCM but focuses specifically on texture transitions rather than gray-level changes.

#### Statistical Analysis of TTM

Each element  $TTM(i, j)$  in the matrix quantifies the frequency of transitions between texture pattern  $i$  and texture pattern  $j$ , considering a specified distance and direction, thus highlighting the spatial interplay of textures.

The final analytical phase involves calculating statistical measures on the TTM to derive meaningful features that reflect the texture transitions. The key statistics computed include:

– Contrast: Measures the intensity contrast between a pixel and its neighbor over the whole image:

$$Contrast = \sum_{i,j} (i - j)^2 TTM(i, j) \quad (6)$$

– Correlation: Evaluates how correlated a pixel is to its neighbor over the entire image:

$$Correlation = \sum_{i,j} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j) TTM(i, j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (7)$$

– Energy: Sum of squared elements in the TTM, indicating texture uniformity:

$$Energy = \sum_{i,j} TTM(i, j)^2 \quad (8)$$

where,  $\mu_i$ ,  $\mu_j$  are the means and  $\sigma_i$ ,  $\sigma_j$ , the standard deviations of the row and column sums of the TTM, respectively. These statistics are crucial for understanding the spatial distribution and intensity variations of textures, providing insights that are directly relevant to diagnosing pathological changes associated with EGFR mutations.

### Results / Результаты

The classification of pulmonary nodules into EGFR-mutant and wild-type subtypes was performed through quantitative analysis of standard radiomics biomarkers extracted from CT imaging. These biomarkers include morphometric parameters (e.g., spiculation index, lobulation degree), attenuation characteristics (e.g., histogram skewness, kurtosis), and spatial heterogeneity measures derived from second-order texture analysis, providing a multidimensional representation of nodule phenotype for molecular subtype discrimination.

For the study, the dataset was randomly divided into training and validation sets with an 70% training and 30% validation split. This resulted in 319 training samples and 173 validation samples for the EGFR mutant category. To achieve a more balanced dataset, the Wild-Type category was adjusted to include 578 training samples and 248 validation samples. Sev-

eral classification models were then trained and validated using this arrangement, achieving a baseline performance that serves as a reference for subsequent comparisons (Table 1). Table 2 highlights the reduction in false negatives and false positives, along with increases in true positives and true negatives for the EGFR mutant and wild-type categories.

The proposed features were meticulously designed to capture intricate texture patterns and variations within the lung nodules, potentially indicative of underlying genetic mutations. Upon incorporating these novel features into the existing set of radiomics features, a significant enhancement in classification performance was observed. Specifically, the addition of ATC, DTU, and CTT led to an average increase of about 4% in the accuracy of predicting the EGFR mutation status. This enhancement demonstrates the critical importance of advanced texture characterization in decoding tumor biology at the molecular scale, particularly for identifying genetic alterations that influence therapeutic response.

**Discussion / Обсуждение**

To objectively evaluate feature significance, the Minimum Redundancy Maximum Relevance (MRMR) algorithm [13] was implemented. This computationally efficient method identifies optimal feature subsets by

maximizing statistical dependence on mutation status while minimizing inter-feature correlations, ensuring selection of maximally informative yet non-redundant biomarkers. Remarkably, the MRMR analysis, the results of which is provided in Table 3, revealed that ATC, DTU, and CTT emerged as the top-ranked features, indicating their paramount significance in the classification model. The MRMR results and classification performance metrics collectively validate the diagnostic value of these novel features, demonstrating their unique capacity to encode critical pathophysiological information directly relevant to EGFR mutation mechanisms.

The experimental results demonstrate that the proposed methodology achieves superior predictive performance compared to contemporary approaches in EGFR mutation detection. While recent investigations utilizing advanced deep architectures report notable accuracy benchmarks – Mut-SeResNet [14] attaining 88.3% accuracy through hybrid texture-morphological analysis and CT-based deep radiomics models [15] reaching 88% classification accuracy – our approach yields a 4% improvement in diagnostic precision (92% accuracy) (Table 4). This enhanced performance stems from the synergistic integration of:

- adaptive texture contrast quantification targeting mutation-specific spatial patterns;

Table 1

**Comparison of classification methods' accuracy and precision before and after adding novel texture-based features, %**

Таблица 1

**Сравнение аккуратности и точности методов классификации до и после добавления новых текстурных признаков, %**

| Method / Метод                                        | Accuracy / Аккуратность |               | Precision / Точность |               |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------|---------------|
|                                                       | Before / До             | After / После | Before / До          | After / После |
| Support Vector Machine (SVM) / Метод опорных векторов | 85                      | 89            | 87                   | 91            |
| Random Forest (RF) / Случайный лес                    | 88                      | 92            | 90                   | 93            |
| Neural Network (NN) / Нейронная сеть                  | 86                      | 90            | 88                   | 92            |
| Gradient Boosting (GB) / Градиентный бустинг          | 87                      | 91            | 89                   | 94            |

Table 2

**Comparison of confusion matrix parameters before and after adding novel texture-based features for Random Forest**

Таблица 2

**Сравнение параметров матрицы неточностей до и после добавления новых текстурных признаков для метода «Случайный лес»**

| Category / Категория                                   | Predicted EGFR mutant / Предсказанная мутация EGFR |               | Predicted EGFR wild-type / Предсказанный EGFR дикого типа |               |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|---------------|
|                                                        | Before / До                                        | After / После | Before / До                                               | After / После |
| Actual EGFR mutant / Предсказанная мутация EGFR        | TP=155                                             | TP=161        | FN=33                                                     | FN=18         |
| Actual EGFR wild-type / Предсказанный EGFR дикого типа | FP=18                                              | FP=12         | TN=215                                                    | TN=230        |

Note. EGFR – epidermal growth factor receptor; TP – true positives; TN – true negatives; FP – false positives; FN – false negatives.

Примечание. EGFR (epidermal growth factor receptor) – рецептор эпидермального фактора роста; TP (true positives) – истинно-положительные результаты; TN (true negatives) – истинно-отрицательные результаты; FP (false positives) – ложноположительные результаты; FN (false negatives) – ложноотрицательные результаты.

Table 3  
Minimum Redundancy Maximum Relevance analysis results  
Таблица 3

| Результаты анализа «минимум избыточности, максимум релевантности» |                                    |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Feature / Признак                                                 | Importance score / Оценка важности |
| ATC                                                               | 0.80                               |
| DTU                                                               | 0.79                               |
| Contrast / Контраст                                               | 0.77                               |
| Eccentricity / Эксцентриситет                                     | 0.76                               |
| Entropy / Энтропия                                                | 0.75                               |
| CTT                                                               | 0.74                               |
| Homogeneity / Однородность                                        | 0.72                               |
| Energy / Энергия                                                  | 0.71                               |
| Uniformity / Единообразие                                         | 0.70                               |
| Correlation / Корреляция                                          | 0.69                               |
| Sphericity / Сферичность                                          | 0.68                               |
| Volume / Объем                                                    | 0.67                               |
| Surface area / Площадь поверхности                                | 0.65                               |
| Compactness / Компактность                                        | 0.64                               |
| Kurtosis / Эксцесс                                                | 0.63                               |

Note. ATC – Adaptive Texture Contrast; DTU – Directional Texture Uniformity; CTT – Co-occurrence of Texture Transitions.

Примечание. ATC (Adaptive Texture Contrast) – адаптивный контраст текстуры; DTU (Directional Texture Uniformity) – направленная однородность текстуры; CTT (Co-occurrence of Texture Transitions) – совместная встречаемость переходов текстуры.

- directional uniformity analysis capturing genotypic anisotropy;
- dynamic texture transition modeling through co-occurrence relationships.

Table 4  
Comparison with other studies  
Таблица 4

| Сравнение с другими исследованиями                  |                             |                               |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Research / Исследование                             | Mutation type / Тип мутации | Accuracy, % / Аккуратность, % |
| This research / Наше исследование                   | EGFR                        | 92                            |
| Mut-SeResNet [14]                                   | EGFR                        | 88                            |
| Prediction model [15] / Модель прогнозирования [15] | EGFR                        | 87                            |

The accuracy differential underscores the critical advantage of specialized feature engineering over conventional deep learning pipelines in decoding subtle phenotypic manifestations of genetic alterations. These findings validate the clinical potential of dedicated texture analysis frameworks while highlighting the necessity for continued innovation in radiomic biomarker development.

This study has leveraged explainable artificial intelligence techniques to elucidate the mechanisms behind machine learning models used in classifying EGFR mutant from wild-type lung nodules which is shown in Figure 2. Insights from these methods have revealed that the current models predominantly focus on the edges of nodules to make their classifications. This observation suggests that the edges of nodules carry significant discriminatory features that are crucial for accurate differentiation.

Building on this finding, future research should concentrate on developing and refining features that specifically enhance the visibility and analytical emphasis on the edges of lung nodules. Such efforts could involve engineering new image processing algorithms or adapting existing ones that more effectively capture

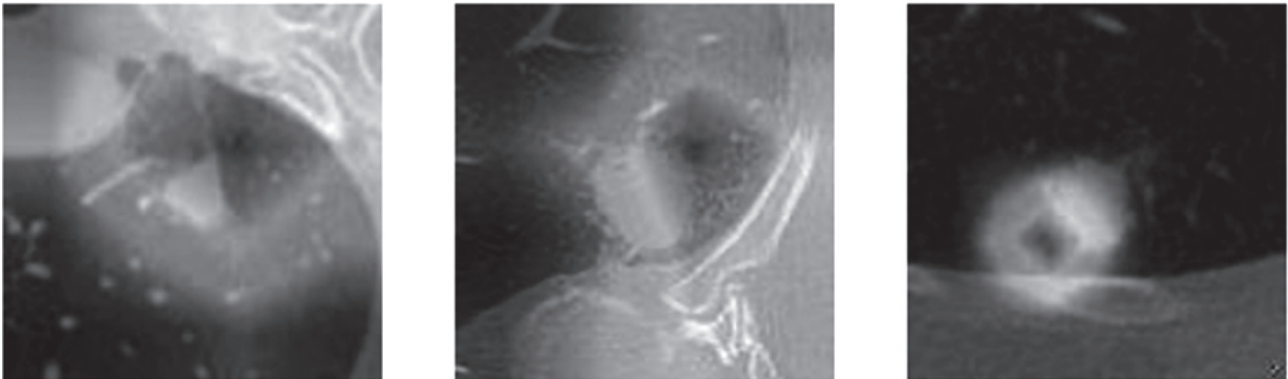


Fig. 2. Explainable artificial intelligence analysis of Residual Neural Network (ResNet) for classifying EGFR mutant and wild-type lung nodules

Рис. 2. Объяснимый анализ остаточной нейронной сети (ResNet) с помощью искусственного интеллекта для классификации мутантных и диких типов легочных узелков EGFR

edge-related features, which may include sharpness, texture gradients, or specific morphological markers.

Moreover, incorporating these edge-focused features into machine learning models could potentially improve the sensitivity and specificity of diagnostic tools, thereby facilitating earlier and more accurate detection of EGFR mutations. This line of research will not only push the boundaries of what is currently achievable with medical imaging analysis but also contribute to the personalized medicine approach by providing more tailored diagnostic insights based on subtle imaging cues.

## Conclusion / Заключение

This study embarked on the quest to enhance the diagnostic precision of CT-based lung nodule classification by incorporating novel texture-based radiomics features, specifically aimed at distinguishing between EGFR mutant and wild-type statuses. The conventional radiomics feature set, while comprehensive, was augmented with three innovative texture descriptors: ATC, DTU, and CTT. These features were meticulously designed to capture subtle yet discriminative texture patterns within the nodules, potentially indicative of underlying genetic mutations.

The integration of ATC, DTU, and CTT into the radiomics framework resulted in a notable improvement

in classification performance, with a 4% increase in accuracy. This enhancement underscores the critical role of texture analysis in the non-invasive assessment of lung nodules, offering a deeper insight into their genetic underpinnings. Furthermore, the significance of these novel features was affirmed by the MRMR feature selection method, where they were identified as the most impactful variables in the predictive model.

The findings of this research underscore the potential of advanced feature engineering in the realm of medical imaging, particularly in the context of lung cancer diagnostics. By providing a more detailed and nuanced analysis of lung nodules, the proposed texture-based features contribute to the broader goal of personalized medicine, enabling targeted therapies tailored to the genetic profile of tumors.

In conclusion, this study not only highlights the value of integrating novel radiomics features for the classification of lung nodules but also paves the way for future investigations into the development of more sophisticated diagnostic tools. As the field of radiomics continues to evolve, the pursuit of innovative features that can capture the complex biological characteristics of tumors will remain paramount in enhancing the accuracy of cancer detection and characterization.

## References / Литература

- Shariaty F, Pavlov VA, Zavyalov SV, et al. Application of a texture appearance model for segmentation of lung nodules on computed tomography of the chest. *Journal of the Russian Universities. Radioelectronics*. 2022; 25(3): 96–117 (in Russ.). <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2022-25-3-96-117>. [Шариати Ф., Павлов В.А., Завьялов С.В. и др. Применение модели внешнего вида текстуры для сегментации легочных узлов при компьютерной томографии грудной клетки. *Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника*. 2022; 25(3): 96–117. <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2022-25-3-96-117>.]
- Shariaty F, Pavlov V, Baranov M. AI-driven precision oncology: integrating deep learning, radiomics, and genomic analysis for enhanced lung cancer diagnosis and treatment. *Signal Image Video Process*. 2025; 19(9): 693. <https://doi.org/10.1007/s11760-025-04244-y>.
- Roy SS, Hsu CH, Kagita V. Deep learning applications in image analysis. Springer; 2023: 224 pp. Available at: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-981-99-3784-4.pdf> (accessed 02.07.2025).
- Skalunova M, Shariaty F, Rozov S, Radmard AR. Personalized chemotherapy selection for lung cancer patients using machine learning and computed tomography. In: 2023 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech); 2023: 128–31. <https://doi.org/10.1109/EExPolytech58658.2023.10318700>.
- Shariaty F, Duan L, Pavlov V, et al. A novel gene assay combined with medical imaging for accurate prognosis and prediction of cancer type. In: 2022 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech); 2022: 118–21. <https://doi.org/10.1109/EExPolytech56308.2022.9950997>.
- Liu Q, Liu X. Feature extraction of human viruses microscopic images using gray level co-occurrence matrix. In: 2013 International Conference on Computer Sciences and Applications, Wuhan, China; 2013: 619–22. <https://doi.org/10.1109/CSA.2013.149>.
- Huang W, Luo M, Liu X, et al. Arterial spin labeling images synthesis from sMRI using unbalanced deep discriminant learning. *IEEE Transact Med Imaging*. 2019; 38(10): 2338–51. <https://doi.org/10.1109/TMI.2019.2906677>.
- Augustyniak K, Chrabaszcz K, Smeda M, et al. High-resolution Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopic imaging for detection of lung structures and cancer-related abnormalities in a murine model. *Appl Spectrosc*. 2022; 76(4): 439–50. <https://doi.org/10.1177/00037028211025540>.
- Bakr S, Gevaert O, Echegaray S, et al. A radiogenomic dataset of non-small cell lung cancer. *Sci Data*. 2018; 5: 180202. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.202>.
- NSCLC Radiogenomics. Available at: <https://www.cancerimagingarchive.net/collection/nsclc-radiogenomics/> (accessed 02.07.2025).
- Peli E. Contrast in complex images. *J Opt Soc Am A*. 1990; 7(10): 2032–40. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.7.002032>.
- Haralick R, Shanmugam K, Dinstein I. Textural features for image classification. *IEEE Transact Syst Man Cybern*. 1973; SMC-3(6): 610–21. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.4309314>.
- Ding C, Peng H. Minimum redundancy feature selection from microarray gene expression data. *J Bioinform Comput Biol*. 2005; 3(2): 185–205. <https://doi.org/10.1142/S0219720005001004>.
- Sun L, Dong Y, Xu S, et al. Predicting multi-gene mutation based on lung cancer CT images and Mut-SeResNet. *Appl Sci*. 2023; 13(3): 1921. <https://doi.org/10.3390/app13031921>.
- Mahajan A, Kania V, Agarwal U, et al. Deep-learning-based predictive imaging biomarker model for EGFR mutation status in non-small cell lung cancer from CT imaging. *Cancers*. 2024; 16(6): 1130. <https://doi.org/10.3390/cancers16061130>.



# Современный мультимодальный рентгенологический подход в диагностике нетипичной локализации эхинококковой кисты

**Маштак И.С., Никитин П.А., Карпова А.А., Горбунков С.Д., Черняев А.Л.**

ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства России, Ореховый б-р, 28, стр. 10, Москва, 115682, Российская Федерация

**Маштак Ирина Сергеевна**, врач-рентгенолог ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» ФМБА России; <http://orcid.org/0009-0004-0035-9184>

**Никитин Павел Алексеевич**, к. м. н., заведующий отделением лучевой диагностики, врач-рентгенолог ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» ФМБА России; <https://orcid.org/0000-0003-1809-6330>

**Карпова Анастасия Анатольевна**, врач-рентгенолог ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» ФМБА России; <https://orcid.org/0000-0002-0251-254X>

**Горбунков Станислав Дмитриевич**, д. м. н., главный врач ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» ФМБА России; <https://orcid.org/0000-0002-8899-4294>

**Черняев Андрей Львович**, д. м. н., профессор, заведующий отделом фундаментальной пульмонологии ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» ФМБА России; <https://orcid.org/0000-0003-0973-9250>

## Резюме

Эхинококковая киста перикарда представляет собой редкую локализацию гидатидного эхинококкоза, диагностика которой возможна только при использовании современных методов лучевой визуализации. В статье представлено клиническое наблюдение случайно выявленного объемного образования переднего средостения у 61-летней пациентки при плановом флюорографическом обследовании. Комплексная лучевая диагностика, включающая многослойную компьютерную томографию и магнитно-резонансную томографию органов грудной полости, позволила предположить эхинококковую природу кисты. Ключевыми диагностическими признаками послужили многокамерная структура образования, наличие обызвествлений в стенках и перегородках, а также отсутствие накопления контрастного вещества. Проведенное видеоторакоскопическое удаление кисты с последующим гистологическим исследованием подтвердило диагноз эхинококкоза. Данный клинический случай подчеркивает значимость применения мультимодальных лучевых методов для точной топической диагностики редких форм эхинококкоза и выбора оптимальной тактики лечения.

**Ключевые слова:** эхинококкоз; киста перикарда; компьютерная томография; магнитно-резонансная томография.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Маштак И.С., Никитин П.А., Карпова А.А., Горбунков С.Д., Черняев А.Л. Современный мультимодальный рентгенологический подход в диагностике нетипичной локализации эхинококковой кисты. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2025; 106(1–3): 53–59. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-53-59>

**Для корреспонденции:** Маштак Ирина Сергеевна, e-mail: [mashtak.irina@yandex.ru](mailto:mashtak.irina@yandex.ru)

Статья поступила 26.06.2025

После доработки 04.08.2025

Принята к печати 05.08.2025

## Contemporary Multimodal Radiological Approach to the Diagnosis of Atypically Localized Echinococcal Cyst

**Irina S. Mashtak, Pavel A. Nikitin, Anastasia A. Karpova, Stanislav D. Gorbunkov, Andrey L. Cherniaev**

Research Institute of Pulmonology, Federal Medical and Biological Agency of Russia, Orekhovyy bulvar, 28, str. 10, Moscow, 115682, Russian Federation

**Irina S. Mashtak**, Radiologist, Research Institute of Pulmonology, FMBA of Russia;  
<http://orcid.org/0009-0004-0035-9184>

**Pavel A. Nikitin**, Cand. Med. Sc., Head of Department of Radiation Diagnostics, Radiologist, Research Institute of Pulmonology, FMBA of Russia;  
<https://orcid.org/0000-0003-1809-6330>

**Anastasia A. Karpova**, Radiologist, Research Institute of Pulmonology, FMBA of Russia;  
<https://orcid.org/0000-0002-0251-254X>

**Stanislav D. Gorbunkov**, Dr. Med. Sc., Chief Physician, Research Institute of Pulmonology, FMBA of Russia;  
<https://orcid.org/0000-0002-8899-4294>

**Andrey L. Cherniaev**, Dr. Med. Sc., Professor, Head of Department of Fundamental Pulmonology, Research Institute of Pulmonology, FMBA of Russia;  
<https://orcid.org/0000-0003-0973-9250>

### Abstract

A pericardial echinococcal cyst is a rare manifestation of hydatid echinococcosis, which can be diagnosed only through the use of advanced imaging techniques. The article describes a clinical case where a space-occupying formation in the anterior mediastinum was discovered incidentally during a routine fluorographic examination in a 61-year-old patient. Comprehensive imaging diagnostics including thoracic computed tomography and magnetic resonance imaging suggested that the cyst had an echinococcal origin. The key diagnostic indicators were the multicameral structure of the formation, the presence of calcifications in the walls and septa, as well as the absence of contrast agent accumulation. Video-assisted thoracoscopic removal of the cyst followed by histological examination confirmed the diagnosis of echinococcosis. This case report highlights the importance of using multimodal imaging techniques for the precise diagnosis of rare forms of echinococcosis and selecting the optimal treatment strategy.

**Keywords:** echinococcosis; pericardial cyst; computed tomography; magnetic resonance imaging.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Mashtak IS, Nikitin PA, Karpova AA, Gorbunkov SD, Cherniaev AL. Contemporary multimodal radiological approach to the diagnosis of atypically localized echinococcal cyst. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2025; 106(1–3): 53–59 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-53-59>

**For corresponding:** Irina S. Mashtak, e-mail: [mashtak.irina@yandex.ru](mailto:mashtak.irina@yandex.ru)

Received June 26, 2025

Revised August 4, 2025

Accepted August 5, 2025

### Введение / Introduction

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), эхинококкоз распространен по всему миру, за исключением Антарктиды. Около 1 млн человек в мире заражены эхинококком [1]. В связи с обширной распространенностью и опасностью заражения человека эхинококкоз был отнесен ВОЗ к заболеваниям, требующим контроля и ликвидации к 2050 г. [2]. Случаи выявления эхинококкоза у людей зарегистрированы в 73 субъектах Российской Федерации [3].

Возбудителем гидатидного эхинококкоза является ленточный червь рода *Echinococcus granulosus*, передающийся фекально-оральным путем, преимущественно при загрязнении рук онкосферами и употреблении зараженной воды [1]. Попадая в организм человека, возбудитель через венозную систему кишечника поступает в печень (этим обусловлено преимущественное поражение печени – до 75% случаев) с дальнейшим гематогенным распространением в любой орган, в т.ч. в легкие (20% случаев), селезенку (5%), сердце (0,5–2%), головной мозг, почки, опорно-двигательный аппарат [4, 5].

Гидатидное поражение сердца может обуславливать гемодинамические нарушения, вызванные компрессией камер сердца [6]. Именно поэтому большое значение имеет своевременная и точная диагностика заболевания, которая возможна благодаря повсеместному внедрению в практику врача многослойной компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Мы представляем редкое клиническое наблюдение случайно выявленной, гистологически подтвержденной эхинококковой кисты перикарда.

### Описание случая / Case report

Женщина в возрасте 61 года поступила в отделение торакальной хирургии ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» ФМБА России с целью дообследования и верификации образования средостения, выявленного по данным флюорографии при плановом медицинском осмотре.

При сборе анамнеза пациентка жалоб не предъявляла, отрицала наличие вредных привычек и профессиональных вредностей. Проживает

в квартире с централизованной канализацией, за пределы Российской Федерации в последние 6 мес не выезжала. Наследственность не отягощена.

При анализе проведенной **КТ органов грудной полости** с внутривенным контрастированием выявлено кистозное многокамерное образование переднего средостения, тесно прилежащее к листкам перикарда, минимально компримирующее ушко правого предсердия, с неоднородным содержимым, многочисленными участками обызвествления стенок и перегородок, размерами до 55×48×65 мм, плотностью от 8 до 15 НУ. При внутривенном контрастировании признаков накопления контрастного препарата стенками образования не отмечалось. По КТ-картине был предположен диагноз гидатидной кисты перикарда (рис. 1).

С целью подтверждения диагноза и получения дополнительных данных о структуре образования была проведена **МРТ органов грудной полости**

с внутривенным контрастированием, по данным которой выявлено неравномерное утолщение стенок образования, неоднородное жидкостное содержимое в его камерах с наличием взвеси, содержащей элементы разного МР-сигнала. Дополнительно отмечались признаки минимального ограничения диффузии (рис. 2).

По данным лабораторной диагностики (общий клинический и биохимический анализы крови, общий анализ мокроты) отклонений не выявлено.

В рамках предоперационной подготовки проведены МРТ головного мозга и органов брюшной полости с внутривенным контрастированием. Поражения других органов не обнаружено.

При проведении мультидисциплинарного консилиума принято решение о хирургическом лечении и верификации процесса. Выполнена видеоассистированная торакоскопическая операция – удаление новообразования переднего сре-

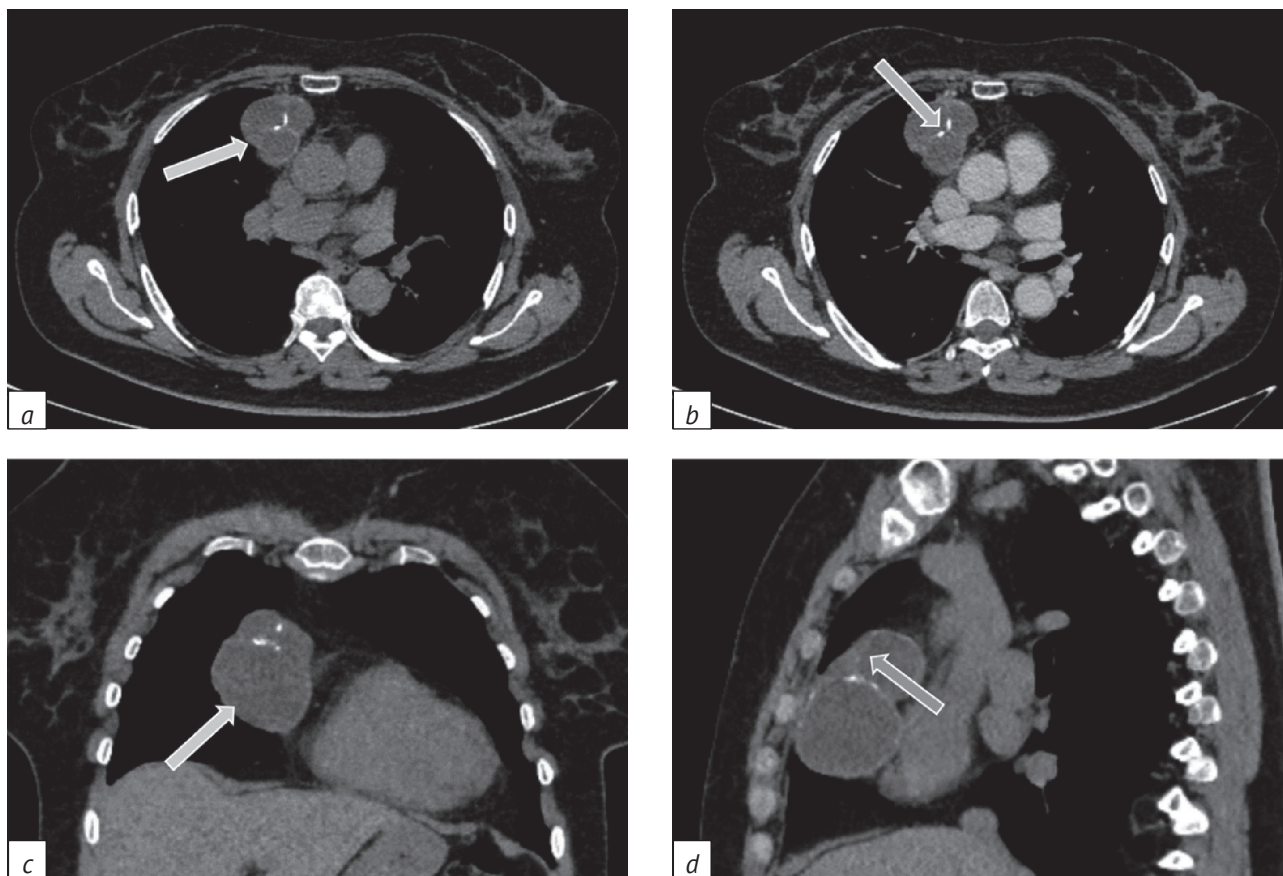


Рис. 1. КТ органов грудной полости в мягкотканном окне:

*a* – аксиальный срез, многокамерное кистовидное образование средостения (стрелка); *b* – аксиальный срез, контрастное усиление, патологического накопления контрастного вещества образованием не выявлено, кальцинированные включения стенок, перегородок в центральных отделах (стрелка); *c* – фронтальный срез, многокамерное кистовидное образование средостения справа (стрелка); *d* – сагиттальный срез, неравномерное утолщение стенок образования (стрелка)

Fig. 1. Chest CT scans, soft tissue window:

*a* – axial plane, mediastinal multilocular cystic lesion (arrow); *b* – axial plane, contrast enhancement, pathological accumulation of contrast agent in the cyst was not detected, a few septa with calcifications (arrow); *c* – frontal plane, mediastinal multilocular cystic lesion on the right (arrow); *d* – sagittal plane, irregular thickened wall (arrow)

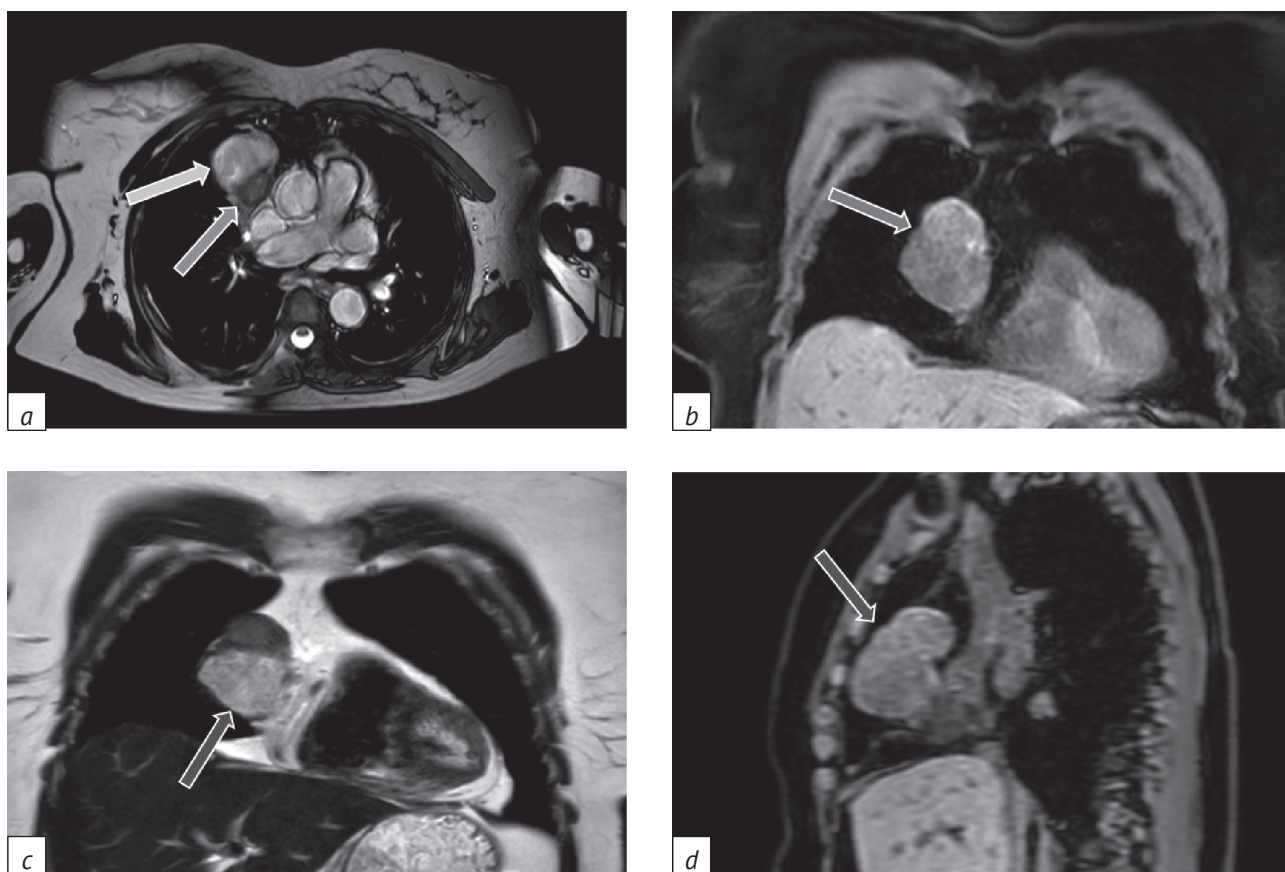


Рис. 2. МРТ органов грудной полости:

*a* – аксиальный срез в режиме Fast Imaging Employing Steady-state Acquisition (FIESTA), четко видны неравномерно утолщенные стенки образования, наличие перегородок в структуре, гетерогенное содержимое (стрелки); *b* – фронтальный срез, повышенный МР-сигнал свидетельствует о наличии высокобелкового содержимого в одной из камер образования (стрелка); *c* – фронтальный срез в режиме Т2-ВИ, высокий МР-сигнал в другой камере, демонстрирующий наличие жидкостного содержимого (стрелка); *d* – сагиттальный срез в режиме Dixon, повышенный МР-сигнал свидетельствует о наличии высокобелкового содержимого в одной из камер образования (стрелка)

Fig. 2. Chest MRI:

*a* – axial plane, Fast Imaging Employing Steady-state Acquisition (FIESTA) mode, irregularly thickened walls, septas and the heterogeneous contents of lesion (arrows); *b* – frontal plane, high MR-signal in one of the compartments, indicating the presence of high-protein content (arrow); *c* – T2-weighted MRI scan in frontal projection, high MR-signal in another compartment, indicating the presence of fluid content (arrow); *d* – sagittal plane in Dixon mode, high MR-signal indicates of high-protein content in one of the compartments (arrow)

достения. При ревизии в клетчатке переднего средостения на перикарде визуализируется объемное новообразование до 5 см в диаметре, плотной консистенции. Образование было удалено в пределах здоровых тканей, направлено на плановое гистологическое исследование.

**Макроскопическое описание:** окруженное жировой клетчаткой кистозное образование диаметром 7 см с гладкой поверхностью серо-бежевого цвета с полнокровными сосудами. На разрезе – кистозные полости, заполненные желтоватым рыхлым содержимым, участками хрящевидной плотности (рис. 3).

**Микроскопическое описание:** капсула кистозного образования представлена гиалиномом в виде параллельных полос с мелкими и обширны-

ми очагами кальциноза (рис. 4, *a*), мелкими скоплениями пигментированных макрофагов и участком лимфоидной инфильтрации, с одной из сторон по краю гиалинизированной капсулы выраженная лимфоидная инфильтрация в виде полосы, внутри некроз с эозинофильными бесструктурными массами в виде комочков, встречаются единичные протосколексы (рис. 4, *b*), скопления пенистых макрофагов, округлые образования зернистого вида с тонкостенной капсулой, мелкие очаги кальциноза, кровоизлияние, множественные игольчатые структуры холестерина, единичные гигантские многоядерные клетки «инородных тел».

**Заключение:** «Стенка кистозной полости с участками кальциноза, в полости которой участки некроза с очагами кальциноза, кровоиз-

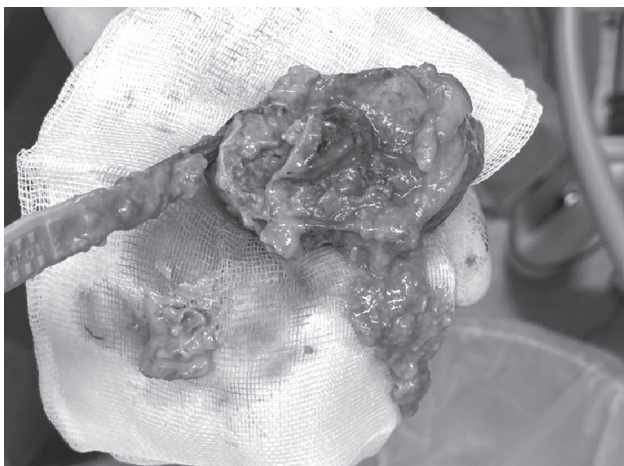


Рис. 3. Интраоперационное фото образования в разрезе

Fig. 3. Intraoperative photo of the lesion in section

лиянием, скоплениями игольчатых холестеринных структур. Вероятнее всего, эхинококковая кальцинированная киста (по классификации ВОЗ CE 5, размером CL-m)».

Послеоперационный период протекал без осложнений. После выписки пациентка направлена в профильное учреждение для выявления источника заражения и дальнейшего наблюдения.

### Обсуждение / Discussion

Дифференциальный диагноз гидатидной кисты перикарда проводился главным образом с перикардиальной кистой, герминативно-клеточной опухолью (тератомой) средостения, тимомой, злокачественной опухолью и лимфомой.

Для перикардиальных кист нехарактерны неравномерное утолщение и выраженное обызвествление стенок, а также многокамерность [7]. Патогномоничным признаком тератомы является наличие жировых включений в структуре образования, а также фрагментов зубов и волос. Тимомы отличаются четкостью и дольчатостью контуров,

однородностью структуры [8]. Злокачественные опухоли средостения и перикарда характеризуются инвазией в смежные органы и ткани с нечеткостью контуров по данным КТ, выраженным ограничением диффузии по данным МРТ, а также вызывают перикардит, гидроперикард с формированием компрессии камер сердца [9].

В нашем случае отмечалось отсутствие жировых включений, инвазии смежных тканей, а также наличие элементов обызвествления стенок, что позволило в первую очередь рассматривать эхинококковую природу образования. Отсутствие архива КТ-исследований не позволяет оценить динамику изменений образования, а также период его возникновения.

Уникальность нашего наблюдения состоит в том, что заболевание протекало бессимптомно и его обнаружение стало случайной находкой, основной характеристикой по данным флюорографии было расширение верхнего средостения. Комплексный подход в виде сочетания различных лучевых методов обследования, торакального хирургического профиля учреждения и грамотного анализа гистопрепаратов позволил поставить точный диагноз.

### Клинические проявления

Заболевание имеет длительный бессимптомный инкубационный период. Клинические проявления зависят от локализации – например, при поражении органов грудной клетки они могут включать хронический кашель, одышку, загрудинные боли, компрессию камер сердца вплоть до тампонады. Описаны случаи редких осложнений, таких как предсердные и желудочковые аритмии, острый инфаркт миокарда, легочная гипертензия, разрыв кисты с прорывом в легочный ствол. Разрыв кисты с паразитарной диссеминацией/эмболией, развитием тяжелого анафилактического шока является основной причиной смерти пациентов при данном заболевании [10].

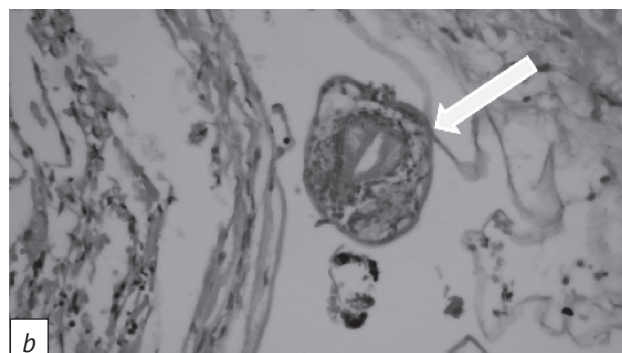
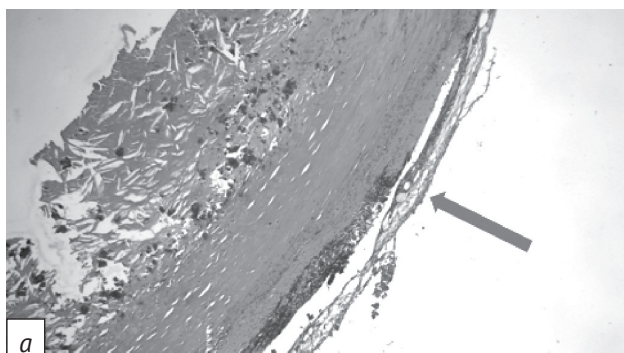


Рис. 4. Гистологическое исследование. Микрофото. Увеличение  $\times 50$  (a),  $\times 400$  (b). Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 4. Microscopic examination. Microphoto. Zoom  $\times 50$  (a),  $\times 400$  (b). Hematoxylin and eosin staining

В нашем наблюдении локализация и размеры эхинококковой кисты перикарда обусловили длительное бессимптомное течение.

### Рентгенологические проявления

По данным лучевой диагностики обнаруживают инкапсулированные кистозные, часто многокамерные образования с наличием участков обызвествления стенки и перегородок. Дополнительно могут появляться дочерние кисты. Жидкостное содержимое может иметь различную плотность в зависимости от количества белковых включений. Возможен симптом «водной лилии», указывающий на отделившуюся от капсулы эндоцисту.

Ультразвуковое исследование является неинвазивным и доступным методом, позволяющим диагностировать кистозные и солидные опухоли средостения, оценить структуру (наличие перегородок, кальцинации), а также наличие кровотока в образовании. Описан случай обнаружения эхинококковой кисты перикарда, выявленной при проведении эхокардиографии по поводу острого инфаркта миокарда [11].

Рентгенография (повсеместно применяемый метод диспансерного обследования населения) дает возможность выявить расширение средостения, потерю структурности корней легких.

КТ – наиболее информативный метод, позволяющий оценить локализацию, размеры, структуру образования, выявить признаки наличия/отсутствия инвазии в смежные органы, определить васкуляризацию при контрастном усилении.

МРТ дает дополнительную информацию о наличии в структуре жировой ткани, перегородок, позволяет оценить степень ограничения диффузии [12].

В нашем случае использовались методы КТ, МРТ и гистологическое исследование.

### Лечение и прогноз

Основным методом лечения гидатидной кисты перикарда является хирургический. На данный момент считается предпочтительным проведение малоинвазивных вмешательств, таких как видеоассистированная торакоскопия, что позволяет минимизировать риск возникновения послеоперационных и интраоперационных осложнений, способствует ранней активизации пациента, улучшает косметический эффект операции [13].

При инвазии гидатидной кисты в жизненно важные структуры полное иссечение может быть невозможным. В таком случае выполняется частичная резекция, а в дальнейшем назначаются противопаразитарные препараты из группы бензимидазола (альбендазол) [14].

### Заключение / Conclusion

Представлен редкий клинический случай нетипичной локализации гидатидной кисты в переднем средостении с вовлечением перикарда. Комплексное обследование, включающее совместное применение современных методов лучевой диагностики (КТ, МРТ), позволило заподозрить редкую патологию, определить основные характеристики образования, его распространенность и выбрать наиболее рациональный и радикальный метод лечения.

## Литература

1. Юшук Н.Д., Венгеров Ю.Я. (ред.) Инфекционные болезни. Национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2022: 848 с.
2. Bohard L, Lallemand S, Borne R, et al. Complete mitochondrial exploration of Echinococcus multilocularis from French alveolar echinococcosis patients. *Int J Parasitol.* 2023; 53(10): 555–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2023.03.006>.
3. Зубрицкий В.Ф., Пахомова Р.А., Тищенко И.А. Современные проблемы в лечении эхинококкоза человека. *Вестник медицинского института непрерывного образования.* 2023; 3(2): 39–45. [https://doi.org/10.36107/2782-1714\\_2023-3-2-39-45](https://doi.org/10.36107/2782-1714_2023-3-2-39-45).
4. Резник Е.В., Яровой М.Д., Завьялова С.А. и др. Сочетанный эхинококкоз легких, сердца и печени: клиника, диагностика и лечение. *Клинический случай. Терапевтический архив.* 2024; 96(11): 1097–103. <https://doi.org/10.26442/00403660.2024.11.202998>.
5. Meimand SE, Sadeghpour A, Pakbaz M, et al. Cardiac echinococcosis associated with other organ involvement: report of two challenging cases. *CASE.* 2021; 5(1): 33–8. <https://doi.org/10.1016/j.case.2020.09.008>.
6. Комаров Р.Н., Курасов Н.О., Исмаилов А.М., Фролов П.П. Гидатидное поражение сердца: повышение хирургических рисков в зависимости от топографии кисты. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия.* 2021; 63(2): 160–4. <https://doi.org/10.24022/0236-2791-2021-63-2-160-164>.
7. Карпова А.А., Никитин П.А. Редкое клиническое наблюдение мигрирующей кисты перикарда, имитирующей осумкованный плеврит. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2024; 105(3): 163–9. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-3-163-169>.
8. Daly H, Horchani A. Mature teratoma of the anterior mediastinum revealed by supraclavicular pulmonary stenosis: a case report. *Pan Afr Med J.* 2022; 43: 109. <https://doi.org/10.11604/pamj.2022.43.109.32333>.
9. Tower-Rader A, Kwon D. Pericardial masses, cysts and diverticula: a comprehensive review using multimodality imaging. *Prog Cardiovasc Dis.* 2017; 59(4): 389–97. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2016.12.011>.
10. Pakis I, Akyildiz EU, Karayel F, et al. Sudden death due to an unrecognized cardiac hydatid cyst: three medicolegal autopsy cases. *J Forensic Sci.* 2006; 51(2): 400–2. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00056.x>.
11. Mrad IB, Oumaya Z, Mzoughi K, et al. Both mediastinal and pericardial hydatidosis revealed by ST elevation acute

coronary syndrome. IDCases. 2021; 25: e01181.  
<https://doi.org/10.1016/j.idcr.2021.e01181>.

12. Almeida PT, Heller D. Anterior mediastinal mass. In: Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
13. Топольницкий Е.Б., Бородин Ю.А. Видеоторакоскопические вмешательства при опухолях и кистах средостения. Эндо-

скопическая хирургия. 2020; 26(6): 17–21.  
<https://doi.org/10.17116/endoskop20202606117>.

14. Meimand S, Sadeghpour A, Pakbaz M, et al. Cardiac echinococcosis associated with other organ involvement: report of two challenging cases. CASE. 2020; 5(1): 33–8.  
<https://doi.org/10.1016/j.case.2020.09.008>.

## References

1. Yushchuk ND, Vengerov YuYa (Eds). Infectious diseases. National guidelines. Moscow: GEOTAR-Media; 2022: 848 pp (in Russ).
2. Bohard L, Lallemand S, Borne R, et al. Complete mitochondrial exploration of Echinococcus multilocularis from French alveolar echinococcosis patients. Int J Parasitol. 2023; 53(10): 555–64.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2023.03.006>.
3. Zubritskiy VF, Pakhomova RA, Tishchenko IA. Current problems in the treatment of human echinococcosis. Bulletin of the Medical Institute of Continuous Education. 2023; 3(2): 39–45 (in Russ).  
[https://doi.org/10.36107/2782-1714\\_2023-3-2-39-45](https://doi.org/10.36107/2782-1714_2023-3-2-39-45).
4. Reznik EV, Iarovoi MD, Zavialova SA, et al. Combined echinococcosis of the lungs, heart and liver: clinic, diagnosis and treatment. Case report. Therapeutic Archive. 2024; 96(11): 1097–03 (in Russ).  
<https://doi.org/10.26442/00403660.2024.11.202998>.
5. Meimand SE, Sadeghpour A, Pakbaz M, et al. Cardiac echinococcosis associated with other organ involvement: report of two challenging cases. CASE. 2021; 5(1): 33–8.  
<https://doi.org/10.1016/j.case.2020.09.008>.
6. Komarov RN, Kurasov NO, Ismailbaev AM, Frolov PP. Hydatid heart disease: increased surgical risks depending on the topography of the cyst. Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 2021; 63(2): 160–4 (in Russ).  
<https://doi.org/10.24022/0236-2791-2021-63-2-160-164>.
7. Karpova AA, Nikitin PA. A rare clinical case of migrating pericardial cyst mimicking encysted pleural effusion. Journal of Radiology and Nuclear Medicine. 2024; 105(3): 163–9 (in Russ).  
<https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-3-163-169>.
8. Daly H, Horchani A. Mature teratoma of the anterior mediastinum revealed by supraclavicular pulmonary stenosis: a case report. Pan Afr Med J. 2022; 43: 109.  
<https://doi.org/10.11604/pamj.2022.43.109.32333>.
9. Tower-Rader A, Kwon D. Pericardial masses, cysts and diverticula: a comprehensive review using multimodality imaging. Prog Cardiovasc Dis. 2017; 59(4): 389–97.  
<https://doi.org/10.1016/j.pcad.2016.12.011>.
10. Pakis I, Akyildiz EU, Karayel F, et al. Sudden death due to an unrecognized cardiac hydatid cyst: three medicolegal autopsy cases. J Forensic Sci. 2006; 51(2): 400–2.  
<https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00056.x>.
11. Mrad IB, Oumaya Z, Mzoughi K, et al. Both mediastinal and pericardial hydatidosis revealed by ST elevation acute coronary syndrome. IDCases. 2021; 25: e01181.  
<https://doi.org/10.1016/j.idcr.2021.e01181>.
12. Almeida PT, Heller D. Anterior mediastinal mass. In: Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
13. Topolnitskiy EB, Borodina YuA. Videothoracoscopic interventions for tumors and cysts of the mediastinum. Endoscopic Surgery. 2020; 26(6): 17–21 (in Russ).  
<https://doi.org/10.17116/endoskop20202606117>.
14. Meimand S, Sadeghpour A, Pakbaz M, et al. Cardiac echinococcosis associated with other organ involvement: report of two challenging cases. CASE. 2020; 5(1): 33–8.  
<https://doi.org/10.1016/j.case.2020.09.008>.



# Диагностика синдрома верхней брыжеечной артерии: значение функциональных проб и лучевой визуализации

Козлова Ю.А.<sup>1,2</sup>, Левина О.Н.<sup>1</sup>, Павлив М.П.<sup>1</sup>, Алонцева К.А.<sup>1</sup>, Сорокин Т.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина» Департамента здравоохранения г. Москвы,

2-й Боткинский пр-д, 5, Москва, 125284, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1, Москва, 125993, Российская Федерация

**Козлова Юлия Андреевна**, к. м. н., заведующая рентгеновским отделением ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина» ДЗМ; доцент кафедры хирургии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России;  
<http://orcid.org/0000-0002-8026-5919>

**Левина Оксана Николаевна**, к. м. н., ст. науч. сотр., заведующая отделением гастроэнтеропанкреатологии № 57 ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина» ДЗМ;  
<https://orcid.org/0000-0002-5814-4504>

**Павлив Мария Павловна**, врач-ординатор рентгенолог ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина» ДЗМ;  
<https://orcid.org/0000-0002-7829-0031>

**Алонцева Ксения Андреевна**, врач-ординатор рентгенолог ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина» ДЗМ;  
<https://orcid.org/0009-0002-3556-7966>

**Сорокин Тимур Алексеевич**, врач-рентгенолог ГБУЗ «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина» ДЗМ;  
<https://orcid.org/0009-0009-0533-2876>

## Резюме

Синдром верхней брыжеечной артерии (СВБА) – редкая патология, которая встречается у 2,67% пациентов, госпитализированных с подозрением на дуоденальную непроходимость. Средний возраст больных составляет 23 года, соотношение женщин и мужчин – 3:2. СВБА возникает при сдавлении средней трети горизонтальной части двенадцатиперстной кишки (ДПК) между аортой и верхней брыжеечной артерией, часто развивается на фоне резкого снижения массы тела. В статье представлен клинический случай пациентки 32 лет, у которой на фоне полного благополучия после похудения возникли жалобы на тошноту, изжогу и боль в эпигастрии. В процессе обследования в дифференциальный ряд были включены гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь, язвенная болезнь, мегадуоденум, аберрантная поджелудочная железа, новообразования, СВБА. Для постановки диагноза проведено рентгенологическое исследование с бариевым контрастным препаратом в положении на животе с целью выявления максимальной степени дуоденальной компрессии и с функциональной пробой – поднятием торса с упором на локти и колени. При исследовании в положении на животе выявлено сужение просвета ДПК на уровне нижней горизонтальной части с 3,5 до 0,8 см в диаметре на протяжении 3,2 см. При проведении функциональной пробы отмечалось расправление сужения до 3,0 см с восстановлением эвакуаторной функции. Диагноз СВБА подтвержден с помощью компьютерной томографии (КТ) органов брюшной полости с контрастным усилением, зарегистрировано уменьшение угла и расстояния между верхней брыжеечной артерией и аортой с 25° до 6° и с 8 до 2 мм соответственно. Показано, что рентгеноскопия с бариевым контрастным препаратом с функциональной пробой – эффективный метод диагностики СВБА. При положительных результатах рентгеновского исследования диагноз следует верифицировать путем выполнения КТ органов брюшной полости с контрастным усилением.

**Ключевые слова:** синдром верхней брыжеечной артерии; артериомезентериальная компрессия; обструкция двенадцатиперстной кишки; рентгеноскопия желудочно-кишечного тракта.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Козлова Ю.А., Левина О.Н., Павлив М.П., Алонцева К.А., Сорокин Т.А. Диагностика синдрома верхней брыжеечной артерии: значение функциональных проб и лучевой визуализации. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2025; 106(1–3): 60–66. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-60-66>

**Для корреспонденции:** Павлив Мария Павловна, e-mail: [marya.pavliv@yandex.ru](mailto:marya.pavliv@yandex.ru)

Статья поступила 08.06.2025

После доработки 22.06.2025

Принята к печати 23.06.2025

# Diagnosis of Superior Mesenteric Artery Syndrome: the Role of Functional Tests and Radiologic Imaging

Yulia A. Kozlova<sup>1,2</sup>, Oksana N. Levina<sup>1</sup>, Mariia P. Pavliv<sup>1</sup>, Ksenia A. Alontseva<sup>1</sup>, Timur A. Sorokin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center, Vtoroy Botkinskiy proezd, 5, Moscow, 125284, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, ul. Barrikadnaya, 2/1, str. 1, Moscow, 125993, Russian Federation

**Yulia A. Kozlova**, Cand. Med. Sc., Head of X-ray Department, Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center; Associate Professor, Chair of Surgery, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; <http://orcid.org/0000-0002-8026-5919>

**Oksana N. Levina**, Cand. Med. Sc., Senior Researcher, Head of Gastrohepatopancreatointerology Department No. 57, Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center; <https://orcid.org/0000-0002-5814-4504>

**Mariia P. Pavliv**, Resident Radiologist, Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center; <https://orcid.org/0000-0002-7829-0031>

**Ksenia A. Alontseva**, Resident Radiologist, Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center; <https://orcid.org/0009-0002-3556-7966>

**Timur A. Sorokin**, Radiologist, Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center; <https://orcid.org/0009-0009-0533-2876>

## Abstract

Superior mesenteric artery syndrome (SMAS) is a rare condition found in approximately 2.67% of patients hospitalized with suspected duodenal obstruction. The average age of affected individuals is 23 years, with female-to-male ratio of 3:2. SMAS occurs due to compression of the middle third of the horizontal (third) portion of the duodenum between the aorta and the superior mesenteric artery, often developing in the context of rapid and significant weight loss. We present a case of a 32-year-old female patient who, after significant weight reduction and in otherwise good general health, developed complaints of nausea, heartburn, and epigastric pain. During the diagnostic process, differential diagnoses included gastroesophageal reflux disease, peptic ulcer disease, megaduodenum, aberrant pancreatic tissue, neoplasms, and SMAS. To establish the diagnosis, fluoroscopic examination with barium contrast was performed in the prone position to assess the degree of duodenal compression, along with a functional maneuver involving elevation of the upper body while resting on the elbows and knees. Fluoroscopy in the prone position revealed a narrowing of the duodenal lumen at the level of the inferior horizontal portion, from 3.5 to 0.8 cm in diameter over a 3.2 cm segment. The functional maneuver resulted in dilation of the narrowed segment to 3.0 cm, with restoration of evacuatory function. SMAS was confirmed by contrast-enhanced abdominal computed tomography (CT), which demonstrated a reduction in the aortomesenteric angle and distance – from 25° to 6° and from 8 to 2 mm, respectively. It was shown that fluoroscopy with barium contrast and functional testing is an effective diagnostic tool for SMAS. In cases with positive radiographic findings, the diagnosis should be confirmed by contrast-enhanced abdominal CT.

**Keywords:** mesenteric artery syndrome; arteriomesenteric compression; duodenal obstruction; gastrointestinal fluoroscopy.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Kozlova YuA, Levina ON, Pavliv MP, Alontseva KA, Sorokin TA. Diagnosis of superior mesenteric artery syndrome: the role of functional tests and radiologic imaging. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2025; 106(1–3): 60–66 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2025-106-1-3-60-66>

**For corresponding:** Mariia P. Pavliv, e-mail: [marya.pavliv@yandex.ru](mailto:marya.pavliv@yandex.ru)

Received June 8, 2025

Revised June 22, 2025

Accepted June 23, 2025

## Введение / Introduction

Синдром верхней брыжеечной артерии (СВБА), или артериомезентериальная компрессия, заключается в сдавлении средней трети горизонтальной части двенадцатиперстной кишки

(ДПК) между верхней брыжеечной артерией (ВБА) и аортой. В норме угол отхождения ВБА от аорты равен 45°, расстояние между аортой и ВБА на уровне расположения ДПК составляет 1,0–2,8 см. При данной патологии отмечается уменьшение

угла, образованного ВБА и брюшной аортой, до 6–25°, сокращение расстояния между ВБА и брюшной аортой до 0,2–0,8 см [1].

ВБА берет начало от передней поверхности аорты ниже места отхождения чревного ствола примерно на 1 см, на уровне L1, позади тела поджелудочной железы. Затем ВБА идет вниз, формирует изгиб выпуклостью влево, пересекает среднюю треть горизонтальной части ДПК и входит в брыжейку тонкой кишки [2, 3]. В аортомезентериальном пространстве располагаются ДПК, частично фиксированная связкой Трейтца, левая почечная вена, крючковидный отросток поджелудочной железы, забрюшинные лимфатические узлы и жировая ткань [4].

Основной причиной развития СВБА является снижение массы тела, в результате которого уменьшается количество жировой ткани в аортомезентериальном пространстве [1]. Предрасполагать к развитию СВБА могут и некоторые врожденные анатомические особенности: короткий корень брыжейки тонкой кишки [5], нарушение ротации первичной кишки во время эмбриогенеза [6], высокое прикрепление связки Трейтца [2, 3, 6, 7] или низкое отхождение ВБА.

Артериомезентериальная компрессия ДПК – редкая патология. Данный диагноз устанавливают у 2,67% пациентов, госпитализированных с подозрением на дуоденальную непроходимость [8]. Средний возраст больных – 23 года, соотношение женщин и мужчин составляет 3:2 [8].

Данный синдром следует учитывать в дифференциальной диагностике у молодых и в целом здоровых пациентов, предъявляющих жалобы на боль в эпигастрии, постпрандиальную тошноту и рвоту, потерю аппетита, изжогу, вздутие живота после еды [9, 10] и чувство раннего насыщения [2]. Болевые ощущения уменьшаются в положении лежа на животе или на левом боку, то есть при изменении положения тела, в результате которых увеличивается аортомезентериальный угол [9].

СВБА считается диагнозом исключения [10]. Подобные симптомы отмечаются при гастроэзофагеальной рефлюксной болезни, хроническом панкреатите, язвенной болезни [9], мегадуоденуме, диабетическом гастропарезе [10], аберрантной поджелудочной железе [11], новообразованиях [12], беременности [13], мальротации кишечника [14], психогенной рвоте [5, 15] и склеродермии [9]. Наиболее часто в публикациях об артериомезентериальной компрессии встречаются описания этого синдрома у детей и подростков после оперативной коррекции типичного идиопатического сколиоза [2, 16], у взрослых – при снижении массы тела [17].

Для постановки диагноза требуется обязательное рентгенологическое подтверждение: проведе-

ние полипозиционного рентгеноконтрастного исследования верхних отделов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) с взвесью сульфата бария с выполнением специфических функциональных проб [18].

В настоящей работе представлен разбор клинического случая СВБА у пациентки 28 лет с набором жалоб, характерных для СВБА, снижающих качество жизни.

### Описание случая / Case report

Пациентка П., 28 лет, обратилась за амбулаторной помощью с жалобами на слабость, тошноту, изжогу и эпигастральную боль в течение 6 мес. Была проконсультирована терапевтом и гастроэнтерологом. Со стороны респираторной и сердечно-сосудистой систем патологических изменений не выявлено. Лабораторные показатели в пределах нормы. При эндоскопическом исследовании обнаружены признаки эрозивного рефлюкс-эзофагита. Был установлен диагноз гастроэзофагеальной рефлюксной болезни и назначена терапия. Однако прием ингибиторов протонной помпы и прокинетиков не привел к значительному улучшению состояния.

Появление симптомов пациентка связывала с похудением на 8 кг за 2 мес на фоне соблюдения диеты. Оперативные вмешательства на органах брюшной полости не проводились. После повторной консультации гастроэнтеролога в дифференциальный ряд были включены функциональные дискинетические нарушения ЖКТ, аберрантная поджелудочная железа [11], новообразования [12] и СВБА. Назначено дообследование – рентгенологическое контрастное исследование верхних отделов ЖКТ с определением сроков эвакуации.

При проведении **рентгеноскопического исследования** с бариевым контрастным препаратом Бар-ВИПС патологические изменения пищевода и желудка не выявлены. Желудок соответствовал астеническому конституциональному типу. Эвакуация контрастного препарата в ДПК наступила на 2-й минуте исследования. Луковица ДПК расправлялась полностью. Зарегистрировано расширение постбульбарных отделов петли ДПК до 3,5 см в диаметре до уровня средней трети нижней горизонтальной части, где отмечалась резкая смена калибра кишки до 0,8 см в диаметре на протяжении 3,2 см. Также выявлено нарушение перистальтики проксимальнее сужения в виде дуодено-дуоденальной, дуодено-бульбарной и бульбогастральной регургитации. Максимально четко изменения определялись при исследовании пациентки в горизонтальном положении на животе (рис. 1, 2).

В ходе проведения **функциональной пробы** (поднятие торса с опорой на локти и колени) отмечено расправление сужения до 3,0 см с восстановлением эвакуаторной функции. Дополни-

тельные образования в просвете не определялись (рис. 3, 4).

При досмотре на 30-й минуте исследования 1/3 бариевой взвеси сохранялась в полости желудка и дилатированной петле ДПК до уровня

компрессии, 2/3 заполняли петли тонкой кишки (рис. 5). При досмотре через 6 ч контрастный препарат заполнял дистальные петли подвздошной и отделы толстой кишок до уровня селезеночного угла (рис. 6).



Рис. 1. Укладка пациента на животе для выявления максимальной степени артериомезентериальной компрессии

Fig. 1. Placing a patient in prone position to identify the maximum degree of arteriomesenteric compression



Рис. 2. Рентгенограмма, выполненная в положении пациентки на животе при исследовании желудка и тонкой кишки с бариевым контрастным препаратом. Определяется смена калибра двенадцатиперстной кишки на уровне нижней горизонтальной части с 3,5 до 0,8 см в диаметре на протяжении 3,2 см

Fig. 2. Roentgenogram of the patient in prone position during examination of the stomach and small intestine with barium contrast agent. A change in duodenal calibre at the level of the lower horizontal part from 3.5 to 0.8 cm in diameter over a length of 3.2 cm is determined

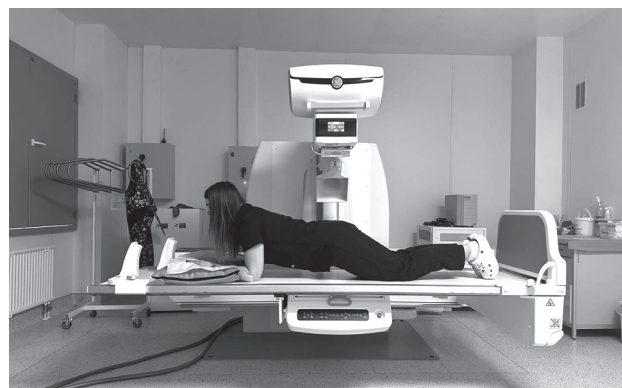


Рис. 3. Укладка пациента при проведении функциональной пробы – необходимо приподнять туловище с опорой на локти и колени

Fig. 3. Positioning a patient during the functional test: it is necessary to raise the torso with support on the elbows and knees



Рис. 4. Рентгенограмма, выполненная во время проведения функциональной пробы при исследовании желудка и тонкой кишки с бариевым контрастным препаратом. Определяется уменьшение степени компрессии средней трети горизонтальной части двенадцатиперстной кишки с сопутствующим восстановлением пассажа

Fig. 4. Roentgenogram during a functional test of the stomach and small intestine with barium contrast agent. A decrease in the degree of compression of the middle third of duodenal horizontal part is determined with concomitant restoration of the passage



Рис. 5. Рентгенограмма органов брюшной полости, выполненная через 30 мин после начала исследования желудка и тонкой кишки с бариевой взвесью: 1/3 контрастного препарата определяется в полости желудка, дилатированной петле двенадцатиперстной кишки до уровня сужения, 2/3 заполняет петли тонкой кишки. По-прежнему четко дифференцируется зона компрессии

Fig. 5. Abdominal roentgenogram 30 minutes after the start of the examination of the stomach and small intestine with barium suspension: 1/3 of the contrast agent is determined in the stomach cavity, the dilated loop of the duodenum to the level of constriction, 2/3 fills the loops of the small intestine. The compression zone is still clearly differentiated

На основании выполненного исследования сформулировано заключение, что рентгенологическая картина обнаруженных изменений с большей степенью вероятности соответствует артериомезентеральной компрессии с компенсированным нарушением эвакуаторной функции.

Для уточнения диагноза обследования была назначена **компьютерная томография** (КТ) органов брюшной полости с контрастным усилением. Диагноз подтвержден на основании уменьшения аортomezентериального угла до  $29^\circ$  и сокращения расстояния между стенкой аорты и ВБА на уровне прохождения петли ДПК до 6,6 мм (рис. 7).



Рис. 6. Рентгенограмма органов брюшной полости, выполненная через 6 ч после начала исследования желудка и тонкой кишки с бариевой взвесью. Контрастный препарат заполняет дистальные петли подвздошной и отделы толстой кишок до уровня селезеночного угла. В петле двенадцатиперстной кишки проксимальнее компрессии – пристеночное скопление незначительного количества контраста

Fig. 6. Abdominal roentgenogram 6 hours after the start of the examination of the stomach and small intestine with barium suspension. The contrast agent fills the distal loops of the ileum and sections of the colon to the level of the splenic angle. In the duodenal loop proximal to the compression, there is a parietal accumulation of an insignificant amount of contrast

После постановки диагноза СВБА пациентке было назначено консервативное лечение, состоящее из рекомендаций по частоте приемов пищи и увеличению ее калорийности, постуральной и медикаментозной терапии, направленной на улучшение моторики ЖКТ. Через 3 мес соблюдения рекомендаций отмечена положительная динамика в виде улучшения самочувствия, уменьшения диспепсических проявлений.

### Обсуждение / Discussion

СВБА заключается в компрессии средней трети горизонтальной части ДПК между аортой

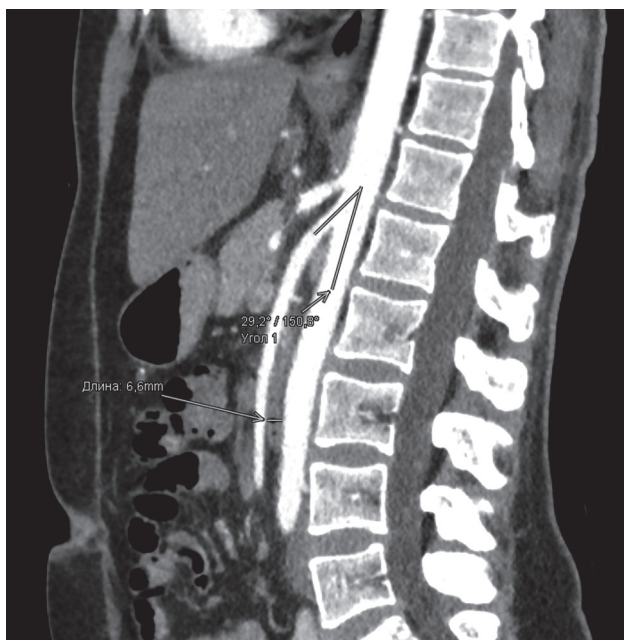


Рис. 7. Компьютерная томограмма органов брюшной полости с контрастным усилением, артериальная фаза, сагиттальный срез. Аортomesenterальный угол составляет 29°, расстояние между аортой и верхней брыжеечной артерией – 6,6 мм

Fig. 7. Contrast-enhanced abdominal computed tomogram, arterial phase, sagittal section. The aortomesenteric angle is 29°, the distance between the aorta and the superior mesenteric artery is 6.6 mm

и ВБА [1]. Наиболее часто данная патология связана со снижением массы тела, как и в описанном нами случае, вследствие уменьшения количества жировой ткани вокруг ВБА [1]. Артериомезентериальная компрессия встречается при расстройствах пищевого поведения [19], состояниях, вызывающих кахексию [20–22], после бариатрических операций [23, 24]. Также в ряде публикаций отмечается развитие СВБА после корректирующих операций при сколиозе за счет изменения лордоза позвоночника [15].

СВБА может проявляться как острая или хроническая патология. Острая форма характеризуется симптомами высокой тонкокишечной непроходимости [9]. В случае хронического течения (как у нашей пациентки) симптомы, как правило, неспецифичны [9, 10]. Поэтому диагностика СВБА крайне затруднительна, требует клинической настороженности во избежание назначения неэффективного симптоматического лечения [9].

Для постановки данного диагноза рекомендуется проводить рентгенологическое исследование верхних отделов ЖКТ и тонкого кишечника с бариевым контрастным препаратом и/или КТ с пероральным контрастированием [25]. Рентгенологические критерии: престенотическое расширение

первой и второй частей ДПК, вертикальное или косое сдавление третьей части, антиперистальтическое перемещение контрастного препарата проксимальнее места компрессии, задержка эвакуации контраста из ДПК [10], снижение степени обструкции в коленно-локтевом положении, положении на левом боку [9].

Симптомы артериомезентериальной компрессии зависят от положения тела [10], поэтому для подтверждения диагноза СВБА и исключения стеноза ДПК другого генеза важно проведение функциональных проб. Максимальное сужение просвета ДПК отмечается в положении пациента на животе, рентгенологические признаки компрессии исчезают или уменьшаются при поднятии туловища с опорой на локти и колени.

Сосудистые структуры хорошо визуализируются с помощью КТ-ангиографии [26]. Угол между аортой и ВБА менее 25° считается наиболее точным критерием для диагностики мезентериальной компрессии, особенно в сочетании с уменьшением аортomesenterального расстояния менее 8 мм на уровне расположения ДПК [2, 27].

## Заключение / Conclusion

Артериомезентериальная компрессия – редкий синдром, в литературе чаще всего встречаются описания клинических случаев у детей после операции по коррекции сколиоза и у взрослых на фоне потери массы тела. При данной патологии нет специфических клинических проявлений. Постановка диагноза затруднительна, основывается на инструментальных методах. В 95% случаев диагноз подтверждается рентгенологически, в первую очередь – рентгеноконтрастным исследованием верхних отделов ЖКТ с бариевой взвесью с определением сроков эвакуации.

Патогномоничным рентгенологическим признаком при исследовании желудка и тонкой кишки с бариевым контрастным препаратом является выявление зоны сужения средней трети горизонтальной части ДПК в положении пациента на животе с последующим расправлением и восстановлением эвакуаторной функции при выполнении функциональной пробы – поднятии торса с опорой на локти и колени.

Необходимо помнить о СВБА при проведении дифференциальной диагностики у пациентов с неспецифическими клиническими проявлениями, указывающими на наличие заболевания гепатопанкреатодуоденальной зоны. Своевременная грамотная диагностика СВБА позволяет избежать назначения неэффективной терапии, проведения необоснованных диагностических процедур и выбрать тактику, обеспечивающую оптимальные результаты лечения.

## Литература [References]

- Ahmed AR, Taylor I. Superior mesenteric artery syndrome. *Postgrad Med J*. 1997; 73(866): 776–8. <https://doi.org/10.1136/pgmj.73.866.776>.
- Аманова М.А., Холостова В.В., Разумовский А.Ю. и др. Синдром верхней брыжеечной артерии (синдром Уилки) у детей, как позднее осложнение нервно-психических заболеваний. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2023; 12: 199–205. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-220-12-199-205>. [Amanova MA, Kholostova VV, Razumovsky AY, et al. Superior mesenteric artery syndrome (Wilkie's syndrome) in children, as a late complication of neuropsychic diseases. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2023; 12: 199–205 (in Russ). <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-220-12-199-205>.]
- LeCompte MT, Mason B, Robbins KJ, et al. Clinical classification of symptomatic heterotopic pancreas of the stomach and duodenum: a case series and systematic literature review. *World J Gastroenterol*. 2022; 28(14): 1455–78. <https://doi.org/10.3748/wjg.v28.i14.1455>.
- Minzer S, Tenorio B, Descalzi B, et al. Superior mesenteric artery syndrome in oncology: report of two cases and review of the literature. *J Case Rep Images Oncol*. 2024; 10(1): 17–23. <https://doi.org/10.5348/100130Z10SM2024CS>.
- Ciortescu I, Nemteanu R, Hincu C, et al. An underrated diagnosis of superior mesenteric artery syndrome: a case report. *Diagnostics*. 2022; 12(9): 2159. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12092159>.
- Adson DE, Mitchell JE, Trenkner SW. The superior mesenteric artery syndrome and acute gastric dilatation in eating disorders: a report of two cases and a review of the literature. *Int J Eat Disord*. 1997; 21(2): 103–14. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1098-108x\(199703\)21:2<103::aid-eat1>3.0.co;2-p](https://doi.org/10.1002/(sici)1098-108x(199703)21:2<103::aid-eat1>3.0.co;2-p).
- Zhu ZZ, Qiu Y. Superior mesenteric artery syndrome following scoliosis surgery: its risk indicators and treatment strategy. *World J Gastroenterol*. 2005; 11(21): 3307–10. <https://doi.org/10.3748/wjg.v11.i21.3307>.
- Lippl F, Hannig C, Weiss W, et al. Superior mesenteric artery syndrome: diagnosis and treatment from the gastroenterologist's view. *J Gastroenterol*. 2002; 37: 640–3. <https://doi.org/10.1007/s005350200101>.
- Zaraket V, Deeb L. Wilkie's syndrome or superior mesenteric artery syndrome: fact or fantasy? *Case Rep Gastroenterol*. 2015; 9(2): 194–9. <https://doi.org/10.1159/000431307>.
- Merrett ND, Wilson RB, Cosman P, Biankin AV. Superior mesenteric artery syndrome: diagnosis and treatment strategies. *J Gastrointest Surg*. 2009; 13(2): 287–92. <https://doi.org/10.1007/s11605-008-0695-4>.
- Bandres D, Ortiz A, Dib J Jr. Superior mesenteric artery syndrome. *Gastrointest Endosc*. 2008; 68(1): 152–3. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2007.09.033>.
- Clarke D, Sharma AK, Shute K. Gastric outlet obstruction – with a difference. *Postgrad Med J*. 1997; 73(866): 823–4. <https://doi.org/10.1136/pgmj.73.866.823>.
- Jones PA, Wastell C. Superior mesenteric artery syndrome. *Postgrad Med J*. 1983; 59(692): 376–9. <https://doi.org/10.1136/pgmj.59.692.376>.
- Smith BM, Zyromski NJ, Purtill MA. Superior mesenteric artery syndrome: an underrecognized entity in the trauma population. *J Trauma*. 2008; 64(3): 827–30. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000223942.26704.91>.
- Tsirikos AI, Anakwe RE, Baker AD. Late presentation of superior mesenteric artery syndrome following scoliosis surgery: a case report. *J Med Case Rep*. 2008; 2: 9. <https://doi.org/10.1186/1752-1947-2-9>.
- Oka A, Awoniyi M, Hasegawa N, et al. Superior mesenteric artery syndrome: diagnosis and management. *World J Clin Cases*. 2023; 11(15): 3369–84. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v11.i15.3369>.
- Berken JA, Saul S, Osgood PT. Case report: superior mesenteric artery syndrome in an adolescent with cannabinoid hyperemesis. *Front Pediatr*. 2022; 10: 830280. <https://doi.org/10.3389/fped.2022.830280>.
- Pleşa A, Constantinescu C, Crumpei F, Cotea E. Superior mesenteric artery syndrome: an unusual case of intestinal obstruction. *J Gastrointest Liver Dis*. 2006; 15(1): 69–72.
- Iko BO, Monu JU, Orhue A, Sarkar SK. The superior mesenteric artery syndrome in pregnancy: a case resulting in recurrent pregnancy loss. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. 1986; 21(4): 233–6. [https://doi.org/10.1016/0028-2243\(86\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0028-2243(86)90021-3).
- Jani PG. Superior mesenteric artery syndrome: case report. *East Afr Med J*. 2003; 80(6): 334–6. <https://doi.org/10.4314/eamj.v80i6.8712>.
- Kume K, Shimada M, Otsuki M. Superior mesenteric artery syndrome. *Intern Med*. 2006; 45(18): 1071–2. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.45.6044>.
- Konen E, Amitai M, Apter S, et al. CT angiography of superior mesenteric artery syndrome. *AJR Am J Roentgenol*. 1998; 171: 1279–81.
- Unal B, Aktaş A, Kemal G, et al. Superior mesenteric artery syndrome: CT and ultrasonography findings. *Diagn Interv Radiol*. 2005; 11(2): 90–5.
- Рябых С.О., Скрыбин Е.Г., Чевжик В.П., Филатов Е.Ю. Клинический случай артериомезентериальной компрессии двенадцатиперстной кишки как осложнение оперативной коррекции типичного идиопатического сколиоза. *Хирургия позвоночника*. 2020; 17(2): 6–14. <https://doi.org/10.14531/ss2020.2.6-14>. [Ryabykh SO, Scryabin EG, Chevzhik VP, Filatov EYu. Arteriomesenteric compression of the duodenum as a complication of the surgical correction of typical idiopathic scoliosis: clinical case. *Khirurgiya pozvonochnika / Russian Journal of Spine Surgery*. 2020; 17(2): 6–14 (in Russ). <https://doi.org/10.14531/ss2020.2.6-14>.]
- Stümpfle R, Wright AR, Walsh J. Superior mesenteric artery syndrome in an HIV positive patient. *Sex Transm Infect*. 2003; 79(3): 262–3. <https://doi.org/10.1136/sti.79.3.262-a>.
- Applegate GR, Cohen AJ. Dynamic CT in superior mesenteric artery syndrome. *J Comput Assist Tomogr*. 1988; 12: 976–80. <https://doi.org/10.1097/00004728-198811000-00013>.
- Goitein D, Gagné DJ, Papasavas PK, et al. Superior mesenteric artery syndrome after laparoscopic Roux-en-Y gastric bypass for morbid obesity. *Obes Surg*. 2004; 14(7): 1008–11. <https://doi.org/10.1381/0960892041719626>.