

# **Вестник рентгенологии и радиологии**

Рецензируемый научно-практический журнал

Том 107, № 1 2026

# **Journal of Radiology and Nuclear Medicine**

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal

Vol. 107, No. 1, 2026

# 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™

<b>Учредитель 1:</b>	Общероссийская общественная организация содействия развитию лучевой диагностики и терапии «Российское общество рентгенологов и радиологов»
<b>Адрес:</b>	129344, г. Москва, ул. Верхоянская, д. 18, корп. 2, эт 0, пом. 2, ком. 4
<b>Учредитель 2:</b>	Общество с ограниченной ответственностью «ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА»
<b>Адрес:</b>	121552, Москва, ул. Ярцевская, д. 34, корп. 1, эт. 2, пом. I, комн. 7, оф. 33
<b>Издатель:</b>	Общество с ограниченной ответственностью «ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА» 121552, Москва, ул. Ярцевская, д. 34, корп. 1, эт. 2, пом. I, комн. 7, оф. 33
<b>Стоимость:</b>	Свободная цена
<b>Адрес редакции, телефон:</b>	121552, Москва, ул. Ярцевская, д. 34, корп. 1, эт. 2, пом. I, комн. 7, оф. 33, тел.: +7 (985) 120-70-06
<b>Подписной индекс:</b>	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 Н.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. Fuchsjäger</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**Миронов С.П., Бугрий М.Е., Сергиенко В.Б.**

Очаговые артефакты и внеорганные находки при перфузионной сцинтиграфии легких..... 6

**Ахиев М.И., Китаев В.М., Комогорова А.А.**

Компьютерная томография грудной полости в диагностике ушиба перикарда при минно-взрывных ранениях.....17

**Малов А.А., Курбангалеева К.Ш.**

Мультимодальный подход в диагностике артериита Kawasaki.....26

**Баширов Р.А., Рыжкин С.А., Бурков В.О., Нагорных Б.П., Зиганшина Л.Ф., Самойленко Л.Е., Идиятов Р.А., Баширов Д.Р.**

Количественная оценка транспортной функции пищевода методом компьютерного анализа рентгеноскопических изображений .....37

**Фатхутдинова А.Т., Юсупова А.Ф., Медведева С.В.**

Оценка диагностической эффективности стереотаксической биопсии в верификации подозрительных образований молочной железы (категории BI-RADS 4–5) .....50

**Савченков Ю.Н., Труфанов Г.Е., Фокин В.А., Ионова Е.А., Аракелов С.Э., Бодрова О.В.**

Диагностическая эффективность нативного T1-картирования в стадировании фиброза печени по данным магнитно-резонансной томографии .....62

Клинические случаи**Мартыяс А.Р., Кондратьева А.А., Ильина Н.А., Осина С.Л.**

Инfiltrативный туберкулез в педиатрической практике.....76

Original research**Sergey P. Mironov, Mikhail E. Bugriy, Vladimir B. Sergienko**

Focal Artifacts and Extraorgan Findings in Pulmonary Perfusion Scintigraphy..... 6

**Magomed I. Akhiev, Vyacheslav M. Kitaev, Alena A. Komogorova**Chest Computed Tomography for the Diagnosis of Pericardial Contusion  
in Mine-Explosive Wounds..... 17**Aleksei A. Malov, Kamilya Sh. Kurbangaleeva**

A Multimodal Approach in the Diagnosis of Kawasaki Disease..... 26

**Rustem A. Bashirov, Sergey A. Ryzhkin, Vladimir O. Burkov, Boris P. Nagornykh,  
Lilia F. Ziganshina, Lyudmila E. Samoilenko, Rustam A. Idiyatov, Damir R. Bashirov**Computer-Based Quantitative Assessment of Esophageal Transport Function  
Using Fluoroscopic Image Analysis..... 37**Aida T. Fatkhutdinova, Alsu F. Yusupova, Sofia V. Medvedeva**Evaluation of Stereotactic Biopsy Diagnostic Efficacy in Verification of Suspicious Breast  
Lesions (BI-RADS Categories 4–5)..... 50**Yury N. Savchenkov, Gennady E. Trufanov, Vladimir A. Fokin, Elena A. Ionova,  
Sergey E. Arakelov, Olga V. Bodrova**Diagnostic Effectiveness of Native T1 Mapping in Staging Liver Fibrosis  
According to Magnetic Resonance Imaging ..... 62Case reports**Anna R. Martyias, Anastasia A. Kondrateva, Natalia A. Ilyina, Svetlana L. Osina**

Infiltrative Tuberculosis in Pediatric Practice ..... 76



# Очаговые артефакты и внеорганные находки при перфузионной сцинтиграфии легких

Мионов С.П., Бугрий М.Е., Сергиенко В.Б.

Научно-исследовательский институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России, ул. Академика Чазова, 15а, Москва, 121552, Российская Федерация

**Мионов Сергей Петрович**, д. м. н., профессор, врач-радиолог лаборатории радиоизотопной диагностики и терапии отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии Научно-исследовательского института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0002-8373-0505>

**Бугрий Михаил Евгеньевич**, заведующий позитронно-эмиссионной лабораторией отдела радионуклидной диагностики и позитронно-эмиссионной томографии Научно-исследовательского института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0002-2390-0883>

**Сергиенко Владимир Борисович**, д. м. н., профессор, советник отдела координации научных, лечебных и учебных программ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0002-0487-6902>

## Резюме

**Цель:** уточнить и систематизировать причины очаговых и внеорганных артефактов, способных выполнять роль диагностических «ловушек» при перфузионной сцинтиграфии легких с  $^{99m}\text{Tc}$ -макроагрегатом альбумина (МАО), их семиотику, принципы и приемы дифференциации от патологических изменений.

**Материал и методы.** Проанализированы результаты перфузионной сцинтиграфии легких у 1025 пациентов, обследованных для исключения тромбоза легочной артерии (ТЭЛА) или тромбоза легочного фактора в генезе диагностированной легочной гипертензии. Исследование выполнялось в мультипланарном режиме на двухдетекторных однофотонных эмиссионных компьютерных томографах (ОФЭКТ) в положении больного лежа на спине через 4–5 мин после внутривенного введения радиофармпрепарата (РФП) активностью 111–148 МБк. Изображения легких регистрировали в шести проекциях, включающих переднюю, заднюю и четыре косые. При необходимости выполняли досмотр в режиме совмещенной ОФЭКТ/КТ. Термином «артефакт» обозначили одиночные дефекты перфузии, имитирующие ТЭЛА, а также внелегочные находки схожие с признаками право-левого шунта.

**Результаты.** Артефактные сцинтиграфические находки, соответствующие вышеописанным критериям, констатированы у 634 (61,8%) пациентов. Очаговые изменения (n=618) по характеру сцинтиграфической манифестации разделены на «холодные» и «горячие». Одиночные «холодные» (n=611) очаги чаще всего были следствием «экранирующего» эффекта измененных анатомических структур (сердце – 493, ствол легочной артерии – 72, плевральный выпот и высокое стояние диафрагмы – 41), а также имплантированного кардиостимулятора (n=5). «Горячие» очаги (n=7) из-за их высокой удельной радиоактивности маскировали тромбозоэмболические дефекты перфузии. Основная причина подобного артефакта – попадание крови в шприц с  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО во время внутривенного введения РФП. Внелегочные признаки право-левого шунта отмечены у 14 больных с врожденными пороками сердца и характеризовались сочетанной визуализацией почек и других органов большого круга кровообращения (селезенка, печень, щитовидная железа). Причиной артефактной визуализации кишечника (n=2) была остаточная радиоактивность после предшествующей перфузионной сцинтиграфии миокарда с  $^{99m}\text{Tc}$ -метокси-изобутил-изонитрилом.

**Заключение.** Анализ причин формирования очаговых и внеорганных артефактных находок при перфузионной сцинтиграфии легких и связанных с ними диагностических и интерпретационных «ловушек» позволит сформировать адекватную стратегию контроля качества для минимизации ложноположительной трактовки ТЭЛА и системно-легочных шунтов.

**Ключевые слова:** перфузионная сцинтиграфия легких;  $^{99m}\text{Tc}$ -макроагрегат альбумина; очаговые и внеорганные артефакты; диагностические ловушки.

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

**Для цитирования:** Мионов С.П., Бугрий М.Е., Сергиенко В.Б. Очаговые артефакты и внеорганные находки при перфузионной сцинтиграфии легких. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2026; 107(1): 6–16. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-6-16>

Для корреспонденции: Миронов Сергей Петрович, e-mail: msp1942@yandex.ru

Статья поступила 06.03.2026

После доработки 30.03.2026

Принята к печати 31.03.2026

# Focal Artifacts and Extraorgan Findings in Pulmonary Perfusion Scintigraphy

**Sergey P. Mironov, Mikhail E. Bugriy, Vladimir B. Sergienko**

*Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, National Medical Research Center for Cardiology, ul. Akademika Chazova, 15a, Moscow, 121552, Russian Federation*

**Sergey P. Mironov**, Dr. Med. Sc., Professor, Radiologist, Laboratory of Radioisotope Diagnostics and Therapy, Department of Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography, Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, National Medical Research Center for Cardiology;

<https://orcid.org/0000-0002-8373-0505>

**Mikhail E. Bugriy**, Head of Positron Emission Laboratory, Department of Radionuclide Diagnostics and Positron Emission Tomography, Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, National Medical Research Center for Cardiology;

<https://orcid.org/0000-0002-2390-0883>

**Vladimir B. Sergienko**, Dr. Med. Sc., Professor, Advisor, Department of Coordination of Scientific, Medical and Educational Programs, Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, National Medical Research Center for Cardiology;

<https://orcid.org/0000-0002-0487-6902>

## Abstract

**Objective:** to clarify and systematize the causes of focal and non-organ artifacts capable of acting as diagnostic pitfalls in lung perfusion scintigraphy using  $^{99m}\text{Tc}$  macroaggregated albumin (MAA), as well as their semiotics, principles, and methods for differentiating from pathological changes.

**Material and methods.** The outcomes of lung perfusion scintigraphy were analyzed in 1,025 patients who underwent examinations to rule out pulmonary embolism (PE) or thromboembolic factors contributing to diagnosed pulmonary hypertension. The procedure was carried out in a multiplanar mode using two-detector single-photon emission computed tomography (SPECT) scanners while the patient was lying supine, 4–5 minutes after intravenous injection of a radiopharmaceutical (RPh) with an activity level of 111–148 MBq. Lung images were captured in six projections, including anterior, posterior, and four oblique planes. If required, additional screening was performed in combined SPECT/CT mode. The term “artifact” was used to describe isolated perfusion defects that simulate PE, as well as extrapulmonary findings resembling signs of a right-to-left shunt.

**Results.** Artefact scintigraphic findings corresponding to the above criteria were found in 634 (61.8%) patients. Focal changes (n=618) were classified into “cold” and “hot” based on their scintigraphic presentation. Single “cold” lesions (n=611) were most commonly due to the shielding effect of altered anatomical structures (heart – 493, pulmonary artery trunk – 72, pleural effusion and elevated diaphragm – 41), as well as implanted pacemakers (n=5). “Hot spot” (n=7) obscured thromboembolic perfusion defects because of their high specific radioactivity. The main reason for this artifact is blood ingress into a syringe with  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA during intravenous administration of RPh. Extrapulmonary signs of right-to-left shunt were observed in 14 patients with congenital heart defects and were characterized by concurrent visualization of the kidneys and other organs in the systemic circulation (spleen, liver, thyroid gland). The reason for artefactual intestinal imaging (n=2) was residual radioactivity following prior myocardial perfusion scintigraphy with  $^{99m}\text{Tc}$  methoxyisobutyl-isonitrile.

**Conclusion.** Examining the reasons behind the occurrence of focal and extra-organ artifact findings in lung perfusion scintigraphy, as well as associated diagnostic and interpretive pitfalls, will enable the development of an appropriate quality control strategy to reduce the likelihood of false-positive interpretations of PE and systemic pulmonary shunts.

**Keywords:** lung perfusion scintigraphy;  $^{99m}\text{Tc}$  macroaggregated albumin; focal and extraorgan artifacts; diagnostic pitfalls.

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

**For citation:** Mironov SP, Bugriy ME, Sergienko VB. Focal artifacts and extraorgan findings in pulmonary perfusion scintigraphy. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2026; 107(1): 6–16 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-6-16>

**For corresponding:** Sergey P. Mironov, e-mail: msp1942@yandex.ru

Received March 6, 2026

Revised March 30, 2026

Accepted March 31, 2026

## Введение / Introduction

Перфузионная сцинтиграфия легких (ПСЛ) – радионуклидный метод изучения легочного кровообращения, предусматривающий использование меченых белковых радиоактивных частиц, диаметр которых больше минимального просвета легочных капилляров. В его основе лежит временная эмболизация капиллярного русла легких после внутривенного введения радиофармпрепаратов (РФП) на основе меченых микросфер или макроагрегатов альбумина (МАО) человеческой сыворотки. Размеры вводимых частиц составляют 10–40 мкм, что превышает диаметр прекапиллярных артериол (20–25 мкм) или капилляров легких (8–10 мкм). В силу этого уже при первом прохождении эмболизируется примерно 0,1–0,3% объема капилляров, что достаточно для картирования капиллярной сети легких. При тромбоемболии легочной артерии (ТЭЛА) меченые частицы не проникают в капиллярную сеть пораженных участков легкого, которые вследствие этого визуализируются на сцинтиграммах в виде дефектов перфузии [1].

Способность радиоактивных частиц вызывать диффузную микроэмболизацию легочных капилляров при их внутривенном или внутриартериальном введении начали использовать в 1950-е гг. прошлого века для лечения злокачественных новообразований легких [2, 3]. В эксперименте и в клинике была применена суспензия из радиоактивного коллоидного золота ( $^{198}\text{Au}$ ), адсорбированного на частицах активированного угля диаметром 30–50 мкм. Позднее для этих целей и детекции эмболии легочной артерии были предложены жировая эмульсия, тиюрацил, тиомочевина, которые не подходили для использования в клинике в силу неприемлемых радиационно-гигиенических характеристик радиоактивных меток, а также потенциальной способности вызывать повреждение головного мозга и почек при сердечных или легочных шунтах. Разработка суспензий МАО-1311, определение оптимального размера, при котором агрегаты альбумина будут с высокой эффективностью улавливаться при первом прохождении через легочное артериально-капиллярное русло и удерживаться там в течение времени, достаточного для сканирования легких, начались в Лаборатории ядерной медицины Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе в 1963 г. [4]. Основные недостатки и ограничения в использовании МАО, меченных йодом-131, касались высокой лучевой нагрузки, обусловленной высокой энергией гамма-излучения (360 кэВ), длительным (8 дней) периодом полураспада, а также необходимостью предварительной медикаментозной блокады щитовидной железы (ЩЖ). В середине – конце 1960-х гг. в клиническую практику вошли РФП, меченные короткоживущим технецием-99m. Была

разработана технология получения РФП непосредственно в лечебном учреждении, заключающаяся в добавлении смываемого генераторного  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пертехнетата к уже готовым, но нерадиоактивным МАО, поставляемым в стандартном наборе. Макроагрегаты в таком РФП отличались высокой стабильностью, а низкоэнергетическое (140 кэВ) излучение радиоактивной метки и ее короткий (6 ч) период полураспада позволяли при низкой лучевой нагрузке получать высококачественные сцинтиграфические изображения [5].

Следует подчеркнуть, что, несмотря на бурное развитие новых технологий и средств инструментальной, в том числе радионуклидной, визуализации, ПСЛ остается важным компонентом обследования пациентов с подозрением на ТЭЛА в силу простоты и доступности выполнения, а также высокой надежности сцинтиграфических критериев исключения этой патологии. В формулировке «вентиляционно-перфузионная сцинтиграфия» ПСЛ включена в дифференциально-диагностический алгоритм и стандарт обследования пациентов с различными формами легочной гипертензии (ЛГ) с целью верификации 4-й группы ЛГ – хронической тромбоемболической ЛГ (ХТЭЛГ) [6, 7]. Ведущий признак очаговой легочной патологии независимо от его причины – одиночные или множественные дефекты перфузии различной формы и размеров, поиск и анализ которых составляют основу сцинтиграфической диагностики ТЭЛА. Неизменная сцинтиграфическая картина позволяет исключить ТЭЛА из дальнейшего поиска уже на раннем этапе диагностики. По данным проспективного многоцентрового исследования PIOPED (Prospective Investigation of Pulmonary Embolism Diagnosis), чувствительность и специфичность перфузионного исследования в смешанной группе вероятностных категорий ТЭЛА составляют 96% и 10% соответственно [8]. Высокая чувствительность предполагает минимальную частоту (4%) ложноотрицательных результатов, в то время как низкая специфичность обуславливает высокую вероятность ложноположительных находок. Одной из причин подобных интерпретационных ошибок могут быть артефактные очаговые и внеорганные находки, своеобразные диагностические «ловушки» перфузионного сцинтиграфического изображения с  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МАО.

К очаговым артефактам в контексте задач ПСЛ мы относили одиночные локальные зоны аномального распределения РФП, имитирующие перфузионные изменения, ассоциируемые с ТЭЛА. К внелегочным артефактам относили находки, схожие с признаками системно-легочного шунтирования справа налево. Причинами артефактного накопления РФП могут быть инструментальные, радиофармацевтические, методические и клинические

факторы [9]. Артефактные находки при ПСЛ, как и связанные с ними диагностические «ловушки», периодически анализируются в зарубежных публикациях [10, 11], но, за исключением единичных наблюдений, не освещены в отечественной литературе [12, 13].

**Цель** – уточнить и систематизировать причины очаговых и внеорганных артефактов, способных выполнять роль диагностических «ловушек» при перфузионной сцинтиграфии легких с  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО, их семиотику, принципы и приемы дифференциации от патологических изменений.

### Материал и методы / Material and methods

Проведен ретроспективный анализ последовательных радионуклидных перфузионных исследований легких, выполненных в период 2020–2025 гг. 1025 пациентам в возрасте от 23 до 80 лет, находившимся на обследовании и лечении в клинических отделениях ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России и направленным на ПСЛ для исключения ТЭЛА или уточнения тромбоэмболического фактора в генезе диагностированной ЛГ. Дополнительной задачей ПСЛ являлась оценка наличия или отсутствия сцинтиграфических признаков сброса РФП в большой круг кровообращения – право-левого шунтирования.

ПСЛ в режиме планарного исследования выполняли по стандартному протоколу на двухдетекторных однофотонных эмиссионных компьютерных томографах (ОФЭКТ) BrightView XCT и SkyLight (Philips, Нидерланды). Использовали низкоэнергетический высоко разрешающий коллиматор. В качестве РФП применяли  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО (Макротех – ООО «Диамед», Россия). Время от приготовления РФП до начала процедуры не превышало 1–1,5 ч.

Исследование проводили в положении пациента лежа на спине через 4–5 мин после внутривенного введения РФП активностью 111–148 МБк в положении сидя. Руки пациента располагались за головой, чтобы исключить их экранирующее влияние в косых проекциях. Изображения легких регистрировались одновременно двумя детекторами в двух прямых (передней и задней) и четырех косых (левая передняя и правая задняя, правая передняя и левая задняя) проекциях под углом 45°. Средняя статистика счета на каждое изображение составляла 300 тыс. импульсов. Специальной подготовки больного к исследованию не проводили. При необходимости для уточнения особенностей выявленных изменений стандартное исследование дополняли томосцинтиграфией в режиме совмещенной ОФЭКТ/КТ.

Помимо визуального анализа изображений выполняли количественную оценку, включавшую

относительное распределение кровотока (перфузионное соотношение) между правым и левым легкими, их регионарную перфузию по зонам Веста, а также расчет апикально-базального соотношения, инверсию которого рассматривали как сцинтиграфический признак ЛГ.

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Сцинтиграфические изменения, отнесенные в соответствии с вышеописанными критериями к артефактным и способные выполнять роль диагностических «ловушек», констатированы у 634 (61,8%) пациентов. Из них очаговые находки отмечены у 618 (97,4%), внелегочные – у 16 (2,5%). По характеру сцинтиграфической манифестации выделены «холодные» и «горячие» артефактные очаги.

**Одиночные «холодные» очаги** существенно преобладали в спектре диагностических «ловушек» и отмечены у 611 пациентов. Основная причина подобных изменений – ослабление низкоэнергетического излучения  $^{99m}\text{Tc}$ , обусловленное экранирующим эффектом анатомических структур или внешних факторов. В силу специфики диагностических задач у больных с ЛГ ложноположительная трактовка одиночных дефектов перфузии может повлиять на дифференциацию групп ЛГ, прежде всего ХТЭЛГ. Вместе с тем наличие изолированного очагового нарушения перфузии может быть как маловероятным признаком ТЭЛА, так и сцинтиграфическим вариантом нормы [14, 15]. Мы выделили следующие анатомические и клинические факторы, индуцировавшие одиночные дефекты перфузии у обследованного контингента больных.

**Кардиальный дефект перфузии** – наиболее частый (n=493) сцинтиграфический признак, отмеченный в 77,7% наблюдений и обусловленный экранирующим эффектом сердечных структур, формировал в задней кривой проекции в области 4–5-го сегментов левого легкого краевой дефект перфузии полукруглой формы (рис. 1, а). Выраженность признака коррелировала с особенностями кардиального экранирования в передней прямой проекции и в целом соответствовала частоте поражения правых и левых отделов сердца при ЛГ различной этиологии [16].

**Расширенный ствол легочной артерии** сцинтиграфически манифестировался характерным краевым полукруглым дефектом перфузии в медиальном отделе 6-го сегмента, определяемым в прямых и косых проекциях преимущественно левого легкого. Подобная находка среди очаговых артефактов была второй по частоте (11,8%) и констатирована у 72 пациентов, причем у 11 из них располагалась как бы в глубине медиального

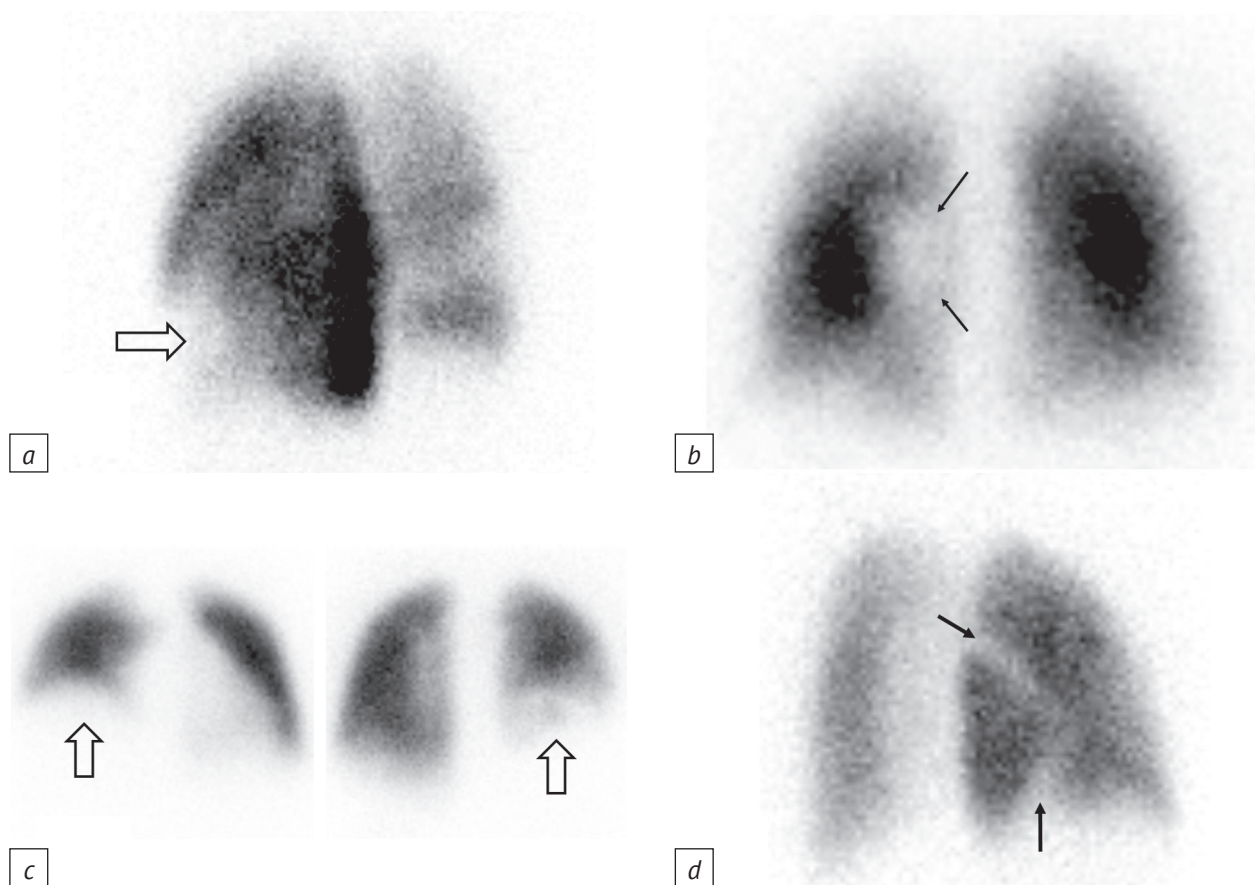


Рис. 1. Сцинтиграфические варианты «холодных» очаговых изменений, имитирующих тромбоэмболию легочной артерии (ТЭЛА):

*a* – перфузионный краевой дефект в проекции 5-го сегмента левой доли (стрелка) обусловлен гипертрофией правых отделов сердца (левая задняя косая проекция); *b* – «холодный» очаг в проекции медиального отдела 6-го сегмента левого легкого (задняя проекция) – результат ослабления излучения  $^{99m}\text{Tc}$ -макроагрегата альбумина в области расширенного ствола легочной артерии, признак полоски (стрелки) – дополнительный сцинтиграфический критерий низкой вероятности ТЭЛА; *c* – высокое положение диафрагмального контура правого легкого в передней (слева) и задней (справа) проекциях, обусловленное гидротораксом, имитирует крупный перфузионный дефект в средних и нижних отделах легкого; *d* – междолевой выпот (правая задняя косая проекция) манифестируется признаком борозды (стрелка сверху), клиновидный дефект перфузии в проекции базального сегмента правого легкого (стрелка снизу) обусловлен плевродиафрагмальной спайкой

*Fig. 1.* Scintigraphic variants of “cold” focal changes simulating pulmonary embolism:

*a* – perfusion marginal defect in the projection of the 5<sup>th</sup> segment of the left lobe (arrow), caused by hypertrophy of the right parts of the heart (left posterior oblique projection); *b* – “cold” focus in the projection of the medial section of the 6<sup>th</sup> segment of the left lung (posterior projection) is the result of attenuated  $^{99m}\text{Tc}$  macroaggregated albumin radiation in the area of dilated pulmonary artery trunk, the stripe sign (arrows) is an additional scintigraphic criterion for low probability of pulmonary embolism; *c* – high position of diaphragmatic contour of the right lung in the anterior (left) and posterior (right) projections, due to hydrothorax, simulates a large perfusion defect in the middle and lower parts of the lung; *d* – interlobular effusion (right posterior oblique projection) is manifested by fissure sign (upper arrow), the wedge-shaped perfusion defect in the projection of the basal segment of the right lung (lower arrow) is caused by pleuro-diaphragmatic adhesion

сегмента, формируя «признак полоски» (рис. 1, *b*). *Признак полоски* (stripe sign) – это периферическая паренхиматозная полоска перфузируемого легкого между сцинтиграфическим дефектом перфузии и прилегающей плевральной поверхностью, описанная в 1982 г. Н.Д. Sostman и А. Gottschalk [17] как высокоточный критерий исключения тромбоэмболического характера выявленного дефекта перфузии. Чувствительность признака достигает 91,3%, специфичность – 77,8% при общей точности 86,3% [18]. Оба варианта сцинтиграфического

признака расширенного ствола легочной артерии во всех наблюдениях соответствовали рентгенологическим критериям ЛГ [19].

*Асимметрия положения диафрагмального контура* отмечена у 41 (6,7%) пациента и характеризовалась более высоким расположением нижнего контура изображения одного из легких, чаще правого ( $n=34$ ). Отсутствие визуализации нижнего отдела изображения, констатированное в передней или обеих прямых проекциях, имитировали очаговую потерю перфузии в соответствующих

реберно-диафрагмальных областях. Эта скintiграфическая находка по данным рентгенографии грудной клетки сопровождала две клинические ситуации: односторонний плевральный выпот-гидроторакс (21) и высокое стояние одного из куполов диафрагмы (13). Каких-либо скintiграфических различий между этими патологическими состояниями мы не обнаружили (рис. 1, с). Совпадение скintiграфических и рентгенологических данных имело место в 35 наблюдениях, у 6 пациентов с рентгенологически обычным положением куполов диафрагмы имела место ложноположительная трактовка более высокого положения правого диафрагмального контура.

У 5 пациентов этой группы по данным рентгенологического и КТ-исследований выявлен *междолевой плеврит* справа, который только у 2 больных манифестировал скintiграфически в виде линейного дефекта перфузии в проекции междолевой борозды правого легкого, обозначаемого в литературе как *признак борозды* (fissure sign) (рис. 1, d). Вместе с тем трактовка данного скintiграфического симптома не всегда однозначна. Признак борозды может быть вызван хронической обструктивной болезнью легких, рубцеванием или утолщением плевры (даже если это не диагностируется рентгенологически) и множественными микроэмболиями. Плевральный выпот среднего размера может имитировать дефект верхнего сегмента нижней доли [20].

Среди других причин очаговых артефактов описываются *плевральные спайки*, которые могут образовываться в любом месте на всей протяженности плевры, чаще как следствие воспалительных заболеваний. Частота спайкообразования в плевральной полости колеблется в пределах 45–70% [21]. Существуют сведения, что локальные

фиброзированные плотные спайки, прорастающие в верхний слой легкого, могут быть причиной одиночных краевых очаговых изменений, имитирующих сегментарные или субсегментарные перфузионные дефекты, характерные для ТЭЛА [22]. В определенной клинической ситуации экранирующим фактором и причиной одиночного клиновидного перфузионного дефекта в области изображения верхней доли легкого может явиться *гипертрофия первого реберно-грудинного сочленения* [23]. Эта редкая патология – неинфекционное воспаление реберного хряща (реберный хондрит, синдром Титце) – описана немецким хирургом А. Tietze в 1921 г. [24].

*ЭКС-индуцированные артефакты* у 5 пациентов были следствием экранирующего эффекта имплантированного электрокардиостимулятора (ЭКС). Они выявлялись в передней проекции и имели четко очерченные скintiграфические характеристики. Это круглые фотондефицитные зоны, напоминающие монету, диаметром около 25 мм, локализованные в области латеральных отделов 3-го (переднего) сегмента левого легкого (рис. 2, a).

*Артефактные «горячие точки»* (“hot spots”) в виде локальных зон аномально высокого накопления РФП зафиксированы на перфузионных изображениях легких у 7 пациентов (рис. 2, b). Их скintiграфический размер колебался от 7×6 до 27×16 мм. Они были одно- (2) или двусторонние (5), единичные (3) или множественные (4) с высоким удельным содержанием меченого МАА, визуально превышающим накопление РФП в сопоставимом участке легкого в 2–3 раза. Связанное с этим перераспределение РФП маскировало наличие перфузионных дефектов и затрудняло их выявление. Аномальные скопления меченого МАА

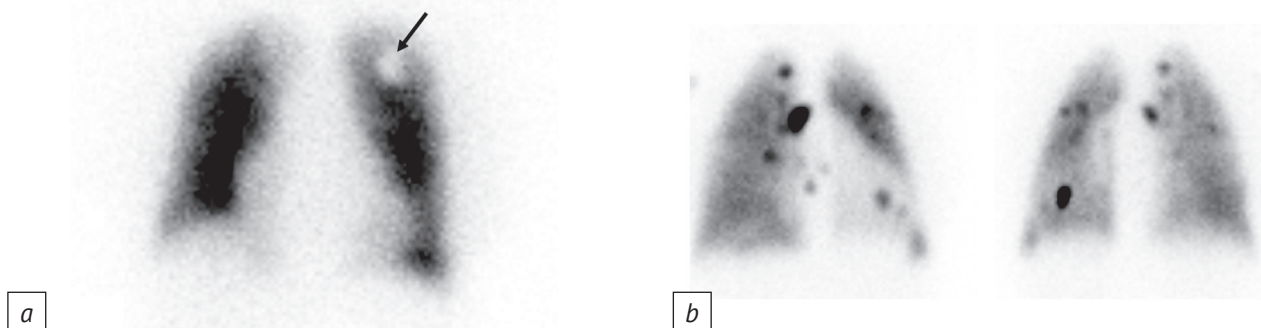


Рис. 2. Скintiграфические варианты очаговых артефактов:

*a* – на пульмоноскintiграмме в передней проекции локальная «холодная» зона (стрелка) на месте установленного электрокардиостимулятора; *b* – на перфузионных изображениях легких в передней (слева) и задней (справа) проекциях множественные «горячие» очаги как следствие конгломерации  $^{99m}\text{Tc}$ -макроагрегата альбумина и форменных элементов крови в шприце при внутривенной инъекции

Fig. 2. Scintigraphic variants of focal artifacts:

*a* – a local “cold” zone (arrow) is visible on anterior projection of pulmonoscintigram at the site of implanted pacemaker; *b* – multiple “hot spots” are observed on anterior (left) and posterior (right) perfusion lung images due to aggregation of  $^{99m}\text{Tc}$  macroaggregated albumin and blood cells in the syringe during intravenous injection

в виде «горячих точек» отмечены при сканировании легких с момента внедрения метода. Лабораторные и экспериментальные работы, проведенные на заре перфузионного исследования легких, позволили установить, что в основе этого скинтиграфического феномена лежат внутривенно введенные сгустки крови, образовавшиеся в шприце с приготовленным РФП. Доказано, что визуализация «горячих точек» на перфузионных изображениях связана с дефектом техники введения РФП и обусловлены агрегированием белковых частиц МАА при попадании крови в шприц с РФП во время венепункции либо введением РФП через ранее установленный, но недостаточно промытый катетер [25, 26]. Позже появились сообщения, что «горячие точки» могут быть вызваны определенными клиническими ситуациями, включая тромбофлебит верхних конечностей [27], а также гиперкоагуляционный синдром при таких патологических состояниях, как хроническая сердечная недостаточность и туберкулез легких. Агрегация частиц альбумина до 100–150 мкм приводит к эмболизации легочных сосудов на прекапиллярном или более раннем этапе их транспорта [28, 29].

**Внелегочное накопление  $^{99m}\text{Tc}$ -МАА**, отмеченное у 16 пациентов, подтверждает низкую частоту феномена при ПСЛ [30]. В 14 наблюдениях внелегочное накопление РФП сопровождало ЛГ, ассоциированную с врожденными пороками сердца (ВПС), в 2 случаях носило артефактный характер.

**Сцинтиграфические признаки право-левого шунта** отмечены у всех 14 больных с ВПС. Последние включали открытый артериальный проток (3), дефект межпредсердной перегородки (4), де-

фект межжелудочковой перегородки (3), открытое овальное окно (3), артериовенозную мальформацию (1), в том числе сочетающиеся с синдромом Эйзенменгера (7). Наличие право-левого или двунаправленного шунтирования верифицировано эхокардиографическими исследованиями.

**Визуализация почек** – постоянный ( $n=14$ ) и наиболее специфичный признак право-левого шунта – отражала поступление введенного  $^{99m}\text{Tc}$ -МАА в большой круг кровообращения. У 6 пациентов это был единственный скинтиграфический признак право-левого шунта, у 8 он сочетался с **визуализацией ЩЖ** (5), **селезенки** (4) и **печени** (1).

Мы не нашли какой-либо связи вида ВПС и комбинаций визуализации органов большого круга кровообращения, однако обратили внимание, что изображение почек в сочетании с визуализацией еще одного или более органов большого круга кровообращения сопровождалось крупными перегородочными дефектами (до 2–3 см), а также развившимся синдромом Эйзенменгера (рис. 3). Эта тенденция согласуется с данными литературы [31] об особенностях комплексной визуализации анатомических структур большого круга кровообращения при синдроме Эйзенменгера, включающей почки, селезенку, кишечник, ЩЖ и головной мозг. Визуализация мозговых структур рассматривается как скинтиграфический «золотой стандарт» право-левого шунтирования и важный критерий оценки эффективности шунтирующих операций [32]. Подчеркнем, что экстрапульмональные находки при системно-легочном шунтировании не ограничиваются указанными выше. При различных вариантах артериовенозных мальформаций

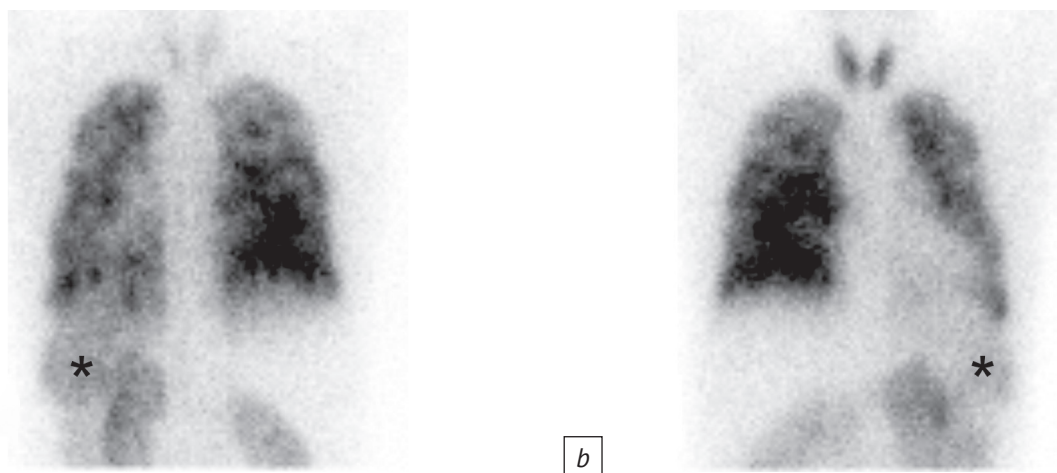


Рис. 3. Перфузионные пульмоносцинтиграммы у пациента с легочной гипертензией, ассоциированной с врожденным пороком сердца (дефект аортолечной перегородки, открытый артериальный проток). Право-левое шунтирование крови манифестируется сочетанной визуализацией почек, селезенки (звездочки) и щитовидной железы в задней (а) и в передней (б) проекциях

Fig. 3. Perfusion pulmonoscintigrams of a patient with pulmonary hypertension associated with congenital heart disease (aorto-pulmonary septal defect, patent ductus arteriosus). Right-to-left blood shunting is manifested by combined visualization of kidneys, spleen (asterisks), and thyroid gland in posterior (a) and anterior (b) projections

и синдроме верхней полой вены развитие обширных коллатеральных путей может сопровождаться неожиданным накоплением  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО в таких анатомических структурах, как миокард [33], бурый жир надключичных и паравerteбральных областей [34], грудные позвонки [35], квадратная доля печени [36]. Схожесть сцинтиграфической манифестации системно-легочных шунтов и артефактного накопления РФП может быть одной из возможных причин ложноположительных интерпретационных ошибок.

*Визуализация ЩЖ* обусловлена накоплением  $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнетата – обязательного компонента радиохимических примесей. Его содержание в корректно приготовленном  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО составляет  $1,0 \pm 0,4\%$  [37], причем ЩЖ захватывается от 0,5% до 3% циркулирующего в крови  $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнетата. При столь низкой активности РФП изображение ЩЖ не дифференцируется из тканевого фона. Причиной изолированной визуализации ЩЖ может быть возрастание ее поглонительной способности при гипертиреозе [38]. При наличии право-левого шунтирования доля поглощаемого ЩЖ  $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнетата возрастает пропорционально величине сброса крови в большой круг кровообращения. В отсутствие указанных факторов визуализацию ЩЖ относят к радиофармацевтическим артефактам. Последние чаще всего являются следствием недостаточно точного соблюдения требований к приготовлению  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО (например, введение во флакон с реагентами чрезмерного количества элюированного  $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнетата или превышение рекомендуемой экспозиции приготовленного РФП до его внутривенного вве-

дения) [39, 40]. В наших наблюдениях подобных артефактных находок не отмечено.

*Визуализация кишечника* в обоих случаях была следствием предшествующей перфузионной сцинтиграфии миокарда с  $^{99m}\text{Tc}$ -метокси-изобутил-изонитрилом. Регистрируемая остаточная радиоактивность в тонком и толстом отделах кишечника затрудняла диагностику право-левого шунта, поскольку в прямых проекциях могла имитировать изображение почек (рис. 4).

ПСЛ с  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО, несмотря на ее полувековую историю, остается востребованным радионуклидным методом в силу доступности и простоты выполнения. С 2009 г. она включена в стандарт обследования пациентов для дифференциальной диагностики форм ЛГ, прежде всего для верификации ее хронической тромбоэмболической формы. Ведущим сцинтиграфическим признаком ХТЭЛГ является наличие одиночных или множественных перфузионных дефектов, поиск и анализ которых составляют основу радионуклидного исследования. Главное ограничение ПСЛ – низкая специфичность и, как следствие, высокая вероятность ложноположительных интерпретаций. Причинами последних могут быть как артефакты, имитирующие очаговые перфузионные изменения, так и диагностические «ловушки», то есть очаговые изменения легких, не обусловленные ТЭЛА, но уязвимые для ее ложноположительной трактовки. Поскольку среди 634 проанализированных пациентов преобладали (91,3%) больные с различными формами ЛГ, выявленные артефактные изменения и диагностические «ловушки» отражают их особенность и частоту прежде всего в этой клиниче-

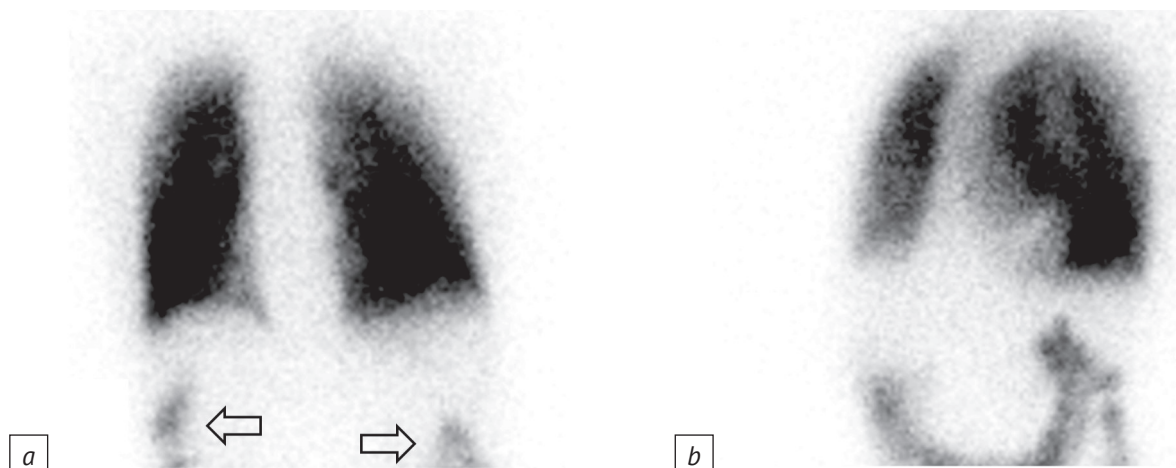


Рис. 4. Пример артефактной визуализации кишечника после проведенной накануне перфузионной сцинтиграфии миокарда с  $^{99m}\text{Tc}$ -метокси-изобутил-изонитрилом:

*a* – остаточная радиоактивность имитирует изображение почек в задней проекции (стрелки); *b* – изображение кишечника в левой передней косой проекции помогает избежать ошибочной интерпретации

Fig. 4. An example of artifact intestinal visualization after myocardial perfusion scintigraphy with  $^{99m}\text{Tc}$  methoxy-isobutyl-isonitrite performed the day before:

*a* – residual radioactivity mimics kidney image in posterior projection (arrows); *b* – intestinal image in left anterior oblique projection helps to avoid misinterpretation

ской группе. Данные литературы и наш собственный опыт показывают, что важной составляющей уменьшения негативного влияния артефактов на результаты сцинтиграфии является контроль качества каждого этапа диагностической цепочки.

Радиофармацевтический компонент – один из ведущих факторов артефактного внелегочного накопления РФП. Как правило, это следствие методических погрешностей в процессе его приготовления.  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО готовится путем добавления элюата из генератора во флакон, содержащий стерильный реагент (лиофилизат). Элюатом является  $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнетат, находящийся в наивысшем валентном состоянии (+7) и потому не способный метить компоненты набора. Для метки он должен быть восстановлен в более низкое валентное состояние. Для этих целей в состав лиофилизата вводится окислитель (двухлористое олово). Однако случайное попадание воздуха или влаги при введении  $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнетата во флакон с лиофилизатом приводит к окислению олова и образованию избыточного количества свободного  $^{99m}\text{Tc}$ -пертехнетата.

**Контроль качества приготовленного РФП** не ограничивается требованием строгого соблюдения инструкции. Приказ Минздрава России от 27 апреля 2015 г. № 211н «Об утверждении Порядка изготовления радиофармацевтических лекарственных препаратов непосредственно в медицинских организациях» предусматривает современные подходы к контролю качества РФП. Использование экспресс-методов определения радиохимической чистоты РФП до его введения пациенту позволит избежать артефактов, связанных с повышенным содержанием радиохимических примесей [41].

**Контроль качества этапа подготовки пациента** к ПСЛ способствует исключению артефактных изменений, связанных с экранирующим эффектом некоторых аксессуаров одежды и учету особенностей сцинтиграфической картины в областях имплантированных предметов (ЭКС, грудной имплантат). Информация о проведенных накануне радионуклидных исследованиях с РФП, экскретируемые печенью, поможет скорректировать сроки проведения ПСЛ и исключить артефактную визуализацию кишечника. «Горячие» очаги, затрудняющие выявление перфузионных дефектов, как указано выше, являются следствием методической ошибки при внутривенной инъекции  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО.

**Контроль качества этапа введения  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО** предусматривает обеспечение надежного венозного доступа для быстрого введения РФП, минимизирующего возможность смешивания крови и РФП в шприце, а также обязательную проверку и промывание ранее поставленного венозного катетера.

**Контроль качества этапа интерпретации** результатов ПСЛ – ответственный компонент диагностического процесса при категоризации одиночных перфузионных дефектов. Прежде всего следует учесть особенности локализации этих «холодных» очагов в контексте проанализированных выше сцинтиграфических данных и их возможную патогенетическую обусловленность. Наш опыт обследования пациентов с ЛГ убеждает, что в отсутствие вентиляционной сцинтиграфии достаточно надежный диагностический результат можно получить при сопоставлении данных ПСЛ с результатами рентгенологического или КТ-исследований в тех же проекциях, что и при планарном радионуклидном исследовании. Ключевым для отнесения «холодных» очагов к категории низкой или очень низкой вероятности ТЭЛА является совпадение сцинтиграфических и рентгенологических данных по наличию и локализации патологических изменений. Так, «кардиальный дефект» подтверждается рентгенологическими критериями кардиомегалии, в том числе высоким кардиоторакальным индексом. Легочные очаги связаны с расширением ствола и ветвей легочной артерии – рентгенологическими характеристиками ЛГ, включающими выбухание ствола легочной артерии, увеличение высоты ее легочного сегмента. Аналогичным образом верифицируется высокое стояние диафрагмы, плевральный, в том числе междолевой, выпот и другие очаговые изменения, способные имитировать ТЭЛА. При интерпретации внелегочного накопления РФП прежде всего необходимо исключить радиофармацевтический артефакт, связанный с приготовлением РФП. Основным критерий внелегочного артефакта – изолированная визуализация ЩЖ, повторяемая при ПСЛ у других обследуемых в этот день пациентов. Для верификации сцинтиграфических признаков право-левого шунтирования целесообразно уточнить анамнестические данные о наличии ВПС и результаты эхокардиографии. В сомнительных ситуациях для получения более полной характеристики одиночных «холодных» очагов или внелегочных находок возможна визуализация проблемных зон в режиме совмещенной ОФЭКТ/КТ, а при необходимости количественного расчета шунта «справа налево» следует провести досмотр в режиме «все тело» [42].

## Закключение / Conclusion

Анализ причин формирования очаговых и внеорганных артефактных находок, формирующих диагностические «ловушки» при интерпретации результатов ПСЛ в конкретной клинической ситуации, дает возможность заранее сформировать адекватную стратегию контроля качества каждого этапа методической цепочки. Это позволит избежать или минимизировать ложноположительную трактовку ТЭЛА и системно-легочных шунтов.

## Литература [References]

- Zöphel K, Bacher-Stier C, Pinkert J, Kropp J. Ventilation/perfusion lung scintigraphy: what is steel need? A review considering technetium-99m-labelled macro-aggregates of albumin. *Ann Nucl Med*. 2009; 23(1): 1–16. <https://doi.org/10.1007/s12149-008-0187-3>.
- Muller JH, Rossier PH. A new method for the treatment of cancer of the lungs by means of artificial radioactivity. *Acta Radiol*. 1951; 35(5-6): 449–68. <https://doi.org/10.3109/00016925109136677>.
- Ernst H, Iglauer E, Kronschwitz H, Spode E. Experimental animal studies of the therapy of lung tumors using radioactive goldcarbon suspension. *Strahlentherapie*. 1958; 107(3): 382–90 (in German).
- Taplin GV, MacDonald NS. Radiochemistry of macroaggregated albumin and newer lung scanning agents. *Semin Nucl Med*. 1971; 1(2): 132–52. [https://doi.org/10.1016/s0001-2998\(71\)81013-9](https://doi.org/10.1016/s0001-2998(71)81013-9).
- Harper PV, Lathrop KA, Jimenez F, et al. Technetium 99m as a scanning agent. *Radiology*. 1965; 85: 101–9. <https://doi.org/10.1148/85.1.101>.
- Панченко Е.П., Балахонова Т.В., Данилов Н.М. и др. Диагностика и лечение тромбоэмболии легочной артерии: клинические рекомендации Евразийской ассоциацией кардиологов для практических врачей (2021). *Евразийский кардиологический журнал*. 2021; 1: 44–77. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2021-1-44-77>. [Panchenko EP, Balahonova TV, Danilov NM, et al. Diagnosis and management of pulmonary embolism. Eurasian Association of Cardiology (EAC) clinical practice guidelines (2021). *Eurasian Heart Journal*. 2021; 1: 44–77 (in Russ). <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2021-1-44-77>.]
- Авдеев С.Н., Барбараш О.Л., Валиева З.С. и др. Легочная гипертензия, в том числе хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия. Клинические рекомендации 2024. *Российский кардиологический журнал*. 2024; 29(11): 6161. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6161>. [Avdeev SN, Barbarash OL, Valieva ZS, et al. 2024 Clinical practice guidelines for pulmonary hypertension, including chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Russian Journal of Cardiology*. 2024; 29(11): 6161 (in Russ). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6161>.]
- PIOPED Investigators. Value of the ventilation/perfusion scan in acute pulmonary embolism. Results of the prospective investigation of pulmonary embolism diagnosis (PIOPED). *JAMA*. 1990; 263(20): 2753–9. <https://doi.org/10.1001/jama.1990.03440200057023>.
- Wells LD. Radionuclide imaging artifacts. *Chicago Year Book Medical Publishers*; 1980: 134 pp.
- Moser KM, Miale A. Interpretive pitfalls in lung photoscanning. *Am J Med*. 1968; 44(3): 366–76. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(68\)90108-3](https://doi.org/10.1016/0002-9343(68)90108-3).
- Schembri GP, Roach PJ, Bailey DL, Freeman L. Artifacts and anatomical variants affecting ventilation and perfusion lung imaging. *Semin Nucl Med*. 2015; 45(5): 373–91. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2015.02.009>.
- Рубин М.П., Кулешова О.Д., Чечурин Р.Е. Радионуклидная перфузионная сцинтиграфия легких: методика исследования и интерпретация результатов. *Радиология – практика*. 2002; 4: 16–21. [Rubin MP, Kuleshova OD, Chechurin RE. Radionuclide perfusion scintigraphy of the lungs: research methodology and interpretation of results. *Radiology – Practice*. 2002; 4: 16–21 (in Russ).]
- Аншелес А.А., Сергиенко В.Б. Ядерная кардиология. М.: НМИЦ кардиологии; 2021: 516 с. [Ansheles AA, Sergienko VB. Nuclear cardiology. Moscow: National Medical Research Center for Cardiology; 2021: 516 pp (in Russ).]
- Wallace JM, Moser KM, Hartman MT, Ashburn WL. Patterns of pulmonary perfusion scans in normal subjects. *Am Rev Respir Dis*. 1981; 124(4): 480–3. <https://doi.org/10.1164/arrd.1981.124.4.480>.
- Fedullo PF, Kapitan KS, Brewer NS, et al. Patterns of pulmonary perfusion scans in normal subjects. IV. The prevalence of abnormal scans in smokers 30 to 49 years of age. *Am Rev Respir Dis*. 1989; 139(5): 1155–7. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/139.5.1155>.
- Архипова О.А., Мартынюк Т.В., Самойленко Л.Е. и др. Перфузионная сцинтиграфия легких у больных с легочной гипертензией различной этиологии. *Евразийский кардиологический журнал*. 2015; 4: 20–5. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2015-4-20-25>. [Arkhipova OA, Martynyuk TV, Samoilenko LE, et al. Perfusion lung scintigraphy in patients with a pulmonary hypertension of a various etiology. *Eurasian Heart Journal*. 2015; 4: 20–5 (in Russ). <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2015-4-20-25>.]
- Sostman HD, Gottschalk A. The stripe sign: a new sign for diagnosis of nonembolic defects on pulmonary perfusion scintigraphy. *Radiology*. 1982; 142(3): 737–41. <https://doi.org/10.1148/radiology.142.3.7063693>.
- Kotlyarov EV, Ruppel WF, Reba RC. Interpretation of perfusion lung scan based on presence and absence of “stripe sign”. *Invest Radiol*. 1983; 18(4): S15. <https://doi.org/10.1097/00004424-198307000-00081>.
- Коробкова И.З., Лазуткина В.К., Низовцева Л.А., Ридэн Т.В. Методические аспекты рентгенологической диагностики легочной гипертензии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2015; 4: 46–53. [Korobkova IK, Lazutkina VK, Nizovtsova LA, Riden TV. Radiographic assessment of pulmonary hypertension: methodical aspects. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2015; 4: 46–53 (in Russ).]
- Mettler FA, Guiberiteau MJ. *Essential of nuclear medicine. imaging*. Elsevier Health Sciences; 2012: 624 pp.
- Калашников А.В., Салимов Д.Ш. Современный взгляд на проблему спаек брюшной и плевральной полости: этиология, патологические проявления, сходство и различия, спорные вопросы профилактики. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал)*. 2018; 2(1): 27–35. <https://doi.org/10.17116/operhirurg20182127-35>. [Kalashnikov AV, Salimov DSh. Current views on the problem of abdominal and pleural adhesions: etiology, pathologic manifestations, similarity and differences, disputable issues of prevention. *Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy*. 2018; 2(1): 27–35 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/operhirurg20182127-35>.]
- Fogelman I, Clarke S, Cook G, Gnanasegaran G (Eds). *Atlas of clinical nuclear medicine*. CRC Press; 2014: 1607 pp.
- Schuster DM, Scheidt K. Artfactual perfusion defect from a hypertrophic first costosternal articulation. *Clin Nucl Med*. 1997; 22(9): 642. <https://doi.org/10.1097/00003072-199709000-00017>.
- Шестерня П.А., Васильева А.О., Шкиль Л.М. и др. Синдром Титце – междисциплинарный клинический случай. *Сибирское медицинское обозрение*. 2017; 2: 112–6. <https://doi.org/10.20333/2500136-2017-2-112-116>.

- [Shesternya PA, Vasileva AO, Shkil LM, et al. Syndrome Tietze – interdisciplinary clinical case. *Siberian Medical Review*. 2017; 2: 112–6 (in Russ).  
<https://doi.org/10.20333/2500136-2017-2-112-116>.]
25. Duffy GJ, DeNardo GL, Abington RB. Origin and evolution of radioactive pulmonary emboli in man. *Radiology*. 1968; 91: 1175–80.
  26. Preston DF, Greenlaw R. “Hotspots” in lung scans. *J Nucl Med*. 1970; 11(7): 422–5.
  27. Lutzker LG, Perez LA. Radioactive embolization from upper-extremity thrombophlebitis. *J Nucl Med*. 1975; 16: 241–2.
  28. Ikehira H, Kinjo M, Yamamoto Y, et al. Hot spots observed on pulmonary perfusion imaging: a case report. *J Nucl Med Technol*. 1999; 27(4): 301–2.
  29. Sebbar C, Hiroual S, Kouassi N, et al. Artfactual hot spots on technetium-99m macroaggregated albumin perfusion lung scan. *Indian J Nucl Med*. 2023; 38(2): 151–3.  
[https://doi.org/10.4103/ijnm.ijnm\\_182\\_22](https://doi.org/10.4103/ijnm.ijnm_182_22).
  30. Hussain R, Maseeh-uz-Zaman, Khan SA, Ahmad MN. Extra [corrected] pulmonary uptake of Tc-99m-MAA perfusion lung scan as a result of right to left intra cardiac shunt. *J Pak Med Assoc*. 2006; 56(5): 241–2.
  31. Mitsui K, Woodhams R, Ukisu R, Inoue Y. Lung perfusion scintigraphy in Eisenmenger syndrome due to patent ductus arteriosus. *Clin Nucl Med*. 2019; 44(11): 879–80.  
<https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002735>.
  32. Son HJ, Ryu JS. <sup>99m</sup>Tc-MAA total body imaging of patent right-to-left shunt with invisible brain activity. *Hell J Nucl Med*. 2020; 23(2): 209–10.
  33. Gale B, Chen C, Chun KJ, et al. Systemic to pulmonary venous shunting in superior vena cava obstruction. Unusual myocardial and thyroid visualization. *Clin Nucl Med*. 1990; 15(4): 246–50.  
<https://doi.org/10.1097/00003072-199004000-00008>.
  34. Marashdeh W, Wahl RL. Case report: brown fat accumulation of tc-99m macroaggregated albumin in a lung perfusion study in a patient with multiple lung arteriovenous malformations and right-to-left shunting. *Medicine*. 2015; 94(42): e1820.  
<https://doi.org/10.1097/MD.0000000000001820>.
  35. D'Abadie P, Ghaye B, Jamar F. Vertebral uptake of <sup>99m</sup>Tc-macroaggregated albumin during lung perfusion scanning. *World J Nucl Med*. 2019; 19(3): 271–2.  
[https://doi.org/10.4103/wjnm.WJNM\\_44\\_19](https://doi.org/10.4103/wjnm.WJNM_44_19).
  36. Esser JP, Oei HY, de Bruin HG, Krenning EP. Liver and vertebral uptake of Tc-99m macroaggregated albumin (MAA). *Clin Nucl Med*. 2004; 29(12): 793–4.  
<https://doi.org/10.1097/00003072-200412000-00004>.
  37. Рихсиев А.З., Садиков И.И., Зикиров М. Способ получения набора к генератору технеция-99m на основе макароеггированного альбумина (MAA) с оловом двухвалентным для приготовления диагностического средства. *Universum: химия и биология: электронный научный журнал*. 2024; 4(118). [Rikhsiev AZ, Sadikov II, Zikirov M. A method for obtaining a kit for the technetium-99m generator based on macroaggregated albumin (MAA) with divalent tin, for the preparation of a diagnostic agent. *Universum: Chemistry and Biology: Electronic Scientific Journal*. 2024; 4(118) (in Russ).]
  38. Campeau RJ, Lichtenstein RJ, Ward TL, Alster DK. Incidental detection of hyperthyroidism during a perfusion lung scan for suspected pulmonary emboli. *Clin Nucl Med*. 1991; 16(4): 251–2. <https://doi.org/10.1097/00003072-199104000-00009>.
  39. Hung JC, Ponto JA, Hammes RJ. Radiopharmaceutical-related pitfalls and artifacts. *Semin Nucl Med*. 1996; 26(4): 208–55.  
[https://doi.org/10.1016/s0001-2998\(96\)80002-x](https://doi.org/10.1016/s0001-2998(96)80002-x).
  40. Ajdari SE, Qutbi M. Rapid decomposition of <sup>99m</sup>Tc-MAA complex during lung perfusion imaging. *Clin Nucl Med*. 2019; 44(8): 674–5.  
<https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002643>.
  41. Кодина Г.Е., Малышева А.О. Контроль качества радиофармацевтических препаратов в медицинских организациях. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017; 1: 88–92.  
[Kodina GE, Malysheva AO. Quality control of radiopharmaceuticals in medical institutions. *Drug Development & Registration*. 2017; 1: 88–92 (in Russ).]
  42. Золотницкая В.П. Диагностика артериовенозного шунтирования крови в легких методом перфузионной сцинтиграфии в клинике и эксперименте. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2011; 10(4): 49–53.  
<https://doi.org/10.24884/1682-6655-2011-10-4-49-53>. [Zolotnitskaya VP. Diagnosis of arteriovenous blood shunting in the lungs by means of perfusion scintigraphy in clinical practice and experiment. *Regional Blood Circulation and Microcirculation*. 2011; 10(4): 49–53 (in Russ).  
<https://doi.org/10.24884/1682-6655-2011-10-4-49-53>.]



# Компьютерная томография грудной полости в диагностике ушиба перикарда при минно-взрывных ранениях

Ахиев М.И.<sup>1,2</sup>, Китаев В.М.<sup>1,3</sup>, Комогорова А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневецкого» Минобороны России,

пос. Новый, тер. 3 ЦВКГ им. А.А. Вишневецкого, 1, Московская обл., Красногорск, 143420, Российская Федерация

<sup>2</sup> Филиал ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России в г. Москве, ул. Малая Черкизовская, 7, Москва, 107392, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами президента Российской Федерации, ул. Маршала Тимошенко, 19, стр. 1А, Москва, 121359, Российская Федерация

**Ахиев Магомед Исамудинович**, к. м. н., начальник центра (лучевой диагностики с архивом) ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневецкого» Минобороны России, преподаватель кафедры хирургии неотложных состояний филиала ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России в г. Москве;

<https://orcid.org/0009-0005-6853-162X>

**Китаев Вячеслав Михайлович**, д. м. н., профессор, консультант центра (лучевой диагностики с архивом) ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневецкого» Минобороны России, ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами президента Российской Федерации;

<https://orcid.org/0009-0009-5153-9405>

**Комогорова Алёна Александровна**, заведующая отделением ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневецкого» Минобороны России;

<https://orcid.org/0009-0001-2787-3106>

## Резюме

**Цель:** доказать возможность выявления ушиба перикарда при компьютерной томографии (КТ), выполняемой в обычном режиме исследования грудной полости.

**Материал и методы.** На предварительном этапе исследования было изучено отображение на КТ неизмененного перикарда, определены симптомы, характерные для ушиба, и вероятность выявления этих симптомов. На заключительном этапе определили возможности КТ грудной полости в выявлении ушибов сердца при минно-взрывных ранениях грудной полости.

**Результаты.** Установлена возможность диагностики огнестрельного ушиба перикарда при скрининге грудной полости методом КТ. Показано, что ушиб перикарда при минно-взрывных ранениях грудной полости диагностируется в 45,1% случаев. Приоритетными КТ-симптомами ушиба являются отек перикарда и гемоперикард. Отеку соответствует утолщение листков перикарда до 2–3 мм. Толщина листков перикарда, превышающая 3 мм, отображает скопления крови.

**Заключение.** Выявление ушиба перикарда методом КТ поможет определять показания для углубленного исследования внутрикардиальных структур.

**Ключевые слова:** визуализация перикарда; компьютерная томография; отек перикарда; гемоперикард; ушиб перикарда; ушиб сердца.

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

**Для цитирования:** Ахиев М.И., Китаев В.М., Комогорова А.А. Компьютерная томография грудной полости в диагностике ушиба перикарда при минно-взрывных ранениях. Вестник рентгенологии и радиологии. 2026; 107(1): 17–25. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-17-25>

**Для корреспонденции:** Ахиев Магомед Исамудинович, e-mail: [akhiev@yandex.ru](mailto:akhiev@yandex.ru)

Статья поступила 26.01.2026

После доработки 16.03.2026

Принята к печати 31.03.2026

## Chest Computed Tomography for the Diagnosis of Pericardial Contusion in Mine-Explosive Wounds

Magomed I. Akhiev<sup>1,2</sup>, Vyacheslav M. Kitaev<sup>1,3</sup>, Alena A. Komogorova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vishnevsky National Medical Research Center of High Medical Technologies, pos. Novyy, ter. 3 TsVKG imeni Vishnevskogo, 1, Moskovskaya obl., Krasnogorsk, 143420, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow Branch of Kirov Military Medical Academy, ul. Malaya Cherkizovskaya, 7, Moscow, 107392, Russian Federation

<sup>3</sup> Central State Medical Academy, ul. Marshala Timoshenko, 19, str. 1A, Moscow, 121359, Russian Federation

**Magomed I. Akhiev**, Cand. Med. Sc., Head of Center of Radiation Diagnostics with Archive, Vishnevsky National Medical Research Center of High Medical Technologies; Lecturer, Chair of Emergency Surgery, Moscow Branch of Kirov Military Medical Academy; <https://orcid.org/0009-0005-6853-162X>

**Vyacheslav M. Kitaev**, Dr. Med. Sc., Professor, Consultant, Center of Radiation Diagnostics with Archive, Vishnevsky National Medical Research Center of High Medical Technologies; Central State Medical Academy; <https://orcid.org/0009-0009-5153-9405>

**Alena A. Komogorova**, Head of Department, Vishnevsky National Medical Research Center of High Medical Technologies; <https://orcid.org/0009-0001-2787-3106>

### Abstract

**Objective:** to prove the possibility of detecting pericardial contusion using computed tomography (CT) performed in the normal mode of chest examination.

**Material and methods.** The preliminary phase of the study examined the CT appearance of the intact pericardium, identified symptoms characteristic of contusion, and the likelihood of detecting these symptoms. The final phase assessed the potential of chest CT for detecting cardiac contusions in mine-explosive chest wounds.

**Results.** The ability to diagnose gunshot pericardial contusion using chest CT was established. Pericardial contusion was diagnosed in 45.1% of cases of mine-explosive chest wounds. The primary CT signs of contusion were pericardial edema and hemopericardium. Edema corresponded to pericardial leaflet thickening up to 2–3 mm. Pericardial thickness exceeding 3 mm indicated blood accumulation.

**Conclusion.** Detection of pericardial contusion by CT will help determine indications for in-depth examination of intracardiac structures.

**Keywords:** pericardial imaging; computed tomography; pericardial edema; hemopericardium; pericardial contusion; cardiac contusion.

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

**For citation:** Akhiev MI, Kitaev VM, Komogorova AA. Chest computed tomography for the diagnosis of pericardial contusion in mine-explosive wounds. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2026; 107(1): 17–25 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-17-25>

**For corresponding:** Magomed I. Akhiev, e-mail: [akhiev@yandex.ru](mailto:akhiev@yandex.ru)

Received January 6, 2026

Revised March 16, 2026

Accepted March 31, 2026

### Введение / Introduction

Согласно литературным данным ушиб сердца и перикарда при ранениях грудной полости происходит приблизительно в 17% случаев<sup>1</sup> [1–7]. В современных боевых действиях наиболее распространены минно-взрывные (МВ) ранения, которые вызывают многофакторные повреждения, включающие воздействия от взрывной волны и осколков разорвавшихся боеприпасов. Органы средостения наиболее восприимчивы к таким воздействиям [1, 2, 8–11].

Как показали исследования, энергия снаряда, проходящего даже на расстоянии до 20 см от раневого канала, вызывает повреждения в мышце сердца, которые усугубляются воздействием удар-

ной волны<sup>2</sup> [10, 12–17]. Диагностика ушиба сердца традиционно базируется на клинической картине, анализе электрокардиограммы (ЭКГ). Наиболее информативной считается трансторакальная эхокардиография, однако ее выполнение на начальных этапах оказания медицинской помощи по ряду причин затруднено [14, 15].

Альтернативой может служить компьютерная томография (КТ) грудной полости, которая в настоящее время на этапе специализированной хирургической помощи проводится всем раненым. В этой связи разработка вопросов диагностики ушибов перикарда на ранних этапах оказания ме-

<sup>1</sup> Тюрин М.В. Морфофункциональная характеристика тупой травмы грудной клетки, защищенной бронезиловым. Дис. ... канд. мед. наук. Л.; 1987.

<sup>2</sup> Кузьмин А.Я. Ранняя диагностика, интенсивная терапия, определение хирургической тактики у пострадавших с тяжелой сочетанной травмой, сопровождающейся ушибом сердца. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб.; 2009.

дицинской помощи при КТ, выполненной в стандартном режиме без применения специальных сложных методик, актуальна и имеет большую практическую значимость.

**Цель** – доказать возможность выявления ушиба перикарда при КТ, выполняемой в обычном режиме исследования грудной полости.

### Материал и методы / Material and methods

На предварительном этапе исследования изучено отображение на КТ неизменного перикарда, определены симптомы, характерные для ушиба, и вероятность их обнаружения. На заключительном этапе определены возможности КТ грудной полости в выявлении ушибов сердца при МВ ранениях грудной полости.

Для изучения отображения неизменного перикарда на КТ выполнен ретроспективный анализ электронных записей КТ 50 пациентов, не имеющих ранений грудной полости. Отбор проводили открытым способом. Критерием включения служил возрастной интервал 25–40 лет.

С целью определения симптомов, характерных для ушиба, составлена 2-я подборка электронных записей КТ – 50 наблюдений ранений сердца, проведенных во временном интервале не более 5 сут после ранения. Предполагалось, что каждое ранение сердца сопровождается ушибом перикарда. Средний возраст пациентов в этих наблюдениях составил  $35 \pm 11$  лет.

Точность, чувствительность и распространенность выявления ушиба по КТ-симптомам, определяемым на КТ, выполненной по программе скрининга грудной полости, рассчитывали в 3-й подборке из 40 наблюдений. Критерием включения в эту группу служило наличие электронных записей первичной КТ грудной полости в обычном режиме сканирования и повторного КТ-исследования сердца, синхронизированного с ЭКГ, проводимого по различным клиническим показаниям. Повторное КТ-исследование использовалось в качестве референтного метода при диагностическом тестировании результатов первичной КТ грудной полости.

Для изучения возможностей КТ грудной полости в выявлении ушибов сердца в результате МВ ранений грудной полости проведено закрытое слепое исследование. Критерием включения в группу анализа служило наличие электронной записи первичной КТ, выполненной не позднее 5 сут от момента МВ ранения, критерием исключения – наличие проведенных на предыдущих этапах медицинской эвакуации полостных хирургических операций. В результате составлена 4-я подборка в количестве 214 наблюдений (средний возраст раненых  $33 \pm 6$  лет).

При статистической обработке материала использовали количественные распределения

и простые процентные соотношения. Для оценки нормальности распределения количественного признака применяли критерий Шапиро–Уилка. Различия считали статистически достоверными при  $p < 0,05$ . Сопряженность данных, получаемых в основных группах исследования, с контрольными группами определяли на основе оценки чувствительности, специфичности и распространенности изучаемого признака. Для определения влияния субъективного фактора на результат анализа КТ-изображений выполняли независимую слепую экспертизу четырьмя врачами-рентгенологами, имеющими опыт диагностики огнестрельных ранений. Оценку согласованности между экспертами проводили с использованием критерия каппа Флейса (для 95% доверительного интервала).

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты изучения отображения неизменного перикарда на КТ показали, что в 28% случаев перикард на КТ не визуализировался. Визуализируемые отделы перикарда определялись в 72% наблюдений. Анализ продемонстрировал, что визуализации отделов перикарда способствовала жировая прослойка, которая отделяет фиброзные листки перикарда от миокарда и представляет субперикардальную жировую клетчатку – эпикард. На визуализацию перикарда также влияли амплитуда пульсовых волн стенок сердца, частота и фаза цикла сердечных сокращений. Совпадение спокойной фазы движения отделов сердца с моментом сканирования на КТ отображалось фрагментарной визуализацией разных отделов перикарда. Обнаружению фрагментов перикарда помогала прокрутка изображений (рис. 1). Чаще удавалось видеть правый отдел медиастинального перикарда. Этот отдел изолированно обнаруживался в 36% случаев, а в сочетании с другими отделами – в 70%. Толщина его листков в абсолютном большинстве наблюдений составляла 1–2 мм.

Очевидно, что любой ушиб проявляется отеком и геморрагическим пропитыванием. Частота выявления КТ-симптомов ушиба перикарда на КТ при ранениях сердца и в контрольной группе представлена в таблице 1. Как видно, при ушибах изменения в перикарде проявлялись утолщением его листков (62%) и/или скоплением крови (38%).

Утолщение перикарда объяснялось отеком фиброзного листка, серозных оболочек и субперикардальной жировой клетчатки. Набухая, субперикардальная жировая клетчатка оттесняла перикард и тем самым способствовала визуализации расположенных над ней утолщенных листков. Эти изменения на КТ отображались отчетливым чередованием темных и серых полос. Внутренний,

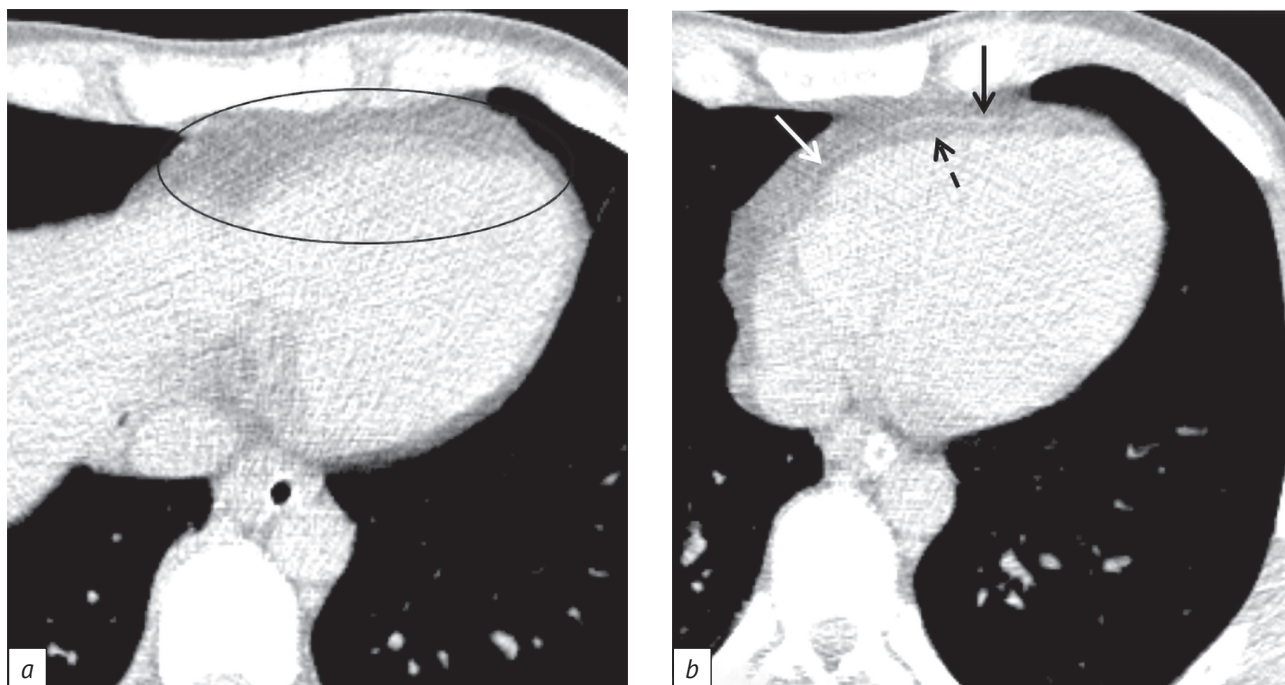


Рис. 1. Зависимость визуализации перикарда от фазы цикла сердечных сокращений. Компьютерная томография, стандартная программа исследования, прокрутка изображений:

*a* – каудальный срез, передний отдел перикарда отображается едва различимой линией (обведено овалом); *b* – краниальный срез, отчетливое отображение переднего (черная сплошная стрелка) и правого медиастинального (белая стрелка) отделов перикарда, визуализируемая часть эпикарда отмечена черной пунктирной стрелкой

Fig. 1. Pericardial visualization as a function of cardiac cycle phase. Computed tomography scan, standard imaging program, image scrolling:

*a* – caudal section, the anterior pericardium is displayed as a barely visible line (outlined in oval); *b* – cranial section, clear visualization of the anterior (black solid arrow) and right mediastinal (white arrow) pericardium; the visualized portion of the epicardium is indicated by a black dashed arrow

Таблица 1

Частота компьютерных томографических симптомов ушиба перикарда при ранениях сердца и в контрольной группе, n (%)

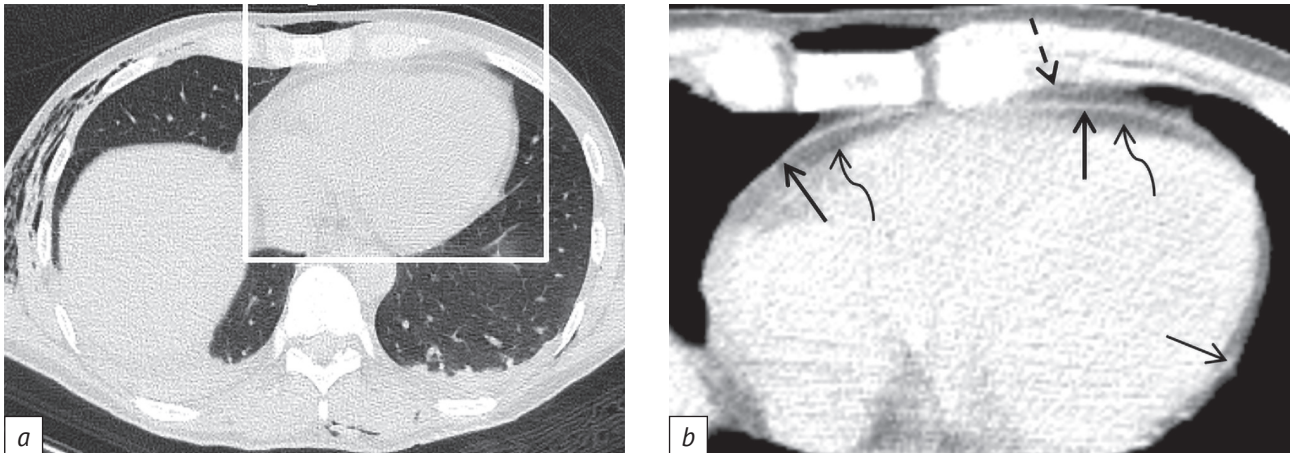
Table 1

Rate of computed tomographic symptoms of pericardial contusion in heart injuries and in the control group, n (%)

Группа / Group	Признак / Sign		
	Толщина перикарда 1–2 мм / Pericardial thickness 1–2 mm	Толщина перикарда 2–3 мм / Pericardial thickness 2–3 mm	Кровь в перикарде / Blood in pericardium
Ранения сердца / Heart wounds (n=50)	11 (22,0)	20 (40,0)	19 (38,0)
Контрольная группа / Control group (n=50)	9 (18,0)	1 (2,0)	0 (0,0)
p	0,402	<0,031	0,001

первый (темный) слой отображал пропитывание субперикардиальной жировой клетчатки. Вторым (серый) слоем формировался висцеральным и париетальным серозными листками и расположенной между ними щелевидной полостью перикарда. Третий (темный) слой представлял собой окружающую жировую клетчатку средостения (рис. 2). Денситометрический показатель жировой клетчатки

эндокарда за счет отека увеличивался до –60 НУ и выше. Суммарная толщина листков перикарда при ранениях не превышала 3 мм. В контрольной группе утолщение листков перикарда обнаружено в 20% наблюдений, из них 18% соответствовали минимальному утолщению (1–2 мм), и такое утолщение не имело достоверного различия с группой контроля ( $p=0,402$ ).



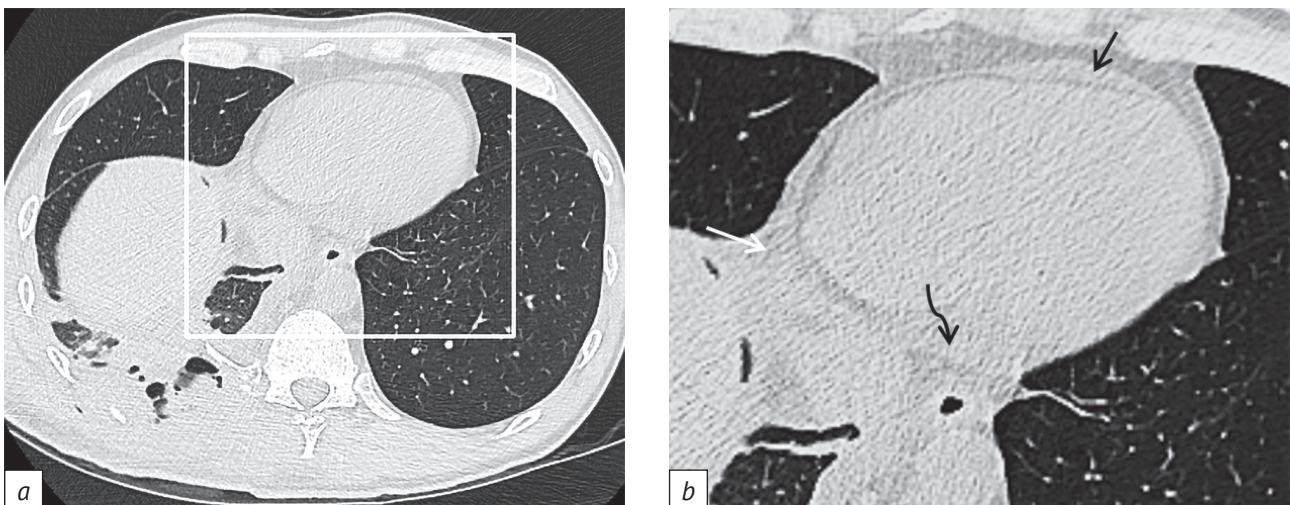
*Рис. 2.* Минно-взрывное ранение. Ушиб сердца и левого легкого. Отек перикарда. На компьютерной томограмме (a) и ее увеличенном фрагменте (b) отчетливо определяются субперикардальная жировая клетчатка (изогнутые стрелки), листки перикарда (прямые стрелки), фрагмент жировой клетчатки средостения (пунктирная стрелка)

*Fig. 2.* Mine-explosive injury. Contusion of the heart and left lung. Pericardial edema. Computed tomography scan (a) and its magnified fragment (b) clearly show subpericardial fat (curved arrows), pericardial layers (straight arrows), and a fragment of mediastinal fat (dashed arrow)

Кровоизлияния в перикард выявлены в 38% наблюдений. Скопления крови чаще были локальными (13 случаев), а в 6 случаях кровь определялась во всех отделах перикарда. При больших скоплениях кровь занимала всю щелевидную полость перикарда или формировала ограниченные скопления, которые, как правило, локализовались в направлении наибольшей силы прямого и отра-

женного ударов (рис. 3). Максимальная толщина скопления крови достигала 14 мм. Нарастание крови наблюдалось только при циркулярном скоплении в 2 наблюдениях (10,5%).

Вероятность выявления ушиба по симптомам, сопровождающим ушиб перикарда, показана в таблице 2. Признак «кровь в перикарде» с вероятностью 86% указывал на ушиб сердца. В 5 наблюдениях



*Рис. 3.* Четвертые сутки после минно-взрывного проникающего слепого ранения грудной полости. На компьютерной томограмме (a) и ее увеличенном фрагменте (b) определяются отек перикарда и субперикардальной жировой прослойки, распространяющийся по всей его окружности. В переднем отделе полости перикарда имеется ограниченное локальное скопление крови с максимальной толщиной 6 мм (черная прямая стрелка), аналогичные скопления крови содержатся в правом боковом отделе перикарда (белая стрелка) и в косом синусе (черная изогнутая стрелка)

*Fig. 3.* Four days after a penetrating blind chest wound. Computed tomography scan (a) and its magnified fragment (b) reveal pericardial edema and subpericardial fat pad swelling extending throughout the pericardium. A localized blood collection is present in the anterior pericardial cavity with a maximum thickness of 6 mm (black straight arrow). Similar blood collections are present in the right lateral pericardium (white arrow) and in the oblique sinus (black curved arrow)

ложноотрицательные результаты соответствовали касательным ранениям перикарда снарядами с диаметром менее 2 мм, угасающая энергия которых не могла вызвать характерные для ушиба изменения. Признак «отек перикарда 1–2 мм» имел низкую вероятность зависимости от ушиба (22%), что объясняется субъективной трудностью различения минимального утолщения перикарда от нормы. В равной степени при толщине перикарда в пределах 2–3 мм возникала сложность интерпретации между отеком и скоплением крови.

Результаты определения чувствительности, специфичности и распространенности рутинного КТ-исследования по программе «грудная полость» в диагностике ушиба перикарда представлены в таблице 3. Обозначенный в таблице положительный результат соответствовал наличию ушиба

сердца, подтвержденному референтным методом, отрицательный – его отсутствию.

Таким образом, результаты КТ грудной полости в стандартном режиме не показали статистически значимых отличий от «золотого стандарта» в выявлении рассматриваемых признаков ушиба. В целом КТ грудной полости в стандартном режиме имела высокую диагностическую эффективность – 87,5%. Ложноотрицательные (3) и ложноположительные (2) случаи объяснялись ошибочной трактовкой отека листков перикарда на КТ первого исследования. Из этого следует, что применение рассматриваемого метода дает возможность выявлять наличие ушиба. Если показатель диагностической эффективности свидетельствует о возможности обнаружения заболевания с помощью данного метода, то прогностическая ценность ха-

Таблица 2

### Вероятность выявления ушиба перикарда по компьютерным томографическим признакам (n=50)

Table 2

#### Probability of detecting pericardial contusion based on computed tomography findings (n=50)

Симптомы ушиба перикарда / Symptoms of pericardial contusion	Результаты диагностического тестирования, n / Diagnostic test results, n				Вероятность выявления признака, % / Probability of detecting a sign, %
	ИП / TP	ИО / TN	ЛП / FP	ЛО / FN	
Отек перикарда 1–2 мм / Pericardial edema 1–2 mm	11	0	0	39	22,0
Отек перикарда 2–3 мм / Pericardial edema 2–3 mm	20	0	0	30	40,0
Кровь в перикарде / Blood in pericardium	43	0	0	5	86,0

Примечание. ИП – истинно-положительный; ИО – истинно-отрицательный; ЛП – ложноположительный; ЛО – ложноотрицательный.  
Note. TP – true positive; TN – true negative; FP – false positive; FN – false negative.

Таблица 3

### Показатели сопряженности компьютерной томографии (КТ) грудной полости с «золотым стандартом»

Table 3

#### Correlation of chest computed tomography (CT) with the “gold standard”

Результат КТ с электрокардиографией / CT with electrocardiography results (n=40)	Результат сопряженности КТ грудной полости с «золотым стандартом» / The result of the correlation of chest CT with the “gold standard”					Оценка метода, % / Method evaluation, %	
	Положительный / Positive	Отрицательный / Negative	Ч / Se	С / Sp	Р / Pr	ДЭ / DE	ПЦ / PV
Положительный / Positive (n=32)	ИП=30 / TP=30	ЛП=2 / FP=2	0,90	0,71	0,82	87,5	53,2
Отрицательный / Negative (n=8)	ЛО=3 / FN=3	ИО=5 / TN=5					

Примечание. Ч – чувствительность; С – специфичность; Р – распространенность; ДЭ – диагностическая эффективность; ПЦ – прогностическая ценность; ИП – истинно-положительный; ЛО – ложноотрицательный; ЛП – ложноположительный; ИО – истинно-отрицательный.  
Note. Se – sensitivity; Sp – specificity; Pr – prevalence; DE – diagnostic efficiency; PV – predictive value; TP – true positive; FN – false negative; FP – false positive; TN – true negative.

рактирует конкретную обследованную группу и больше указывает на вероятность встречаемости ушиба перикарда в конкретной группе. В нашей выборке прогностическая ценность составила 53,2%. Подводя итог изучению отображения на КТ изменений перикарда при ушибах, можно заключить, что скопления крови в перикарде и отек его листков с вероятностью 87,5% указывают на ушиб.

Представленные выше исследования демонстрируют существенное влияние субъективного фактора при оценке результата. Поэтому определение возможностей КТ грудной полости в выявлении ушибов сердца при МВ ранениях груди проводили независимо друг от друга четыре врача-рентгенолога со стажем работы более 10 лет и опытом диагностики огнестрельных ранений. Полученные результаты с оценкой согласованности заключений представлены в таблице 4.

По результатам анализа установлено, что количество ушибов перикарда колебалось от 102 (1-й эксперт) до 91 (2-й эксперт) при среднем значении 96,5 (45,1%). Наибольшее количество отклонений в заключениях экспертов от средних значений происходило при оценке симптома «отек перикарда», что вызвало необходимость подробного изучения причины. Дополнительный анализ показал, что разночтения заключались в определении границы между отеком 1–2 мм и нормой. Утолщение листков в интервале 2–3 мм расценивалось с высоким постоянством. Такой отек характеризовался отчетливым изображением утолщенных листков перикарда и субперикардальной жировой клетчатки на протяжении всего отдела перикарда

и часто с переходом на смежный отдел. Другие единичные ошибки объяснялись локализацией ушиба перикарда при МВ ранениях задних сегментов легких, когда в жировую клетчатку нижнего этажа средостения поступала жидкость из плевральных полостей. Это усложняло дифференцировку структур заднего средостения и перикарда (рис. 4, а). Затруднение вызвало и вынужденное положение пациентов (рис. 4, b). Признак «скопление крови» имел минимальное количество расхождений.

Оценку согласованности между экспертами при анализе КТ-признаков патологических изменений проводили с помощью критерия каппа Флейса (для 95% доверительного интервала). Интерпретация значений критерия показана в таблице 5. Оценка продемонстрировала существенное и идеальное согласие при анализе таких симптомов ушиба перикарда, как отек 2–3 мм и скопления крови. При отеке толщиной 1–2 мм согласованности мнений не наблюдалось.

### Заключение / Conclusion

Неизменный перикард визуализируется фрагментарно и имеет вид тонких прерывистых линий, толщина которых составляет 1–2 мм. В 28% наблюдений перикард вовсе не визуализируется.

Ушиб перикарда при МВ ранениях грудной полости обнаруживается на КТ в 53,2% случаев. КТ в режиме сканирования для грудной полости позволяет диагностировать ушиб сердца с эффективностью 87,5%.

Приоритетными КТ-симптомами ушиба перикарда являются его отек, который отображается

Таблица 4

Частота выявления компьютерных томографических признаков ушиба перикарда экспертами при минно-взрывных ранениях, n (%)

Table 4

Rate of detecting pericardial contusion computed tomographic signs by experts in mine-explosive wounds, n (%)

Эксперт / Expert	Частота выявления признаков ушиба перикарда / Rate of detecting pericardial contusion signs (n=214)		Ушиб есть / Contusion	Ушиба нет / No contusion
	Отек / Edema	Кровь / Blood		
1	34 (15,4)	62 (28,9)	102 (47,6)	112 (52,4)
2	24 (11,2)	67(28,5)	91 (42,5)	123 (57,5)
3	28 (13,1)	65 (30,)	99 (46,2)	115 (53,8)
4	30 (14,0)	58 (27,1%)	94 (43,9)	120 (56,1)
Среднее значение / Mean value	29,0 (13,5)	61,5 (28,7)	96,5 (45,1)	117,0 (54,9)
Размах вариаций / Range of variations	10	7	11	11

Примечание. ИП – истинно-положительный; ИО – истинно-отрицательный; ЛП – ложноположительный; ЛО – ложноотрицательный.  
Note. TP – true positive; TN – true negative; FP – false positive; FN – false negative.

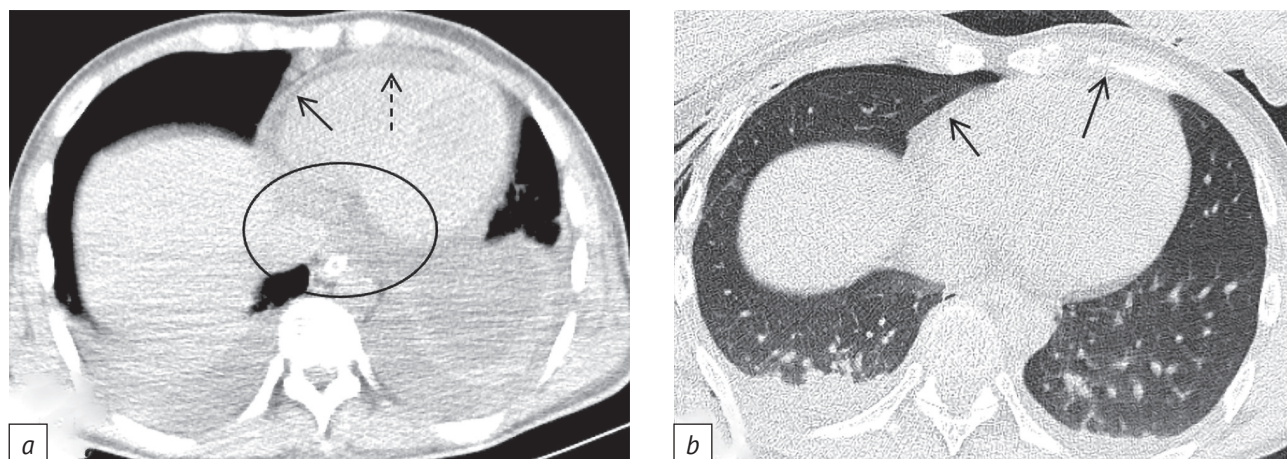


Рис. 4. Минно-взрывное ранение:

*a* – в заднем отделе нижнего этажа средостения наблюдается ушиб нижних долей легких, на этом фоне перикард, прилежащий к заднему отделу средостения, едва различим (обозначено овалом); правый отдела перикарда (сплошная стрелка) и локальное скопление крови в переднем отделе (пунктирная стрелка) хорошо визуализируются; *b* – изображение зашумлено вследствие вынужденного положения пациента и затенения от наложения рук, утолщение переднего и правого отделов перикарда едва различимо (стрелки)

Fig. 4. Mine-explosive injury:

*a* – contusion of the lower lobes of the lungs is observed in the posterior lower mediastinum; the pericardium adjacent to the posterior mediastinum is barely visible (indicated by the oval); the right pericardium (solid arrow) and a localized blood collection in the anterior pericardium (dashed arrow) are clearly visible; *b* – the image is noisy due to the patient's forced position and shadowing from the overlapping arms; thickening of the anterior and right pericardium is barely visible (arrows)

Таблица 5

Оценка согласованности результатов между экспертами (выборки содержат 214 действующих объектов и 4 оценивающих)

Table 5

Evaluation of the consistency of results between experts (samples contain 214 active objects and 4 evaluators)

Каппа / Кappa	Асимптотический / Asymptotic			95% доверительный интервал / 95% confidence interval
	Среднеквадратичная ошибка / Root mean square error	B	p	
<i>Признак: отек 1–2 мм / Sign: 1–2 mm edema</i>				
0,441 (умеренное согласие / moderate consistency)	0,028	15,801	<0,001	0,386–0,496
<i>Признак: отек 2–3 мм / Sign: 2–3 mm edema</i>				
0,615 (существенное согласие / substantial consistency)	0,028	22,052	<0,001	0,561–0,670
<i>Признак: кровь / Sign: blood</i>				
0,833 (почти идеальное согласие / almost perfect consistency)	0,028	29,241	<0,001	0,778–0,887
<i>Ушиб есть / Contusion</i>				
0,846 (почти идеальное согласие / almost perfect consistency)	0,028	30,314	<0,001	0,791–0,901
<i>Ушиба нет / No contusion</i>				
0,829 (почти идеальное согласие / almost perfect consistency)	0,028	29,607	<0,001	0,744–0,884

как утолщение листков в пределах 2–3 мм, и геморагическое пропитывание, включая скопление крови. Отеку перикарда соответствует толщина листков перикарда, превышающая 3 мм. Утолщение листков перикарда до 1–2 мм, даже распростра-

няющееся на два отдела и более, не имеет диагностического значения для ушиба перикарда.

Выявление ушиба перикарда методом КТ может определять показания для углубленного исследования внутрикардиальных структур.

## Литература

1. Бисенков Л.Н., Тынянкин Н.А., Саид Х.А. Особенности диагностики и лечения ушибов сердца огнестрельного происхождения. Военно-медицинский журнал. 1992; 4–5: 57–60.
2. Бисенков Л.Н. (ред.) Неотложная хирургия груди. СПб.: Logos; 1995: 309 с.
3. Волков В.Е., Волков С.В. Ранения сердца: состояние проблемы и перспективы. Acta Medica Eurasica. 2017; 1: 17–21.
4. Гуманенко Е.К., Лазарев С.М., Артюхов С.В. и др. Особенности ранения сердца нелетальным кинетическим оружием. Вестник хирургии имени И.И. Грекова. 2015; 174(1): 65–6.
5. Климович А.М., Фрумен А.Г., Береговский Д.А. и др. Минно-взрывные ранения: рентгенологическая и компьютерная томографическая диагностика повреждений конечностей. Российский журнал персонализированной медицины. 2025; 5(3): 230–50. <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2025-5-3-230-250>.
6. Самохвалов И.М., Гаврилин С.В., Кузьмин А.Я. и др. Ушиб сердца при огнестрельных ранениях сердца. Военно-медицинский журнал. 2018; 339(9): 21–8.
7. Феличано Д.В., Маттокс К.Л., Мур Э.Е. Травма Т. 2. М.: Издательство Панфилова, Бином: 2013: 736 с.
8. Adigopula S, Medepalli LC. Gunshot-related cardiac trauma: a multidisciplinary approach using multimodality imaging. JACC Case Rep. 2021; 3(1): 31–3. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2020.12.006>.
9. Leite L, Gonçalves L, Nuno Vieira D. Cardiac injuries caused by trauma: review and case reports. J Forensic Leg Med. 2017; 52: 30–4. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2017.08.013>.
10. Lichtenberger JP, Kim AM, Fisher D, et al. Imaging of combat-related thoracic trauma – blunt trauma and blast lung injury. Mil Med. 2018; 183(3-4): e89–96. <https://doi.org/10.1093/milmed/usx033>.
11. Meyer D, Jessen M, Grayburn P, et al. Use of echocardiography to detect occult cardiac injury after penetrating thoracic trauma: a prospective study. J Trauma. 1995; 39(5): 902–7. <https://doi.org/10.1097/00005373-199511000-00014>.
12. Бисенков Л.Н., Акимов Г.В., Глазников Л.А. и др. Хирургия минно-взрывных ранений. СПб.: Акрополь; 1993: 320 с.
13. Бисенков Л.Н. Хирургия огнестрельных ранений груди. СПб.: Гиппократ; 2000: 306 с.
14. Ивченко Д.Р., Колтович А.П. Факторы танатогенеза при огнестрельных ранениях груди. Медицинский вестник МВД. 2013; 2: 31–5.
15. Durso AM, Caban K, Munera F. Penetrating thoracic injury. Radiol Clin North Am. 2015; 53(4): 675–93. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2015.02.010>.
16. Kotwal RS., Janak JC, Howard JT, et al. United States military fatalities during operation Inherent Resolve and operation Freedom's Sentinel. Mil Med. 2023; 188(9–10): 3045–56. <https://doi.org/10.1093/milmed/usac119>.
17. Lichtenberger JP, Kim AM, Fisher D, et al. Imaging of combat-related thoracic trauma – review of penetrating trauma. Mil Med. 2018; 183(3–4): e81–8. <https://doi.org/10.1093/milmed/usx034>.

## References

1. Bisenkov LN, Tynyankin NA, Said HA. Features of diagnosis and treatment of gunshot cardiac contusions. Military-Medical Journal. 1992; 4–5: 57–60 (in Russ).
2. Bisenkov LN (Ed). Emergency breast surgery. Saint Petersburg: Logos; 1995: 309 pp (in Russ).
3. Volkov VE, Volkov SV. Heart injuries: the problem and perspectives. Acta Medica Eurasica. 2017; 1: 17–21 (in Russ).
4. Gumanenko EK, Lazarev SM, Artyukhov SV, et al. Features of heart injury with non-lethal kinetic weapons. Grekov's Bulletin of Surgery. 2015; 174(1): 65–6 (in Russ).
5. Klimovich AM, Frumen AG, Beregovskii DA, et al. Mine blast injuries: X-ray and computed tomographic diagnostics of limb injuries. Russian Journal for Personalized Medicine. 2025; 5(3): 230–50 (in Russ). <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2025-5-3-230-250>.
6. Samokhvalov IM, Gavrilin SV, Kuzmin AY, et al. Heart contusion in case of gunshot wounds. Military Medical Journal. 2018; 339(9): 21–8 (in Russ).
7. Feliciano DV, Mattox KL, Moore EE. Trauma. Vol. 2. McGraw Hill; 2020: 1434 pp.
8. Adigopula S, Medepalli LC. Gunshot-related cardiac trauma: a multidisciplinary approach using multimodality imaging. JACC Case Rep. 2021; 3(1): 31–3. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2020.12.006>.
9. Leite L, Gonçalves L, Nuno Vieira D. Cardiac injuries caused by trauma: review and case reports. J Forensic Leg Med. 2017; 52: 30–4. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2017.08.013>.
10. Lichtenberger JP, Kim AM, Fisher D, et al. Imaging of combat-related thoracic trauma – blunt trauma and blast lung injury. Mil Med. 2018; 183(3-4): e89–96. <https://doi.org/10.1093/milmed/usx033>.
11. Meyer D, Jessen M, Grayburn P, et al. Use of echocardiography to detect occult cardiac injury after penetrating thoracic trauma: a prospective study. J Trauma. 1995; 39(5): 902–7. <https://doi.org/10.1097/00005373-199511000-00014>.
12. Bisenkov LN, Akimov GV, Glaznikov LA, et al. Surgery of mine-explosive wounds. Saint Petersburg: Akropol; 1993: 320 pp. (in Russ).
13. Bisenkov LN. Surgery of chest gunshot wounds. Saint Petersburg: Gippokrat; 2000: 306 pp (in Russ).
14. Ivchenko DR, Koltovich AP. Factors of thanatogenesis in chest gunshot wounds. Medical Bulletin of the Ministry of Internal Affairs. 2013; 2: 31–5 (in Russ).
15. Durso AM, Caban K, Munera F. Penetrating thoracic injury. Radiol Clin North Am. 2015; 53(4): 675–93. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2015.02.010>.
16. Kotwal RS., Janak JC, Howard JT, et al. United States military fatalities during operation Inherent Resolve and operation Freedom's Sentinel. Mil Med. 2023; 188(9–10): 3045–56. <https://doi.org/10.1093/milmed/usac119>.
17. Lichtenberger JP, Kim AM, Fisher D, et al. Imaging of combat-related thoracic trauma – review of penetrating trauma. Mil Med. 2018; 183(3–4): e81–8. <https://doi.org/10.1093/milmed/usx034>.



# Мультимодальный подход в диагностике артериита Кавасаки

Малов А.А.<sup>1,2,3</sup>, Курбангалеева 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 «Детская республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан»,  
Оренбургский тракт, 140, Казань, 420138, 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

**Малов Алексей Анатольевич**, ассистент кафедры онкологии с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики № 2 ГАУЗ «Детская республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан», преподаватель кафедры радиологии, радиотерапии, радиационной гигиены и радиационной безопасности им. академиков А.С. Павлова и Ф.Г. Кроткова ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0003-3261-9986>

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

## Резюме

**Актуальность.** Синдром Кавасаки – системный васкулит, поражающий преимущественно детей до 5 лет. Особую опасность представляют коронарные аневризмы, развивающиеся у 15–25% нелеченых пациентов и способные приводить к инфаркту миокарда и внезапной сердечной смерти. Внедрение внутривенного иммуноглобулина снизило частоту этого осложнения до 3–5%, однако у 10% больных наблюдается резистентность к терапии. Рост атипичных форм и появление мультисистемного воспалительного синдрома у детей, ассоциированного с COVID-19, повышают значимость точной и своевременной диагностики.

**Цель:** определение роли и места, изучение информативности методов визуализации в диагностике синдрома Кавасаки и его осложнений у детей.

**Материал и методы.** Проведен ретроспективный анализ данных 16 пациентов с диагнозом синдрома Кавасаки (средний возраст  $3,5 \pm 1,8$  года) за 3-летний период с 1 января 2022 г. Эхокардиографию (ЭхоКГ) проводили на ультразвуковом сканере Philips EPIQ 7 с применением датчиков S5-1 (1–5 МГц) и S8-3 (3–8 МГц), оценивали диаметр коронарных артерий и характеристики кровотока. Выполняли компьютерную томографическую ангиографию (КТА) на 640-срезовом томографе Canon Aquilion ONE с болюсным введением контрастного вещества и синхронизацией с электрокардиографией. При подозрении на сопутствующий миокардит отдельным пациентам проводили магнитно-резонансную томографию (МРТ) сердца на аппарате Siemens Aera 1,5 Тл, включавшую получение T1- и T2-взвешенных изображений, а также оценку позднего контрастного усиления миокарда после внутривенного контрастирования.

**Результаты.** ЭхоКГ выполнена всем 16 пациентам, КТА – 7, МРТ сердца – 5. Доля пациентов с развитием коронарных аневризм составила 75% (12 из 16). Наиболее часто наблюдалось сочетанное поражение нескольких артерий (58,3%). Динамическое наблюдение через 6–12 мес выявило в целом благоприятный прогноз: 27,3% средних и 70% малых аневризм остались без динамики или регрессировали. Однако в 10% случаев малых коронарных аневризм отмечено прогрессирование, что подчеркивает необходимость тщательного длительного мониторинга даже за небольшими изменениями. Частота острых кардиальных осложнений (острый коронарный синдром – 18,8%) в нашей когорте указывает на сохраняющийся риск ишемических событий. Различия в размерах аневризм, измеренных с помощью КТА и ЭхоКГ, были статистически незначимы (парный t-критерий Стьюдента:  $t(13)=1,09$ ;  $p=0,297$ ). В то же время КТА выявила критически важные для прогноза и тактики детали, пропущенные на ЭхоКГ: аномалию отхождения правой коронарной артерии, пристеночный тромбоз и кальцинат, а также (в 1 случае) истинную протяженность поражения. У 1 пациента по данным МРТ был верифицирован миокардит: проявления дилатации левого желудочка и снижение сократительной функции, а также признаки отека по T2-типу и отсроченное накопление парамагнитного контрастного вещества характерного некоронарного паттерна.

**Заключение.** ЭхоКГ остается методом выбора в остром периоде в силу раннего возраста детей. КТА наиболее информативна для оценки дистальных отделов коронарных артерий и выявления осложнений

(тромбозов, кальциноза, стеноза), МРТ сердца – для диагностики сочетанного воспалительного процесса. Оптимальная диагностическая стратегия направлена на выявление и динамическое наблюдение изменений и должна основываться на рациональном сочетании этих методов с учетом фазы заболевания и возраста.

**Ключевые слова:** синдром Кавасаки; коронарные аневризмы; эхокардиография; компьютерная томографическая ангиография; магнитно-резонансная томография сердца; миокардит.

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

**Для цитирования:** Малов А.А., Курбангалеева К.Ш. Мультимодальный подход в диагностике артериита Кавасаки. Вестник рентгенологии и радиологии. 2026; 107(1): 26–36. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-26-36>

**Для корреспонденции:** Курбангалеева Камиля Шавкатовна, e-mail: [kamilya.khayrtdinova@mail.ru](mailto:kamilya.khayrtdinova@mail.ru)

Статья поступила 29.12.2025

После доработки 26.01.2026

Принята к печати 31.03.2026

## A Multimodal Approach in the Diagnosis of Kawasaki Disease

Aleksei A. Malov<sup>1,2,3</sup>, Kamilya Sh. Kurbangaleeva<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Children's Republican Clinical Hospital,  
Orenburgsky trakt, 140, Kazan, 420011, Russian Federation

<sup>3</sup> Russian Medical Academy of Continuing Professional Education,  
ul. Barrikadnaya, 2/1, str. 1, Moscow, 123001, Russian Federation

**Aleksei A. Malov**, Assistant Professor, Chair of Oncology with a Course in Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Kazan State Medical University; Radiologist, Department of Radiology Diagnostics No. 2, Children's Republican Clinical Hospital; Lecturer, Chair of Radiology, Radiotherapy, Radiation Hygiene and Radiation Safety, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; <https://orcid.org/0000-0003-3261-9986>

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

### Abstract

**Background.** Kawasaki syndrome is a systemic vasculitis that mainly affects children under 5 years of age. Coronary aneurysms, which develop in 15–25% of untreated patients and can lead to myocardial infarction and sudden cardiac death, are particularly dangerous. The introduction of intravenous immunoglobulin reduced the incidence of this complication to 3–5%, however, 10% of patients show resistance to therapy. The growth of atypical forms and the appearance of multisystem inflammatory syndrome in children associated with COVID-19 increase the importance of accurate and timely diagnosis.

**Objective:** determining the role and place, studying the informative value of imaging methods in the diagnosis of Kawasaki syndrome and its complications in children.

**Material and methods.** For the period of 3 years from January 1, 2022, a retrospective analysis of the data of 16 patients with Kawasaki syndrome (mean age 3.5±1.8 years) was conducted. Echocardiography (EchoCG) was performed on a Philips EPIQ 7 ultrasound scanner using S5-1 (1–5 MHz) and S8-3 (3–8 MHz) sensors. The diameter of the coronary arteries and blood flow characteristics were evaluated. Computed tomography angiography (CTA) was carried out on a Canon Aquilion ONE 640-slice tomograph with bolus contrast agent injection and synchronization with electrocardiography. For suspected concomitant myocarditis, individual patients underwent heart magnetic resonance imaging (MRI) using a Siemens Aera 1.5 T device, which included obtaining T1- and T2-weighted images, as well as assessing late contrast enhancement in myocardium after intravenous injection.

**Results.** EchoCG was performed in all 16 patients, CTA in 7, and heart MRI in 5. The proportion of patients with coronary aneurysms was 75% (12 out of 16). Combined lesion of several arteries was most often observed (58.3%). Dynamic follow-up after 6–12 months revealed a generally favorable prognosis: 27.3% of medium and 70% of small aneurysms remained without dynamics or regressed. However, 10% of small coronary aneurysms progressed, which underscored the need for careful, long-term monitoring of even small changes. The incidence of acute cardiac complications (acute coronary syndrome – 18.8%) in our cohort indicates a continuing risk of ischemic events. The differences in aneurysm sizes measured by CTA and EchoCG were not statistically significant (paired Student's t-test:  $t(13)=1.09$ ;  $p=0.297$ ). At the same

time, CTA revealed details critical for prognosis and tactics that were missed by EchoCG: an anomaly of the right coronary artery, mural thrombosis and calcification, as well as (in 1 case) the true extent of the lesion. Myocarditis was verified in 1 patient according to MRI data, namely, manifestations of left ventricular dilation and decreased contractile function, as well as edema signs by T2-tirm and late gadolinium enhancement, delayed accumulation of paramagnetic contrast agent of a characteristic non-coronary pattern.

**Conclusion.** EchoCG remains the method of choice in the acute period due to the early age of children. CTA is the most informative for assessing the distal sections of the coronary arteries and detecting complications (thrombosis, calcification, stenosis), while heart MRI is used to diagnose a combined inflammatory process. The optimal diagnostic strategy is aimed at detecting and dynamically monitoring the identified changes and should be based on a rational combination of these methods, taking into account the phase of the disease and age.

**Keywords:** Kawasaki syndrome; coronary aneurysms; echocardiography; computed tomography angiography; heart magnetic resonance imaging; myocarditis.

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

**For citation:** Malov AA, Kurbangaleeva KSh. A multimodal approach in the diagnosis of Kawasaki disease. Journal of Radiology and Nuclear Medicine. 2026; 107(1): 26–36 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-26-36>

**For corresponding:** Kamilya Sh. Kurbangaleeva, e-mail: kamilya.khayrtdinova@mail.ru

Received December 29, 2025

Revised January 26, 2026

Accepted March 31, 2026

## Введение / Introduction

Синдром Кавасаки – это острое системное заболевание, которое характеризуется васкулитом средних и мелких артерий и преимущественно поражает детей в возрасте до 5 лет [1]. Патология впервые была описана японским педиатром Томисаку Кавасаки в 1967 г. [2], однако ее этиология до сих пор окончательно не установлена. Существует несколько теорий, объясняющих возможные механизмы возникновения заболевания, среди которых аутоиммунная, инфекционная и генетическая [3–5].

Эпидемиология синдрома Кавасаки демонстрирует выраженные географические и этнические различия, что подтверждает роль генетической предрасположенности. Для населения Восточной Азии характерны экстремально высокие показатели заболеваемости: в Японии (2018 г.) – 359,0 случая на 100 тыс. детей до 5 лет, в Республике Корея – 194,7, на Тайване – 82,8. В странах Европы и США показатели существенно ниже: в среднем 5–25 случаев на 100 тыс. детей данной возрастной группы. В Российской Федерации официальные эпидемиологические данные отсутствуют. Согласно региональному исследованию в Иркутской области (2005–2009 гг.) заболеваемость среди детей до 5 лет составляла 6,6 случая на 100 тыс. [6].

Клиническая картина синдрома Кавасаки характеризуется стадийностью течения. Острая стадия (1–2 нед) проявляется стойкой лихорадкой (>5 дней) в сочетании с основными диагностическими критериями: двусторонней инъекцированностью конъюнктив, эритемой и отеком кистей и стоп, полиморфной сыпью, изменениями слизистой рта (малиновый язык, гиперемия глотки, хейлит, кровоточивость десен) и увеличением шейных лимфоузлов (>1,5 см). Главная опасность этой фазы –

развитие васкулита коронарных артерий с риском формирования аневризм [7]. В подострой стадии (2–3 нед) системное воспаление стихает, но риск сосудистых осложнений остается высоким. Характерно шелушение кожи пальцев, особенно в области ногтевых лож. На этом этапе наиболее вероятно прогрессирование поражения коронарных артерий и формирование аневризм, что требует тщательного мониторинга. На стадии выздоровления (6–8 нед) происходит постепенная нормализация всех симптомов [4].

У 15–25% нелеченых пациентов развиваются аневризмы коронарных артерий [8], что представляет собой наиболее серьезное осложнение болезни, способное приводить к инфаркту миокарда, хронической ишемической болезни сердца (ИБС) и внезапной сердечной смерти [9]. Аневризмы динамично развиваются в течение болезни, достигая максимальных размеров к 6-й неделе от начала заболевания [8]. Риск инфаркта миокарда вследствие тромбоза коронарных артерий наиболее высок в первые 2 года после начала заболевания, хотя стеноз и окклюзия могут прогрессировать в течение многих лет [8, 10].

Введение высокодозного внутривенного иммуноглобулина (ВВИГ) в 1980-х гг. радикально изменило прогноз болезни Кавасаки, снизив частоту коронарных аневризм с 25% до 3–5% при назначении в первые 10 дней заболевания [11, 12]. В течение 2 лет после начала лечения регресс коронарных аневризм происходит у 75% пациентов [13]. Важно отметить, что в 10–20% случаев развивается резистентность к ВВИГ [14], что служит прямым показанием для назначения альтернативных схем лечения, включающих метилпреднизолон, инфликсимаб, циклоспорин А, метотрексат, плазмаферез [12] и анакинру [15].

В диагностике болезни Kawasaki эхокардиография (ЭхоКГ) является методом первого выбора для первоначальной оценки и динамического наблюдения за коронарными артериями. Ее применение в педиатрической практике оптимально, поскольку метод неинвазивен, не несет лучевой нагрузки и в большинстве случаев не требует седации, что особенно важно для детей младшего возраста. Для стандартизации оценки выявленных аневризм в клинической практике и исследованиях применяются две основные классификации. Абсолютная шкала, традиционно используемая в Японии, подразделяет аневризмы на малые ( $\leq 4$  мм), средние ( $4 < Z \leq 8$  мм) и гигантские ( $> 8$  мм). Z-шкала, рекомендованная Американской кардиологической ассоциацией, учитывает площадь поверхности тела пациента, что позволяет минимизировать погрешность, связанную с ростом ребенка: малые ( $2,5 \leq Z < 5$ ), средние ( $5 \leq Z < 10$ ) и гигантские ( $Z \geq 10$ ) аневризмы [16]. Z-балл описывает, сколько стандартных отклонений выше или ниже размера или возраста конкретной популяции имеет данное измерение. Z-значения стандартизированы только для проксимальных сегментов основных коронарных артерий, поэтому абсолютная шкала сохраняет свою полезность для оценки периферических ветвей [17]. Возможности ЭхоКГ в точной оценке дистальных отделов коронарного русла, стенозов, окклюзий и кальциноза (ключевых предикторов отдаленного неблагоприятного прогноза) ограничены [18].

Компьютерная томографическая ангиография (КТА), обладая высоким пространственным разрешением, признана неинвазивным «анатомическим эталоном» для детальной визуализации коронарной анатомии [19]. Несмотря на это, ее роль в алгоритмах обследования при синдроме Kawasaki четко не определена. В то же время накопленные данные указывают на ее высокую диагностическую ценность в отсроченном периоде, особенно у пациентов групп высокого риска [18]. Отсутствуют унифицированные критерии, определяющие показания, оптимальные сроки и периодичность проведения КТА у детей с различными исходами синдрома Kawasaki, что и формирует актуальную исследовательскую проблему.

**Цель** – определение роли и места, изучение информативности методов визуализации в диагностике синдрома Kawasaki и его осложнений у детей.

## Материал и методы / Material and methods

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- формирование оптимальных протоколов сканирования;
- сравнение диагностических возможностей ЭхоКГ, КТА и магнитно-резонансной томографии (МРТ) сердца;

– выработка практических рекомендаций по применению методов визуализации у детей с синдромом Kawasaki.

Ретроспективное когортное исследование проведено на базе ГАУЗ «Детская республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан» за период с 1 января 2022 г. по 30 мая 2025 г. В исследование включены 16 пациентов детского возраста (7 мальчиков, 9 девочек) с верифицированным диагнозом синдрома Kawasaki, средний возраст составил  $3,5 \pm 1,8$  года. Всем больным проводили комплексное ультразвуковое исследование коронарных артерий с использованием ультразвукового сканера Philips EPIQ 7, оснащенного специализированными датчиками S5-1 (1–5 МГц) и S8-3 (3–8 МГц). Оценивали диаметр проксимальных сегментов коронарных артерий при ультразвуковом сканировании в В-режиме с последующей импульсно-волновой доплерографией и цветовым доплеровским картированием. Критерием патологии считали увеличение диаметра артерии  $\geq 2,5$  по Z-шкале или в 1,5 раза от возрастной нормы.

В отсроченном периоде (6–12 мес и далее ежегодно) выполняли мультиспиральную КТА на 640-срезовом томографе Canon Aquilion ONE по стандартизированному протоколу объемного режима сканирования с болюсным введением йодо-содержащего контраста (Ультравист, 370 мг/мл) со скоростью 2–3 мл/с (с учетом возраста и антропометрических данных) при синхронизации с электрокардиографией с получением конечной диастолической и систолической фаз (алгоритм Best Phase с автоматическим определением в зависимости от ритма) по следующим показаниям: персистирование коронарной аневризмы или прогрессирование ее размера, наличие клинических симптомов, указывающих на ишемию миокарда, патологические изменения, выявленные при проведении неинвазивных нагрузочных тестов и ЭхоКГ, а также наличие стойких значительных изменений на электрокардиограмме в покое. Ключевые преимущества объемного сканирования включают высокое пространственное разрешение, обеспечивающее детальную визуализацию коронарных артерий, минимальные артефакты движения, сверхбыстрое сканирование (около 1,5 с для зоны протяженностью до 16 см) без движения стола за одно сокращение сердца и, как следствие, низкую лучевую нагрузку, что особенно важно при обследовании детей.

Принцип болюсного сканирования подразумевает введение контраста и достижение им необходимого уровня плотности в целевом сосуде, после чего старт сканирования может происходить автоматически с помощью области интереса (region of interest, ROI). Данный метод позволяет провести пофазное сканирование и получить изображения

артериальной, паренхиматозной и венозной фаз. Параметры сканирования адаптировали под антропометрические данные пациента с последующими мультипланарной реконструкцией изображений и объемным рендерингом.

При наличии клинико-электрофизиологических данных за возможное сопутствующее течение миокардита отдельным пациентам проводили комплексное МРТ-исследование сердца на магнитно-резонансном томографе Siemens Aera 1,5 Тл с использованием стандартной грудной катушки или гибкой катушки Flex. Стандартный протокол включал последовательное выполнение следующих режимов сканирования: короткоимпульсные последовательности T1w-TSE/T2w-TSE (STIR), импульсные последовательности градиентного эхо-кино-MPT в режиме SSFP (TE 1,6 мс, TR 3,2 мс, толщина среза 8 мм) в стандартных проекциях (4-камерная, 2-камерная, короткая ось), T2-взвешенные изображения с подавлением сигнала от жировой ткани (TE 75 мс, TR 2000 мс, толщина среза 8 мм), а также позднее контрастирование миокарда через 5–10 мин после внутривенного введения парамагнитного контрастного препарата Гадовист (Bayer Pharma AG, Германия) концентрацией 1 ммоль/мл в дозе 0,1 мл/кг массы тела с индивидуальным подбором инверсионного времени (обычно 250–300 мс).

Критериями исключения миокардита служили отсутствие очаговой гиперинтенсивности на T2-взвешенных изображениях и отсутствие зон патологического накопления контраста при позднем контрастировании согласно критериям Lake Louise Criteria 2009 г. Полученные данные подвергали статистической обработке с использованием пакета Past версии 4.12.

## Результаты / Results

Проведен анализ данных 16 пациентов с синдромом Kawasaki – 7 мальчиков (43,7%) и 9 девочек (56,3%). Средний возраст дебюта заболевания составил  $3,5 \pm 1,8$  года. Возраст пациентов варьировался от 6 мес до 6 лет 2 мес. Частота встречаемости синдрома Kawasaki в различных возрастных группах представлена на рисунке 1.

Первичная ЭхоКГ выявила отсутствие дилатации коронарных артерий у 4 (25%) пациентов, изолированное расширение правой коронарной артерии – у 1 (6,3%), левой коронарной артерии – у 3 (18,8%), сочетанное двустороннее поражение – у 4 (25%), передней межжелудочковой, левой коронарной и правой коронарной артерий – у 2 (12,5%), передней межжелудочковой и правой коронарной артерий – у 1 (6,3%), изолированное расширение огибающей артерии – у 1 (6,3%).

На момент первичной диагностики зарегистрировано 21 аневризматическое расширение,

включая 11 (52,4%) аневризм среднего размера и 10 (47,6%) аневризм малого размера. При динамическом контроле через 6–12 мес зафиксированы стабильность размеров средних аневризм в 6 (54,5%) случаях, их полный регресс – в 1 (9,1%), уменьшение до малых размеров – в 2 (18,2%). Среди малых аневризм отмечены стабильность в 4 (40%) наблюдениях, полный регресс – в 3 (30%), прогрессирование до средних размеров – в 1 (10%). Количество, размеры аневризм и их динамика на фоне лечения отражены в таблице 1.

Осложнения со стороны сердечно-сосудистой системы включали острый коронарный синдром в 18,8% случаев, миокардит – в 6,3%, перикардит – в 6,3%.

В отсроченном периоде 7 пациентам проведена КТА по следующим показаниям: персистенция коронарной аневризмы или прогрессирование ее размера по результатам ЭхоКГ, наличие клинических симптомов, указывающих на ишемию миокарда, патологические изменения, выявленные при проведении неинвазивных нагрузочных тестов и ЭхоКГ, а также наличие стойких значительных изменений на электрокардиограмме в покое.

Сравнительный анализ данных КТА и предшествующей ЭхоКГ показал полную корреляцию в классификации размеров аневризм в большинстве случаев, за исключением 1 наблюдения, где выявлено расхождение. Результаты представлены в таблице 2.

Сравнительный анализ парных измерений диаметра коронарных аневризм у детей, перенесших синдром Kawasaki, методами ЭхоКГ и КТА позволяет сделать следующие выводы:

- представленные данные в первой и второй группах не противоречат нормальному распределению (критерий Шапиро–Уилка  $W(14)=0,96$ ;  $p=0,71$  и  $W(14)=0,95$ ;  $p=0,59$  соответственно);
- различия в размерах аневризм, измеренных с помощью КТА и ЭхоКГ, статистически незна-

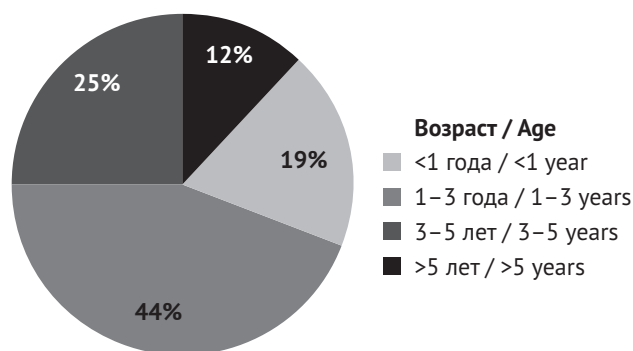


Рис. 1. Возрастное распределение пациентов с синдромом Kawasaki

Fig. 1. Age distribution of patients with Kawasaki syndrome

## Распределение аневризматических расширений по артериальным бассейнам и их диаметры до и после лечения

Table 1

## Distribution of aneurysmal dilatations across arterial basins and their diameters before and after treatment

Локализация / Localization	Число случаев, n / Number of cases, n	Размер аневризмы, мм / Aneurysm size, mm			
		В острую фазу / Acute phase		В период выздоровления / Recovery period	
		Средняя / Medium	Малая / Small	Средняя / Medium	Малая / Small
Левая коронарная артерия / Left coronary artery	3	0	3	1	1
Правая коронарная артерия / Right coronary artery	1	1	0	1	0
Левая коронарная артерия + правая коронарная артерия / Left coronary artery + right coronary artery	4	6	2	2	1
Передняя межжелудочковая артерия + правая коронарная артерия / Anterior interventricular artery + right coronary artery	1	2	0	2	0
Передняя межжелудочковая артерия + левая коронарная артерия + правая коронарная артерия / Anterior interventricular artery + left coronary artery + right coronary artery	2	2	4	1	4
Огибающая артерия / Circumflex artery	1	0	1	0	0

Примечание. Средняя аневризма  $5 \leq Z < 10$  мм, малая аневризма  $\geq 2,5 \leq Z < 5$  мм.

Note. Medium aneurysm  $5 \leq Z < 10$  mm, small aneurysm  $\geq 2,5 \leq Z < 5$  mm.

чимы (парный t-критерий Стьюдента  $t(13)=1,09$ ;  $p=0,297$ ); при измерении методом КТА размер аневризм в среднем был на 0,09 мм меньше (95% доверительный интервал  $-0,09...+0,28$  мм); обнаружена сильная положительная, статистически высокозначимая связь между размерами аневризмы, измеренными методами КТА и ЭхоКГ (коэффициент корреляции Пирсона  $r=0,96$ ;  $p<0,001$ ).

ЭхоКГ продемонстрировала высокую надежность как метод скрининга и динамического наблюдения за коронарными аневризмами малого и среднего калибров, показав отличную корреляцию с КТА, однако КТА расширила диагностические данные, выявив следующие признаки, пропущенные при ЭхоКГ:

- аномалия отхождения (аномальное отхождение правой коронарной артерии от левого коронарного синуса);
- пристеночные изменения (формирование тромбоза и кальцината в стенке аневризмы);
- неточность морфометрии (значительная недооценка протяженности аневризмы – 8,5 мм по ЭхоКГ против 20,6 мм по КТА).

### Обсуждение / Discussion

ЭхоКГ подтвердила свою роль в качестве метода первого выбора у детей раннего возраста благодаря безопасности, доступности и высо-

кой информативности при оценке проксимальных отделов коронарных артерий [20]. Возрождение интереса к неинвазивной оценке коронарной гемодинамики связано с прогрессом в развитии ультразвуковых технологий, включая внедрение высокочастотных трансторакальных датчиков, технологии второй тканевой гармоники и разработку современных эхоконтрастных препаратов. Эти достижения позволили значительно улучшить качество визуализации магистральных коронарных артерий при стандартной трансторакальной ЭхоКГ [20]. В частности, применение эхоконтрастных препаратов повышает частоту успешной визуализации дистального сегмента передней нисходящей коронарной артерии до 90–100% и задней межжелудочковой артерии – до 70–80%, хотя огибающая артерия визуализируется лишь в 30–33% случаев [21]. Несмотря на значительные успехи, трансторакальная ЭхоКГ остается ограниченной в оценке анатомических изменений коронарного русла из-за фрагментарной визуализации магистральных коронарных артерий и не может рассматриваться как альтернатива методам, обеспечивающим полную анатомическую детализацию, таким как коронарная ангиография или мульти-спиральная КТ [21].

Диагностическая ценность ЭхоКГ в острой стадии синдрома Кавасаки выходит за рамки по-

## Сравнительный анализ данных эхокардиографии (ЭхоКГ) и компьютерной томографической ангиографии (КТА)

Table 2

## Comparative analysis of echocardiography (EchoCG) and computed tomography angiography data (CTA)

Пациент / Patient	Локализация аневризмы / Aneurysm localization	Размер аневризмы, мм / Aneurysm size, mm	
		ЭхоКГ / EchoCG	КТА / CTA
1	Передняя межжелудочковая артерия / Anterior interventricular artery	4,1	4,5
	Левая коронарная артерия / Left coronary artery	3,1	3,2
	Правая коронарная артерия / Right coronary artery	3,7	3,5
2	Левая коронарная артерия / Left coronary artery	3,9	4,3
	Правая коронарная артерия / Right coronary artery	3,6	3,2
3	Левая коронарная артерия / Left coronary artery	5,0	4,7
	Правая коронарная артерия / Right coronary artery	5,0	4,5
4	Левая коронарная артерия / Left coronary artery	3,3	3,5
5	Передняя межжелудочковая артерия / Anterior interventricular artery	5,9	5,2
	Правая коронарная артерия / Right coronary artery	5,6	5,5
6	Левая коронарная артерия / Left coronary artery	3,0	3,0
	Правая коронарная артерия / Right coronary artery	2,0	1,8
	Передняя межжелудочковая артерия / Anterior interventricular artery	3,0	3,0
7	Правая коронарная артерия / Right coronary artery	4,9	4,9

иска сформировавшихся аневризм, которые редко образуются до 10-го дня болезни. Метод критически важен для выявления ранних признаков активного коронарита, проявляющихся периваскулярной яркостью и эктазией [17]. Ключевым аспектом патогенеза болезни Kawasaki наряду с васкулитом является острый миокардит (ее частое и клинически значимое проявление в острой фазе заболевания) [22], причем его выраженность не всегда совпадает со степенью поражения коронарных артерий [6]. Поскольку перикардит может быть связан с васкулитом и миокардитом, следует также отмечать наличие или отсутствие перикардального выпота, а для оценки клапанной регургитации (чаще митральной) проводить стандартное импульсное и цветное доплеровское исследование.

Для детальной визуализации воспалительного поражения миокарда, выраженность которого не всегда коррелирует с тяжестью коронарных изменений [6], методом выбора является МРТ сердца с контрастным усилением, позволяющая оценить отек, перфузию и формирование фиброза. В качестве клинической иллюстрации на рисунке 2 демонстрируются МРТ-признаки острого

миокардита, диагностированного у одного из наблюдавшихся нами пациентов в дебюте болезни Kawasaki.

Важно подчеркнуть, что нормальная ЭхоКГ в начале заболевания не исключает последующего развития коронарных аневризм [8, 9]. Это обуславливает необходимость динамического наблюдения: рекомендуется повторное исследование через 1–2 нед и через 4–6 нед после лечения. Пациентам с исходными Z-показателями  $\geq 2,5$  или клиническими признаками высокого риска (например, персистирующей лихорадкой, резистентностью к ВВИГ, желудочковой дисфункцией, перикардальным выпотом или клапанной регургитацией) требуется более частая ЭхоКГ-оценка для определения тактики лечения [8]. При этом повторная ЭхоКГ, проведенная через 1 год после начала заболевания, вряд ли выявит новые расширения коронарных артерий у пациентов, данные которых были нормальными через 4–8 нед, что оптимизирует график долгосрочного наблюдения [17]. Однако, согласно исследованиям, несмотря на видимый регресс мелких и средних аневризм коронарных артерий, в сосудистой стенке сохраняются хроническое воспаление, структурные из-

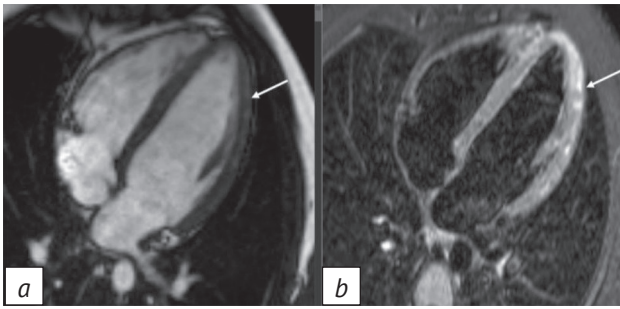


Рис. 2. Результаты магнитно-резонансной томографии сердца, картина острого миокардита (отношение сигнала миокард / скелетная мышца 2,5 (норма до 1,8) указано стрелками):

*a* – TrueFisp Cine, 4-камерная проекция левого желудочка (ЛЖ): ЛЖ не увеличен, не утолщен, фракция выброса ЛЖ 60%, локальная зона гипокинезии и характерная субэпикардальная гидрофильность передней, боковой стенок ЛЖ; *b* – в T2 STIR диффузные зоны отека преимущественно передней, боковой стенок ЛЖ

*Fig. 2.* Heart magnetic resonance imaging, acute myocarditis (the myocardium/skeletal muscle signal ratio 2.5 (normal to 1.8) is indicated by arrows):

*a* – TrueFisp Cine, left ventricle (LV) 4-chamber projection: LV is neither enlarged nor thickened, LV ejection fraction 60%, local hypokinesia zone and characteristic subepicardial hydrophilicity of the LV anterior and lateral walls; *b* – in T2 STIR, diffuse edema zones mainly of the LV anterior and lateral walls

менения (утолщение интимы) и функциональные нарушения, которые могут прогрессировать [9].

Современные исследования подтверждают, что КТА и ЭхоКГ демонстрируют высокую согласованность измерений проксимальных сегментов коронарных артерий с коэффициентом корреляции  $>0,90$  [23, 24]. Вследствие ограничений ЭхоКГ в оценке дистальных сегментов [18] регистрируется систематическое завышение (на 24%) диаметра аневризм в сравнении с КТА [23]. Для выявления и точной характеристики диаметра аневризм дистальных сегментов и предикторов ИБС (стеноза, кальциноза и тромбоза) КТА становится незаменимым инструментом диагностики в отсроченном периоде.

Стенотические поражения, формирующиеся спустя месяцы и годы после острой фазы, встречаются в 4–20% случаев, причем их вероятность имеет прямую корреляцию с исходным размером аневризмы [22, 25]. Критическим диаметром, ассоциированным со значимым риском прогрессирующего стенозирования, является значение  $\geq 6$  мм, а максимальная частота осложнений (до 74% в течение 15 лет) наблюдается при гигантских аневризмах ( $>8$  мм) [22, 25, 26].

Не менее важной находкой КТА явилось выявление кальцинозов стенок коронарных артерий. Одним из известных предикторов ИБС, в том числе у пациентов, перенесших болезнь Kawasaki, служит выраженность кальциноза коронарных арте-

рий. Международные популяционные исследования подтверждают взаимосвязь между уровнем коронарного кальция и риском острых сердечно-сосудистых событий [27]. У детей с синдромом Kawasaki кальцификация представляет собой маркер хронического повреждения сосудистой стенки вследствие перенесенного васкулита. Этот процесс – результат ремоделирования артерий на фоне воспаления, приводящего к деструкции меди, формированию аневризм и последующему фиброзно-кальцинирующему заживлению [24].

Конечным и наиболее грозным проявлением этого патологического каскада служит инфаркт миокарда. Долгосрочные исследования показывают, что до 73% инфарктов происходит в первый год после дебюта синдрома Kawasaki, что связано преимущественно с тромботической окклюзией на фоне воспаленной и измененной сосудистой стенки [25, 28]. Высокая летальность при повторных событиях и формирование у выживших стойкой постинфарктной сердечной недостаточности [12, 22, 25, 29] делают императивом максимально точную и своевременную диагностику предикторов ишемии. Следовательно, возникает объективная необходимость в методе, способном преодолеть анатомические ограничения ЭхоКГ и визуализировать ключевые предикторы катастрофы: гемодинамически значимые стенозы, пристеночные тромбы и кальциноз.

Таким образом, проведение КТА в отсроченном периоде логически обосновано тремя ключевыми причинами. Во-первых, к 6-й неделе аневризмы достигают максимальных размеров и их морфология стабилизируется, поэтому исследование, выполненное ранее, не отражает окончательной, клинически значимой анатомии поражения. Во-вторых, в первые 1–2 мес приоритетные диагностические задачи (верификация артериита, выявление миокардита, мониторинг формирования аневризм) эффективно решаются с помощью безопасной и воспроизводимой ЭхоКГ, не требующей седации или облучения. В-третьих, КТА наиболее информативна для выявления поздних осложнений (стеноз, тромбоз, кальциноз), которые становятся гемодинамически значимыми и приводят к симптомам ишемии лишь спустя месяцы после стихания острого воспаления.

Проведенное исследование подтверждает сложившуюся клиническую парадигму двухэтапной диагностики. ЭхоКГ демонстрирует достаточную точность для мониторинга известных аневризм, обосновывая свою роль как метода первого выбора для динамического наблюдения. Однако, как показано, ее диагностические возможности принципиально ограничены в оценке сложной анатомии и пристеночных осложнений (рис. 3). Одним из прямых следствий этих ограни-

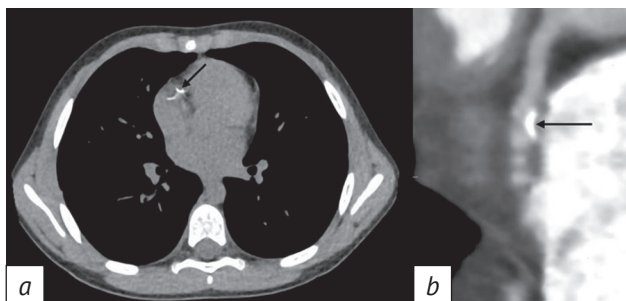


Рис. 3. Результаты визуализации:

*a* – на аксиальной компьютерной томографической ангиографии в проекции правой коронарной артерии визуализируется гиперденсный (высокоплотный) очаг неправильной формы с четкими контурами (плотность >130 HU), характерный для кальцината (стрелка); *b* – на коронарной реконструкции в просвете правой коронарной артерии определяется пристеночно расположенный кальцинат (стрелка)

Fig. 3. Visualization results:

*a* – axial computed tomography angiography in the projection of the right coronary artery shows a hyperdense (high-density) irregular focus with clear contours (density >130 HU), characteristic of calcinate (arrow); *b* – during coronary reconstruction, calcinate located near the wall is determined in the lumen of the right coronary artery (arrow)

чений стала некорректная оценка протяженности аневризматического расширения, обусловленная фрагментарным изображением коронарной артерии (рис. 4, 5). Ярким примером подобных ограничений, имеющих критическое клиническое значение, является диагностика аномалий отхождения коронарных артерий (рис. 6).

Несмотря на низкую распространенность ( $\approx 0,64\%$ ), выявление аномалий отхождения коронарных артерий представляет значительную клиническую ценность. Большинство таких случаев не сопровождаются клиническими проявлениями, однако ряд из них ассоциирован с развитием стенокардии, одышки, синкопальных состояний, острого инфаркта миокарда и внезапной сердечной смерти. В частности, аномальное отхождение правой коронарной артерии от левого синуса Вальсальвы, ранее считавшееся доброкачественной находкой, в настоящее время признано потенциальной причиной атипичного болевого синдрома в грудной клетке, ишемии миокарда и риска внезапной смерти [30]. Такие аномалии часто остаются недиагностированными при рутинной ЭхоКГ из-за ограниченной чувствительности метода [30, 31].

### Заключение / Conclusion

ЭхоКГ остается основным методом первичной диагностики и динамического наблюдения за коронарными артериями при болезни Kawasaki у детей раннего возраста, что обусловлено ее не-

инвазивностью, доступностью и высокой информативностью в оценке проксимальных отделов. Однако для комплексной оценки коронарного русла и сопутствующих осложнений требуется мультимодальный диагностический подход.

В остром периоде ЭхоКГ является методом выбора благодаря возможности проведения у постели больного и отсутствию лучевой нагрузки. Для динамического наблюдения, особенно при необходимости оценки дистальных отделов коронарных артерий, выявления тромбозов, стенозов и кальцинатов, наиболее информативным методом служит КТА, обеспечивающая высокое пространственное разрешение.

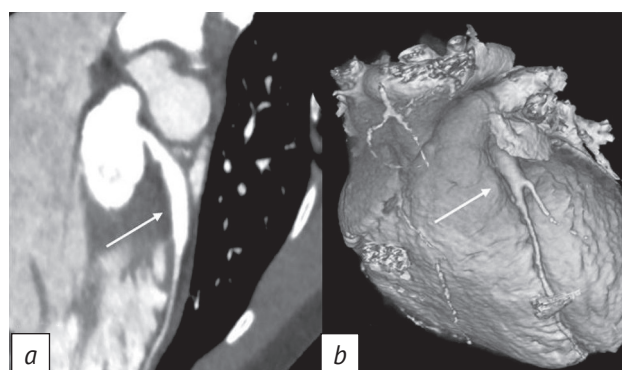


Рис. 4. Компьютерная томографическая ангиография, аневризматическое расширение левой коронарной артерии (эктазия) протяженностью 20,7 мм указано стрелками: *a* – мультипланарная реконструкция; *b* – 3D-рендеринг (объемная реконструкция)

Fig. 4. Computed tomography angiography, aneurysmal dilation of the left coronary artery (ectasia) with a length of 20.7 mm is indicated by arrows: *a* – multiplanar reconstruction; *b* – 3D rendering (volumetric reconstruction)

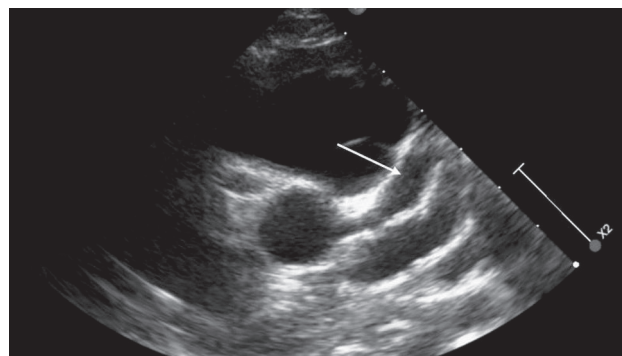


Рис. 5. Эхокардиографическая оценка (В-режим) проксимальных сегментов коронарных артерий. Длина аневризматического расширения левой коронарной артерии (стрелка) составляет 8,5 мм

Fig. 5. Echocardiographic evaluation (B-mode) of the proximal segments of the coronary arteries. The length of the aneurysmal dilation of the left coronary artery (arrow) is 8.5 mm

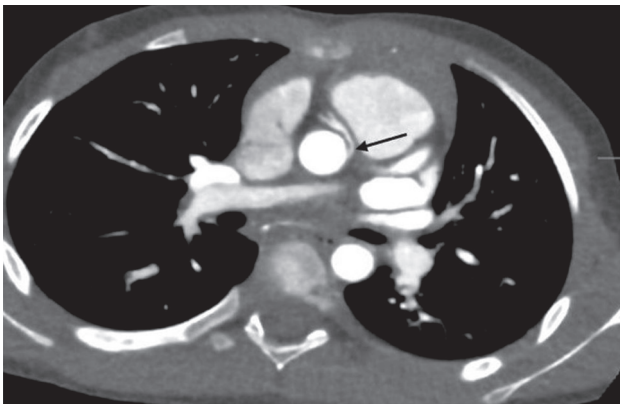


Рис. 6. Компьютерная томографическая ангиография, аксиальная проекция. Аномальное отхождение правой коронарной артерии от левого коронарного синуса

Fig. 6. Computed tomography angiography, axial projection. Abnormal divergence of the right coronary artery from the left coronary sinus

С целью оптимальной визуализации проксимального коронарного русла целесообразно использовать мультисрезовые КТ-сканеры с возможностью объемного сканирования. Данные аппараты позволяют минимизировать лучевую нагрузку, объем вводимого контрастного вещества и чувствительность к артефактам высокого пульса – особенно в педиатрической практике. МРТ сердца играет важную роль в диагностике миокардита.

Таким образом, оптимальная диагностическая стратегия при болезни Kawasaki должна основываться на рациональном сочетании методов визуализации с учетом их преимуществ и ограничений, клинической фазы заболевания и индивидуальных особенностей пациента. Это позволяет достичь максимальной диагностической эффективности при минимальных рисках.

## Литература [References]

- Gkoutzourelas A, Bogdanos DP, Sakkas LI. Kawasaki disease and COVID-19. *Mediterr J Rheumatol*. 2020; 31(Suppl 2): 268–74. <https://doi.org/10.31138/mjr.31.3.268>.
- Rigante D. Kawasaki disease as the immune-mediated echo of a viral infection. *Mediterr J Hematol Infect Dis*. 2020; 12(1): e2020039. <https://doi.org/10.4084/MJHID.2020.039>.
- Medaglia AA, Siracusa L, Gioè C, et al. Kawasaki disease recurrence in the COVID-19 era: a systematic review of the literature. *Ital J Pediatr*. 2021; 47(1): 95. <https://doi.org/10.1186/s13052-021-01041-4>.
- Гедике Г., Хотам П., Хайнкинг Б. Болезнь Kawasaki – новые данные. *Вопросы современной педиатрии*. 2010; 9(1): 104–15. [Gaedicke G, Hotama P, Heineking B. Kawasaki disease – an update. *Current Pediatrics*. 2010; 9(1): 104–15 (in Russ).]
- Брегель Л.В., Субботин В.М., Белозеров Ю.М. Этиология болезни Kawasaki. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*. 2002; 4(3): 239–47. [Bregel LV, Subbotin VM, Belozеров YuM. Aetiology of Kawasaki disease. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy*. 2002; 4(3): 239–47 (in Russ).]
- Самедова А.Г., Трифонова Л.В., Голованова Н.Ю. Болезнь Kawasaki: эпидемиология, клиническая картина и оценка качества жизни детей. *Доктор.Ру*. 2025; 24(7): 81–6. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2025-24-7-81-86>. [Samedova AG, Trifonova LV, Golovanova NYu. Kawasaki disease: epidemiology, clinical presentation and quality of life assessment in children. *Doctor.Ru*. 2025; 24(7): 81–6 (in Russ). <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2025-24-7-81-86>.]
- Tai IH, Hsieh KS, Kuo HC. Beaded coronary aneurysm in Kawasaki disease. *Children*. 2022; 9(10): 1463. <https://doi.org/10.3390/children9101463>.
- Newburger JW, Takahashi M, Burns JC. Kawasaki disease. *J Am Coll Cardiol*. 2016; 67(14): 1738–49. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.12.073>.
- Zhang D, Liu L, Huang X, Tian J. Insights into coronary artery lesions in Kawasaki disease. *Front Pediatr*. 2020; 8: 493. <https://doi.org/10.3389/fped.2020.00493>.
- Gordon JB, Daniels LB, Kahn AM, et al. The Spectrum of cardiovascular lesions requiring intervention in adults after Kawasaki disease. *JACC Cardiovasc Interv*. 2016; 9(7): 687–96. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2015.12.011>.
- Barman P, Pitalia RK, Cv G, et al. Treatment intensification in Kawasaki disease – current perspectives. *Expert Rev Clin Immunol*. 2024; 20(10): 1179–91. <https://doi.org/10.1080/1744666X.2024.2378900>.
- Кирилина С.А. Синдром Kawasaki у детей – актуальное. *Практика педиатра*. 2021; 4: 5–11. [Kirilina SA. Kawasaki syndrom in children – current. *Pediatrician's Practice*. 2021; 4: 5–11 (in Russ).]
- Friedman KG, Gauvreau K, Hamaoka-Okamoto A, et al. Coronary artery aneurysms in Kawasaki disease: risk factors for progressive disease and adverse cardiac events in the US population. *J Am Heart Assoc*. 2016; 5(9): e003289. <https://doi.org/10.1161/JAHA.116.003289>.
- Lee SM, Lee JB, Go YB, et al. Prediction of resistance to standard intravenous immunoglobulin therapy in kawasaki disease. *Korean Circ J*. 2014; 44(6): 415–22. <https://doi.org/10.4070/kcj.2014.44.6.415>.
- Ferrara G, Giani T, Caparello MC, et al. Anakinra for treatment-resistant Kawasaki disease: evidence from a literature review. *Paediatr Drugs*. 2020; 22(6): 645–52. <https://doi.org/10.1007/s40272-020-00421-3>.
- Yeo KK, Fukazawa R, Ayusawa M, et al. Asian Pacific Society of Cardiology consensus statement on management of coronary artery disease in adults with late complications of Kawasaki disease. *J Asian Pac Soc Cardiol*. 2023; 2: e34. <https://doi.org/10.15420/japsc.2022.30>.
- Newburger JW, Takahashi M, Gerber MA, et al. Diagnosis, treatment, and long-term management of Kawasaki disease: a statement for health professionals from the Committee on Rheumatic Fever, Endocarditis, and Kawasaki Disease, Council on Cardiovascular Disease in the Young, American Heart Association. *Pediatrics*. 2004; 114(6): 1708–33. <https://doi.org/10.1542/peds.2004-2182>.
- Bang JS, Kim GB, Kwon BS, et al. Long-term prognosis for patients with Kawasaki disease complicated by large coronary aneurysm (diameter  $\geq 6$  mm). *Korean Circ J*. 2017; 47(4): 516–22. <https://doi.org/10.4070/kcj.2016.0163>.
- Matta AG, Yaacoub N, Nader V, et al. Coronary artery aneurysm: a review. *World J Cardiol*. 2021; 13(9): 446–55. <https://doi.org/10.4330/wjcv.13.9.446>.
- Агаева З.А., Багдасарян К.А. Методологические аспекты ви-

- зуализации коронарных артерий при трансторакальной эхокардиографии. Медицинская визуализация. 2018; 22(1): 26–35. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2018-1-26-35>. [Agaeva ZA, Baghdasaryan KB. Methodological aspects of visualization of coronary arteries with transthoracic echocardiography. *Medical Visualization*. 2018; 22(1): 26–35 (in Russ). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2018-1-26-35>.]
21. Карпов Р.С., Бощенко А.А., Врублевский А.В. Трансторакальное ультразвуковое исследование магистральных коронарных артерий. Доктор.Ру. 2013; 2: 16–25. [Karpov RS, Boshchenko AA, Vrublevsky AV. Transthoracic ultrasound imaging of main coronary arteries. *Doctor.Ru*. 2013; 2: 16–25 (in Russ).]
22. Леонтьева А.А., Ширинская О.Г., Лыскина Г.А., Подчерняева Н.С. Поражение сердца и коронарных артерий при синдроме Кавасаки. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2014; 59(6): 25–31. [Leontyeva AA, Shirinskaya OG, Lyskina GA, Podchernyaeva NS. Heart and coronary artery damage related to Kawasaki syndrome. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2014; 59(6): 25–31 (in Russ).]
23. Gellis L, Castellanos DA, Oduor R, et al. Comparison of coronary artery measurements between echocardiograms and cardiac CT in Kawasaki disease patients with aneurysms. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2022; 16(1): 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2021.09.002>.
24. Chao BT, Wang XM, Wu LB, et al. Diagnostic value of dual-source CT in Kawasaki disease. *Chin Med J (Engl)*. 2010; 123(6): 670–4.
25. Ширинская О.Г., Лыскина Г.А., Бокерия О.Л. и др. Синдром Кавасаки с поражением сердечно-сосудистой системы: отдаленные последствия. Вопросы современной педиатрии. 2013; 12(4): 92–103. <https://doi.org/10.15690/vsp.v12i4.735>. [Shirinskaya OG, Lyskina GA, Bokeriya OL, et al. Kawasaki syndrome with involvement of cardiovascular system: long-term consequences. *Current Pediatrics*. 2013; 12(4): 92–103 (in Russ). <https://doi.org/10.15690/vsp.v12i4.735>.]
26. Werner O, Pommier V, Guillaumont S, Vincenti M. Multimodal imaging for cardiac follow-up and management of giant coronary aneurysm related to Kawasaki disease in childhood: a case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2023; 7(10): ytad495. <https://doi.org/10.1093/ehjcr/ytad495>.
27. Николаев А.Е., Шапиев А.Н., Блохин И.А. и др. Новые подходы к оценке изменений коронарных артерий при мультиспиральной компьютерной томографии. Российский кардиологический журнал. 2019; 24(12): 124–30. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-12-124-130>. [Nikolaev AE, Shapiev AN, Blokhin IA, et al. New approaches to assessing coronary changes in multi-layer spiral computed tomography. *Russian Journal of Cardiology*. 2019; 24(12): 124–30 (in Russ). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-12-124-130>.]
28. Tsuda E, Hirata T, Matsuo O, et al. The 30-year outcome for patients after myocardial infarction due to coronary artery lesions caused by Kawasaki disease. *Pediatr Cardiol*. 2011; 32(2): 176–82. <https://doi.org/10.1007/s00246-010-9838-y>.
29. Kato H, Sugimura T, Akagi T, et al. Long-term consequences of Kawasaki disease. A 10- to 21-year follow-up study of 594 patients. *Circulation*. 1996; 94(6): 1379–85. <https://doi.org/10.1161/01.cir.94.6.1379>.
30. Conkbayir C. Правая коронарная артерия, происходящая из левого коронарного синуса: редкая аномалия коронарной артерии. Российский кардиологический журнал. 2014; 1-ENG: 56–7 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2014-1-ENG-56-57>. [Conkbayir C. Right coronary artery originating from the left coronary sinus: a rare coronary artery anomaly. *Russian Journal of Cardiology*. 2014; 1-ENG: 56–7. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2014-1-ENG-56-57>.]
31. Косулина В.М., Башняк В.С., Широбокых О.Е., Крупичка К.С. Аномальное отхождение левой коронарной артерии. RAC-sign. Клинический случай. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2024; 23(8): 4050. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4050>. [Kosulina VM, Bashnyak VS, Shirobokikh OE, Krupichka KS. Anomalous origin of left coronary artery. RAC-sign. A case report. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2024; 23(8): 4050 (in Russ). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4050>.]



# Количественная оценка транспортной функции пищевода методом компьютерного анализа рентгеноскопических изображений

**Баширов Р.А.<sup>1,2,3</sup>, Рыжкин С.А.<sup>1,2,4</sup>, Бурков В.О.<sup>1</sup>, Нагорных Б.П.<sup>3</sup>, Зиганшина Л.Ф.<sup>2,3</sup>, Самойленко Л.Е.<sup>1</sup>, Идиятов Р.А.<sup>3</sup>, Баширов Д.Р.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, 2-й Боткинский пр-д, 7, Москва, 125284, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Бутлерова, 49, Казань, 420012, Российская Федерация

<sup>3</sup> ГАУЗ «Республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан», Оренбургский тракт, 138, Казань, 420064, Российская Федерация

<sup>4</sup> ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», ул. Кремлевская, 18, корп. 1, Казань, 420008, Российская Федерация

<sup>5</sup> ГАУЗ «Городская клиническая больница № 7 им. М.Н. Садыкова», ул. Маршала Чуйкова, 54, Казань, 420103, Российская Федерация

**Баширов Рустем Алевкович**, ассистент кафедры радиологии, радиотерапии, радиационной гигиены и радиационной безопасности им. академиков А.С. Павлова и Ф.Г. Кроткова ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, ассистент кафедры онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, врач-радиолог радиологического отделения ГАУЗ «Республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан»; <http://orcid.org/0000-0003-4793-8197>

**Рыжкин Сергей Александрович**, д. м. н., доцент, чл.-корр. Академии наук Республики Татарстан, заведующий кафедрой радиологии, радиотерапии радиационной гигиены и радиационной безопасности им. академиков А.С. Павлова и Ф.Г. Кроткова ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, профессор кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, профессор кафедры медицинской физики Института физики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»; <http://orcid.org/0000-0003-2595-353X>

**Бурков Владимир Олегович**, ординатор кафедры радиологии, радиотерапии, радиационной гигиены и радиационной безопасности им. академиков А.С. Павлова и Ф.Г. Кроткова ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; <https://orcid.org/0009-0001-7917-2205>

**Нагорных Борис Петрович**, к. м. н., заведующий рентгенодиагностическим отделением ГАУЗ «Республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан»

**Зиганшина Лилия Фаридовна**, к. м. н., ассистент кафедры онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, заведующая отделением радиологии ГАУЗ «Республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан»; <http://orcid.org/0000-0002-6994-7396>

**Самойленко Людмила Евгеньевна**, д. м. н., профессор кафедры радиологии, радиотерапии, радиационной гигиены и радиационной безопасности им. академиков А.С. Павлова и Ф.Г. Кроткова ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России

**Идиятов Рустам Альбертович**, врач-рентгенолог ГАУЗ «Республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан»

**Баширов Дамир Рустемович**, врач-рентгенолог ГАУЗ «Городская клиническая больница № 7 им. М.Н. Садыкова»

## Резюме

**Актуальность.** Доступ к объективной количественной оценке транспортной функции пищевода (ТПФП) существенно ограничен в клинической практике вследствие двух факторов: недостаточная оснащенность медицинских учреждений специализированным оборудованием и отсутствие адекватных методов анализа. Разработка подходов, использующих традиционную рентгеноскопию с контрастированием жидкой взвесью сульфата бария в сочетании с автоматизированной обработкой, способна существенно повысить доступность и объективность метрического обследования пациентов с заболеваниями, сопровождающимися нарушениями глотания и моторики пищевода.

**Цель:** разработать и валидировать авторский алгоритм компьютерного количественного анализа рентгеноскопических изображений, полученных при традиционной рентгеноскопии пищевода, для оценки ТПФП у пациентов с заболеваниями, сопровождающимися нарушениями функции.

**Материал и методы.** Проспективное сравнительное исследование включало 34 пациента (средний возраст  $52,1 \pm 9,2$  года) с жалобами на дисфагию. Каждому выполнены модифицированная рентгеноскопия (60-секундная латеральная видеозапись первого глотка 15 мл стандартной бариевой суспензии (соответствующего первой стадии контрастирования) и динамическая сцинтиграфия пищевода (ДСЦП) с  $^{99m}\text{Tc}$ -технефитом, которую использовали как метод сравнения количественных показателей среднего времени транзита пищевода, учитывая собственные результаты и данные литературы по количественной оценке ТПФП. Рентгеноскопические DICOM-последовательности обрабатывали с помощью разработанного метода компьютерной количественной рентгеноскопии (КРС) для получения кривых «интенсивность – время» в выбранных зонах интереса. Согласованность результатов КРС и ДСЦП оценивали с помощью алгоритма динамического выравнивания временных рядов (dynamic time warping, DTW), кросс-корреляции, анализа Бланда–Альмана и коэффициента внутриклассовой корреляции (intraclass correlation coefficient, ICC).

**Результаты.** КРС продемонстрировала высокую конкордантность с ДСЦП: среднее DTW-расстояние  $0,055 \pm 0,012$ ; синхронная кросс-корреляция  $0,925 \pm 0,06$ ; ICC  $0,915$  (95% доверительный интервал  $0,886–0,941$ ). Анализ Бланда–Альмана не выявил систематической погрешности (средняя разность  $-0,01$ ; пределы согласия от  $-0,079$  до  $0,059$ ). Получены высокие диагностические характеристики КРС: площадь под ROC-кривой составила  $0,94$ , чувствительность –  $0,90$ , специфичность –  $0,88$ . Воспроизводимость метода также оказалась высокой: межоператорский ICC  $>0,98$ , внутриоператорский ICC  $>0,97$ .

**Заключение.** Разработанный авторский алгоритм компьютерного количественного анализа изображений традиционной рентгеноскопии позволяет получать количественные показатели ТПФП, демонстрирующие отличные диагностические характеристики и хорошую воспроизводимость. Полученные данные подтверждают, что КРС может быть перспективной и широкодоступной для применения в повседневной клинической практике, поскольку основывается на базе общедоступной рентгеноскопии. Внедрение КРС в клиническую практику будет способствовать более объективной и воспроизводимой количественной оценке ТПФП у пациентов с заболеваниями, сопровождающимися нарушениями моторики пищевода, расширяя возможности метрической диагностики без применения дорогостоящих методик.

**Ключевые слова:** рентгеноскопия пищевода; автоматизированный анализ изображений; количественная диагностика дисфагии; транспорт пищевого болюса; динамическая визуализация; компьютерные методы обработки медицинских изображений.

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

**Для цитирования:** Баширов Р.А., Рыжкин С.А., Бурков В.О., Нагорных Б.П., Зиганшина Л.Ф., Самойленко Л.Е., Идиятов Р.А., Баширов Д.Р. Количественная оценка транспортной функции пищевода методом компьютерного анализа рентгеноскопических изображений. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2026; 107(1): 37–49. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-37-49>

**Для корреспонденции:** Баширов Рустем Алекович, e-mail: bashirov6939@gmail.com

Статья поступила 03.02.2026

После доработки 16.03.2026

Принята к печати 31.03.2026

## Computer-Based Quantitative Assessment of Esophageal Transport Function Using Fluoroscopic Image Analysis

**Rustem A. Bashirov<sup>1,2,3</sup>, Sergey A. Ryzhkin<sup>1,2,4</sup>, Vladimir O. Burkov<sup>1</sup>, Boris P. Nagornykh<sup>3</sup>, Lilia F. Ziganshina<sup>2,3</sup>, Lyudmila E. Samoilenko<sup>1</sup>, Rustam A. Idiyatov<sup>3</sup>, Damir R. Bashirov<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Vtoroy Botkinskiy proezd, 7, Moscow, 125284, Russian Federation

<sup>2</sup> Kazan State Medical University, ul. Butlerova, 49, Kazan, 420012, Российская Федерация

<sup>3</sup> Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan, Orenburgskiy trakt, 138, Kazan, 420064, Russian Federation

<sup>4</sup> Kazan Federal University, ul. Kremlevskaya, 18, korp. 1, Kazan, 420008, Russian Federation

<sup>5</sup> Sadykov City Clinical Hospital No. 7, ul. Marshala Chuykova, 54, Kazan, 420103, Russian Federation

**Rustem A. Bashirov**, Assistant Professor, Chair of Radiology, Radiotherapy, Radiation Hygiene and Radiation Safety, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; Assistant Professor, Chair of Oncology, Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Kazan State Medical University; Radiologist, Radiology Department, Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan; <http://orcid.org/0000-0003-4793-8197>

**Sergey A. Ryzhkin**, Dr. Med. Sc., Associate Professor, Corresponding Member of Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Chief of Chair of Radiology, Radiotherapy, Radiation Hygiene and Radiation Safety, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; Professor, Chair of General Hygiene, Kazan State Medical University; Professor, Chair of Medical Physics, Institute of Physics, Kazan Federal University;  
<http://orcid.org/0000-0003-2595-353X>

**Vladimir O. Burkov**, Resident, Chair of Radiology, Radiotherapy, Radiation Hygiene and Radiation Safety, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education;  
<https://orcid.org/0009-0001-7917-2205>

**Boris P. Nagornykh**, Cand. Med. Sc., Head of X-ray Diagnostic Department, Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan

**Lilia F. Ziganshina**, Cand. Med. Sc., Assistant Professor, Chair of Oncology, Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Kazan State Medical University; Head of Radiology Department, Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan;  
<http://orcid.org/0000-0002-6994-7396>

**Lyudmila E. Samoilenko**, Dr. Med. Sc., Professor, Chair of Radiology, Radiotherapy, Radiation Hygiene and Radiation Safety, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education

**Rustam A. Idiyatov**, Radiologist, Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan

**Damir R. Bashirov**, Radiologist, Sadykov City Clinical Hospital No. 7

### Abstract

**Background.** Access to an objective quantitative assessment of esophageal transport function (ETF) is significantly limited in clinical practice due to two main factors: the insufficient availability of specialized equipment in healthcare institutions and the lack of adequate analysis techniques. The development of approaches utilizing conventional fluoroscopy with a liquid barium sulfate suspension contrast combined with automated processing has the potential to significantly increase the accessibility and objectivity of metric evaluation for patients with conditions involving swallowing disorders and esophageal motility impairments.

**Objective:** to develop and validate a proprietary algorithm for computer-based quantitative analysis of fluoroscopic images obtained from conventional esophageal fluoroscopy for the assessment of ETF in patients with related disorders.

**Material and methods.** A prospective comparative study included 34 patients with dysphagia (mean age  $52.1 \pm 9.2$  years). Each patient underwent modified fluoroscopy (a 60-second lateral video recording of the first swallow of 15 ml of standard barium suspension, corresponding to the first stage of contrast) and dynamic esophageal scintigraphy (DES) with  $^{99m}\text{Tc}$ -technephyte, which was used as the reference method for quantitative parameters of mean esophageal transit time, based on our own results and literature data on quantitative ETF assessment. Fluoroscopic DICOM sequences were processed using the developed computer-based quantitative analysis of fluoroscopic images (QAFI) to generate intensity-time curves in selected regions of interest. The agreement between QAFI and DES results was assessed using dynamic time warping (DTW), cross-correlation, Bland–Altman analysis, and the intraclass correlation coefficient (ICC).

**Results.** QAFI demonstrated high concordance with DES: mean DTW distance  $0,055 \pm 0,012$ ; synchronous cross-correlation  $0,925 \pm 0,06$ ; ICC  $0,915$  (95% confidence interval  $0,886–0,941$ ). Bland–Altman analysis revealed no systematic bias (mean difference  $-0,01$ ; limits of agreement  $-0,079$  to  $0,059$ ). The diagnostic characteristics of QAFI were high: the area under the ROC curve was  $0,94$ , with sensitivity of  $0,90$  and specificity of  $0,88$ . The method's reproducibility was also high: intra-operator ICC  $>0,98$ , inter-operator ICC  $>0,97$ .

**Conclusion.** The developed proprietary algorithm for computer-based QAFI obtained by conventional fluoroscopy enables the acquisition of quantitative ETF parameters, demonstrating excellent diagnostic characteristics and good reproducibility. The obtained data confirm that QAFI could be a promising and widely accessible tool for use in routine clinical practice, as it is based on widely available fluoroscopy. The implementation of QAFI in clinical practice will facilitate a more objective and reproducible quantitative assessment of ETF in patients with esophageal motility disorders, expanding the capabilities of metric diagnostics without resorting to expensive techniques.

**Keywords:** esophageal fluoroscopy; automated image analysis; quantitative dysphagia diagnosis; food bolus transport; dynamic imaging; computer-assisted medical image processing.

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

**For citation:** Bashirov RA, Ryzhkin SA, Burkov VO, Nagornykh BP, Ziganshina LF, Samoilenko LE, Idiyatov RA, Bashirov DR. Computer-based quantitative assessment of esophageal transport function using fluoroscopic image analysis. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2026; 107(1): 37–49 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-37-49>

**For corresponding:** Rustem A. Bashirov, e-mail: [bashirov6939@gmail.com](mailto:bashirov6939@gmail.com)

Received February 3, 2026

Revised March 16, 2026

Accepted March 31, 2026

## Введение / Introduction

Болезни пищевода, включая гастроэзофагальную рефлюксную болезнь (ГЭРБ), ахалазию, эозинофильный эзофагит, а также осложнения, связанные со структурными аномалиями, такими как стриктуры, дивертикулы и грыжи пищевода отверстия диафрагмы, представляют собой значительную проблему для систем здравоохранения во всем мире [1].

Согласно последним данным эпидемиологических исследований, общемировая распространенность ГЭРБ составляет около 14%. При этом в развитых странах, в частности в Северной Америке и Европе, этот показатель находится в диапазоне от 14,1% до 19,6% [1]. Что касается ахалазии, то, несмотря на ее относительно низкую распространенность, составляющую 0,78 случая на 100 тыс. человек в год, отмечается устойчивый рост заболеваемости, что в значительной степени связано с совершенствованием диагностических методов [2]. Эозинофильный эзофагит, который ранее считался редким заболеванием, в настоящее время диагностируется с частотой 0,5–1 случай на 1 тыс. человек, а среди пациентов с дисфагией его распространенность достигает 12–23% [3]. Увеличение числа случаев этих заболеваний коррелирует с ростом таких факторов риска, как ожирение, старение населения и изменение пищевых привычек. Данные тенденции подчеркивают актуальность разработки более совершенных и точных методов ранней диагностики [1, 4].

Оценка функционального состояния пищевода играет решающую роль в диагностике и последующем мониторинге широкого спектра патологий. К основным клиническим показаниям для проведения функциональных исследований относятся дисфагия, рефрактерный рефлюкс, а также некардиальная боль в груди и регургитация [4]. Кроме того, объективный анализ моторики пищевода необходим для предоперационного планирования, особенно перед антирефлюксными операциями или резекциями пищевода. Он также важен для оценки эффективности проводимой терапии у пациентов с такими заболеваниями, как системная склеродермия или пищевод Барретта [4, 5]. Однако существующие в настоящее время диагностические методы имеют ряд ограничений, которые затрудняют их повсеместное внедрение в клиническую практику [6].

Современная диагностика заболеваний пищевода в соответствии с мировыми стандартами включает использование рентгеноскопии с контрастированием, эндоскопии, манометрии, рН-метрии, динамической сцинтиграфии пищевода (ДСЦП) с  $^{99m}\text{Tc}$ -технефитом. Эндоскопическое исследование позволяет получить детальную визуализацию слизистой оболочки и выполнить

биопсию, но не предоставляет информации о моторной функции и сопряжено с риском осложнений, таких как перфорация или кровотечение [5]. Эзофагеальная манометрия, признанная «золотым стандартом» для оценки моторики пищевода требует специализированного оборудования и высокой квалификации медицинского персонала, сконцентрированного, как правило, в нескольких крупных клинических центрах, и недостаточно доступна в большинстве регионов нашей страны. Кроме того, это непростая процедура, требующая введения через нос пациента зонда с чувствительными датчиками давления, что ограничивает ее применение у части больных [4, 5]. Суточная рН-метрия, несмотря на ее ценность в диагностике ГЭРБ, не дает возможности выявить структурные изменения, является инвазивной и требует продолжительного мониторинга. Ее доступность в клинической практике ограничена из-за высокой стоимости оборудования и необходимости специальной подготовки персонала [1].

ДСЦП, хотя и предоставляет возможность количественной оценки ТПФП по скорости прохождения болюса радиофармацевтического лекарственного препарата (РФЛП) по всем отделам пищевода, характеризуется низким пространственным разрешением, что не позволяет применять ее для одновременной оценки анатомических особенностей пищевода во время исследования [5]. Кроме того, выполнение ДСЦП сопровождается хоть и минимальной, но все же лучевой нагрузкой на пациента и требует наличия гамма-камеры/гамма-томографа, оснащенной которыми медицинских учреждений довольно низка даже в крупных региональных районных центрах.

Классическая рентгеноскопия с использованием сульфата бария по-прежнему актуальна благодаря своей неинвазивности, широкой доступности и возможности динамического наблюдения за процессом глотания. Тем не менее ее диагностическая ценность ограничена субъективностью визуальной интерпретации, значительной вариабельностью результатов между разными специалистами и отсутствием стандартизированных количественных показателей для оценки функционального состояния пищевода [5]. Эти недостатки становятся особенно критичными в тех случаях, когда требуется объективный мониторинг прогрессирования заболевания или оценка эффективности терапии, для чего необходимы воспроизводимые и точные метрики.

Разработка новых методик, которые бы объединили преимущества традиционной рентгеноскопии с возможностями количественного анализа, представляется весьма перспективным направлением в области радиологии. Применение алгоритмов компьютерного зрения и машинного обучения

позволяет преобразовывать визуальные данные в объективные числовые показатели, минимизируя таким образом влияние человеческого фактора. Подобные технологии уже доказали свою эффективность в других сферах медицинской визуализации, включая анализ компьютерных томографических изображений легких и магнитно-резонансных томограмм головного мозга, что подтверждает целесообразность их применения для оценки функционального состояния пищевода [5].

В рамках данной работы представлена новая методика компьютерного количественного анализа рентгеноскопических изображений (компьютерной рентгеноскопии, КРС), разработанная для объективной оценки транспортной функции пищевода. Этот метод основан на автоматизированном анализе изменений оптической плотности в определенной зоне интереса (region of interest, ROI) во время прохождения контрастного болюса. Это дает возможность строить кривые «интенсивность контрастирования – время» и рассчитывать количественные параметры опорожнения пищевода. Предложенный подход, сохраняя все преимущества классической рентгеноскопии (неинвазивность, доступность и визуализация анатомии), устраняет ее основные ограничения благодаря автоматизации обработки данных и стандартизации получаемых результатов.

**Цель** – разработать и валидировать авторский алгоритм компьютерного количественного анализа рентгеноскопических изображений, полученных при традиционной рентгеноскопии пищевода, для оценки ТПФП у пациентов с заболеваниями, сопровождающимися нарушениями функции.

## Материал и методы / Material and methods

### Дизайн исследования

С целью валидации разработанной методики КРС выполнено проспективное сравнительное исследование с участием 34 пациентов. Каждому на основании подписанного информированного согласия выполняли модифицированную рентгеноскопию с контрастированием пищевода жидкой бариевой суспензией и ДСЦП с интервалом не более 72 ч. Анализ данных рентгеноскопии осуществляли по видеозаписи изображений пищевода, полученных после проглатывания первой порции контрастного вещества.

Аналізу данных предшествовала разработка и реализация алгоритма автоматизированного извлечения временных кривых из рентгеноскопических DICOM-записей. Алгоритм включал этапы фильтрации и нормализации сигнала и формировал набор количественных метрик, в том числе динамическое выравнивание временных рядов (dynamic time warping, DTW) для дальнейшего сравнения формы кривых и время до пика интен-

сивности (time-to-peak, ТТП) для оценки скорости транзита.

Следующим этапом проводили сравнительную верификацию КРС. Для этого в качестве референсного метода применяли ДСЦП. Выбор ДСЦП обусловлен тем, что она предоставляет строгие количественные параметры моторной функции, широко используется в научных исследованиях и валидирована в качестве надежного инструмента для оценки эвакуационной функции, что создает надежную основу для определения диагностической ценности представляемой методики. Этап сравнительной верификации включал проведение парных сравнений временных рядов (DTW, кросс-корреляция), оценку согласованности (анализ Бланда–Альтмана и коэффициента внутриклассовой корреляции (intraclass correlation coefficient, ICC)) и определение диагностической точности: анализ рабочей характеристики приемника (receiver operating characteristic, ROC), определение чувствительности и специфичности.

Для решения задачи бинарной классификации «норма/патология» на основе полученных данных построены ROC-кривые. В качестве интегральной меры диагностической точности алгоритма рассчитана площадь под ROC-кривой (area under curve, AUC) с 95% доверительными интервалами (ДИ).

В заключительной части работы определяли воспроизводимость метода на основе повторных измерений, применяя межоператорский (intra-operator) и внутриоператорский (inter-operator) ICC и коэффициент вариации (coefficient of variation, CV).

### Материал исследования

Использовали следующие критерии включения: клинически подтвержденная гастроэнтерологом дисфагия, отсутствие противопоказаний к диагностическим процедурам и способность пациента выполнять инструкции. Критерии исключения: беременность и предшествующие обширные хирургические вмешательства на верхних отделах желудочно-кишечного тракта.

В исследование включены 34 пациента (10 мужчин и 24 женщины, средний возраст 52,1±9,2 года, диапазон 34–65 лет), госпитализированные с марта по июль 2025 г. в Республиканскую клиническую больницу Министерства здравоохранения Республики Татарстан (г. Казань). По характеру выявленных нарушений больные были распределены на две группы.

**Структурные нарушения** диагностированы у 20 (58,8%) пациентов. В эту группу вошли больные с грыжами пищеводного отверстия диафрагмы (n=8) и стриктурами пищевода (n=6). У остальных пациентов данной группы верифицированы иные структурные патологии. Средняя длительность дисфагии составила 14,2±8,6 мес.

Функциональные нарушения отмечались у 14 (41,2%) пациентов. В эту категорию вошли случаи ахалазии кардии, диффузного спазма пищевода и иные функциональные расстройства. Для данной группы средняя длительность дисфагии была достоверно меньше и составляла  $11,3 \pm 7,2$  мес.

### Методы исследования

#### Количественная рентгеноскопия

КРС проводили на цифровом рентгеноскопическом комплексе «КРТ-ОКО» (НИПК «Электрон», Россия) натошак с предшествующей подготовкой к исследованию согласно клиническим рекомендациям. Пациент принимал вертикальное положение в боковой проекции и проглатывал 15 мл жидкой бариевой взвеси (соотношение веса и объема 46%), что соответствовало первой стадии контрастирования. Одновременно с началом проглатывания в течение 60 с выполняли непрерывную видеозапись с частотой 5 кадров в секунду и разрешением  $2048 \times 2048$  пикселей (всего 300 кадров). Для минимизации артефактов движения осуществляли фиксацию пациента, сохраняя возможность полноценных дыхательных движений. Данная серия, использовавшаяся для последующего анализа, может быть применима как начальная фаза рентгеноскопического исследования, в связи с чем не создает дополнительной нагрузки.

DICOM-файлы, содержащие запись серии, сохранялись на рабочей станции для последующей обработки. Обработка данных 300 кадров реализована с помощью версии языка программирования Python 3.11 и пакета библиотек Pydicom для чтения DICOM-файлов, NumPy для обработки массивов, а также OpenCV 4.8.0 для алгоритмов компьютерного зрения.

Обработка рентгеноскопической записи включала ручное выделение оператором ROI, соответствующей проекции пищевода (рис. 1). В зависимости от целей анализа оператор мог выделить ROI для всего пищевода или его конкретного сегмента, выбирая для этого наиболее информативный кадр с оптимальной визуализацией соответствующих анатомических отделов.

Далее происходила автоматическая адаптация ROI к последующим кадрам изображений пищевода с использованием алгоритмов отслеживания движения на основе компьютерного зрения, что обеспечивало стабильность зоны анализа на протяжении всей динамической последовательности.

Для каждого кадра последовательности проводили математический анализ распределения интенсивностей в пределах выделенной ROI: вычисление статистических характеристик массива пиксельных значений, их последующую нормализацию и адаптивное сглаживание. Параметры сгла-

живания были оптимизированы для минимизации шумов при сохранении значимых физиологических паттернов. Итоговые данные представлены в виде кривой интенсивности контрастирования (рис. 2).

Алгоритм предназначен для анализа фиксированной последовательности, записанной после первого глотка. Любые последующие модификации протокола исследования (дополнительное введение бария) не учитывались программой и не влияли на расчет кривой.

#### Динамическая сцинтиграфия пищевода с $^{99m}\text{Tc}$ -технефитом

ДСЦП выполняли на двухдетекторной гамма-камере BrightView (Philips, Нидерланды) с низкоэнергетическим коллиматором с большим полем видения, захватывающим область рта и ниже, включая полностью область проекции пищевода, с использованием РФЛП  $^{99m}\text{Tc}$ -технефит (ОАО «Диамед», Россия). Пациент, стоя лицом перед детектором гамма-камеры, проглатывал натошак около 25 МБк РФЛП в 15 мл воды, с одновременным началом динамической записи изображений пищевода в течение 60 с (2 кадра в секунду). Обработку данных осуществляли с помощью стандартного программного обеспечения NM Esophagus (Philips, Нидерланды).

В ручном режиме выбирали ROI соответственно верхней, средней, нижней третям и всему пищеводу и получали кривые «активность – время» для отдельной оценки их функции. На основе этого анализа определяли время транзита болю-

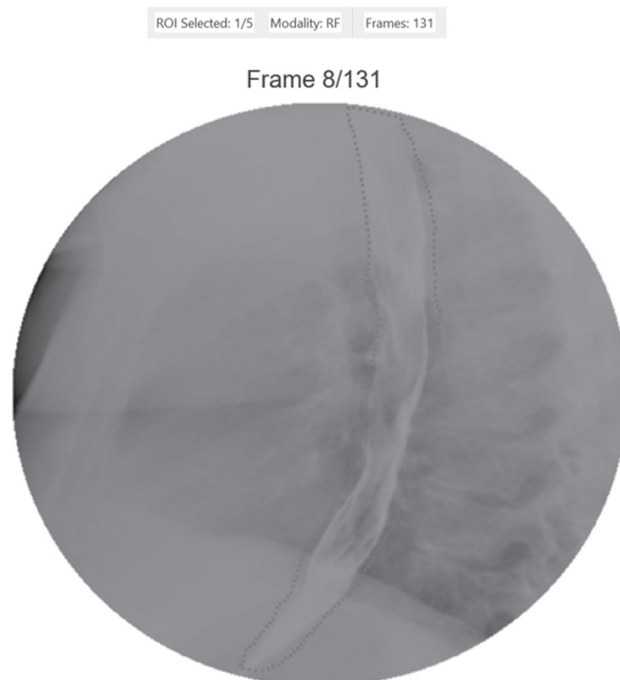


Рис. 1. Пример работы приложения: выбор зоны интереса  
Fig. 1. An example of the application in action: selecting a region of interest

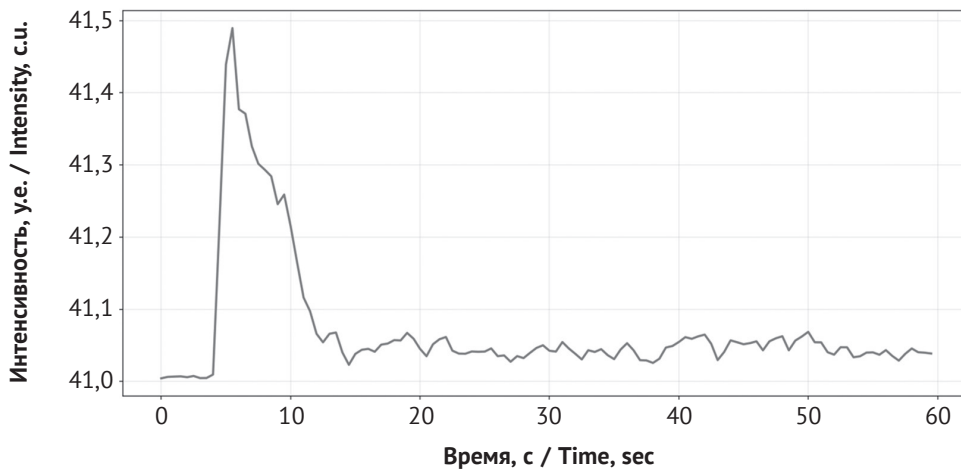


Рис. 2. Пример работы приложения: построение кривых интенсивности контрастирования

Fig. 2. An example of the application in action: plotting contrast intensity curves

са РФЛП по пищеводу (интервал от начала поступления РФЛП в просвет пищевода до освобождения от активности не менее 95% для полного транзита болюса).

Все процедуры выполнены без осложнений, а интервал между КРС и ДСЦП составил 48–72 ч.

### Методы сравнительного анализа кривых, полученных при КРС и ДСЦП

Для оценки соответствия между кривыми применяли пять методов:

- DTW с расчетом минимального расстояния выравнивания временных рядов (библиотека fastdtw);
- кросс-корреляционный анализ с вычислением максимального коэффициента корреляции  $\rho(\tau)$ <sup>1</sup>;
- анализ согласия по Бланду–Альтману с определением систематической ошибки и 95% пределов согласия;
- спектральный анализ методом быстрого преобразования Фурье (numpy.fft);
- дополнительные метрики (ICC, критерий знаков, двухфакторный дисперсионный анализ (ANalysis Of Variance, ANOVA)).

### Статистическая обработка

Статистический анализ проведен на выборке из 34 пациентов. Данные представлены в виде среднего и стандартного отклонения или медианы и межквартильного размаха в зависимости от распределения, которое проверяли с помощью критерия Шапиро–Уилка. Категориальные переменные описаны как абсолютные частоты и проценты.

Для сравнения парных количественных показателей методов КРС и ДСЦП применяли парный t-тест или тест Вилкоксона. Согласованность временных рядов оценивали с использовани-

ем DTW, максимума кросс-корреляции, ICC и анализа Бланда–Альтмана. Для методов DTW и кросс-корреляции рассчитаны бутстрап-ДИ (2000 повторов).

Диагностическую эффективность бинарной классификации («норма/патология») оценивали с построением ROC-кривых, расчетом AUC, чувствительности и специфичности; оптимальный порог определяли по критерию Юдена. Для парных категориальных данных использовали тест МакНемара и коэффициент каппа Коэна.

Для учета влияния ковариат (возраст, пол) применяли смешанные модели. Воспроизводимость измерений на подвыборке из 12 пациентов оценивали с помощью ICC и анализа Бланда–Альтмана.

Для всех анализов указаны p-значения, величины эффекта с 95% ДИ; уровень значимости установлен при  $p < 0,05$ . Использовали программные среды R (версия 4.x, пакеты lme4, pROC, irr, boot) и Python (библиотеки SciPy, statsmodels, scikit-learn).

## Результаты / Results

### Распределение на группы

На основании анализа временных параметров прохождения болюса, полученных с помощью КРС, все пациенты ( $n=34$ ) были распределены на три группы в соответствии с заданными критериями. Критерием полного транзита считалось снижение активности в ROI (пищевод) до уровня не более 5% от исходного максимума. Критерии разделения групп были следующими:

- нормальная функция ( $n=14$ ) – полное опорожнение пищевода происходит менее чем за 15 с;
- умеренное нарушение моторики ( $n=16$ ) – полное опорожнение пищевода занимает более 15 с;
- выраженное нарушение моторики ( $n=4$ ) – полное опорожнение пищевода не происходит в течение всего времени исследования (60 с).

<sup>1</sup>  $\rho(\tau) = \sum [(x(t) - \mu_x) \times (y(t + \tau) - \mu_y)] / \sigma_x \times \sigma_y$ .

### Сравнительный анализ кривых, полученных при КРС и ДСЦП

Визуальный анализ кривых «активность – время» и «интенсивность – время», построенных на основе данных ДСЦП и КРС, показал высокую степень их сходства. В обоих случаях наблюдается общий паттерн: пик активности на 4–6-й секунде, за которым следует снижение интенсивности сигнала. Детали кривых варьируются в зависимости от характера и выраженности патологии.

При *нормальной моторике* (рис. 3) кривые обоих методов демонстрируют выраженный пик на 4–5-й секунде, за которым следует экспоненциальное снижение до 50% от максимального значения к 10–15-й секунде. К 30–40-й секунде сигнал стабилизируется на фоновом уровне. Симметричность и отсутствие задержек указывают на сохранную перистальтику.

В случаях *умеренной патологии* (рис. 4) пик активности сглажен и достигается позже, на 5–6-й секунде. Снижение до 50% от максимума происходит к 15–20-й секунде, а нормализация сигнала — к 40–50-й секунде. Незначительные колебания интенсивности свидетельствуют о снижении координации перистальтических волн.

При *выраженной патологии* (рис. 5) амплитуда пика снижена на 30–40% относительно нормы, а экспоненциальный спад замедлен, так как 50% от максимума достигается только к 25–30-й секунде. Сохранение повышенной активности (>20% от максимума) даже через 60 с указывает на значительные нарушения транзита.

Количественные метрики согласованности, представленные в таблице 1, подтверждают высокую временную и амплитудную конкордантность

сигналов, полученных методами КРС и ДСЦП. Среднее DTW-расстояние составило  $0,0545 \pm 0,012$  (медиана 0,053; 95% бутстрап-ДИ 0,048–0,060), а максимальная кросс-корреляция –  $0,925 \pm 0,06$  (95% ДИ 0,88–0,96). Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) составил  $0,91 \pm 0,08$  (95% ДИ 0,87–0,95), а ICC –  $0,915$  (95% ДИ 0,886–0,941;  $p < 0,001$ ). Эти данные свидетельствуют о высоком уровне согласованности между двумя методами.

Помимо анализа DTW проведено сравнение ключевых интегральных метрик, полученных обоими методами (табл. 2). ТТР для ДСЦП составило  $5,5 \pm 1,5$  с, а для КРС –  $5,6 \pm 1,6$  с. Различие между средними значениями было статистически незначимым (парный t-тест  $p = 0,45$ ). Аналогично, нормированная AUC составила  $0,75 \pm 0,10$  для ДСЦП и  $0,76 \pm 0,12$  для КРС. Различия в AUC также не были статистически значимы (парный t-тест  $p = 0,38$ ), что подтверждает высокую степень согласованности методов не только в динамическом, но и в интегральном представлении данных. Двухфакторный ANOVA не выявил статистически значимых различий между методами ( $F = 2,45$ ;  $p = 0,115$ ). Низкое среднее различие по обоим метрикам ( $-0,01$  для ТТР и  $-0,01$  для AUC) и малые значения коэффициента эффекта d Коэна (0,05 и 0,08 соответственно) свидетельствуют о минимальной разнице между показателями.

### Анализ согласия методов

Согласно методу Бланда–Альтмана (рис. 6) средняя разность значений активности между методами составила  $-0,01$  (95% ДИ  $-0,08$ – $0,06$ ). В пределах согласия находились 97,05% точек (33/34). Распределение разностей соответствова-

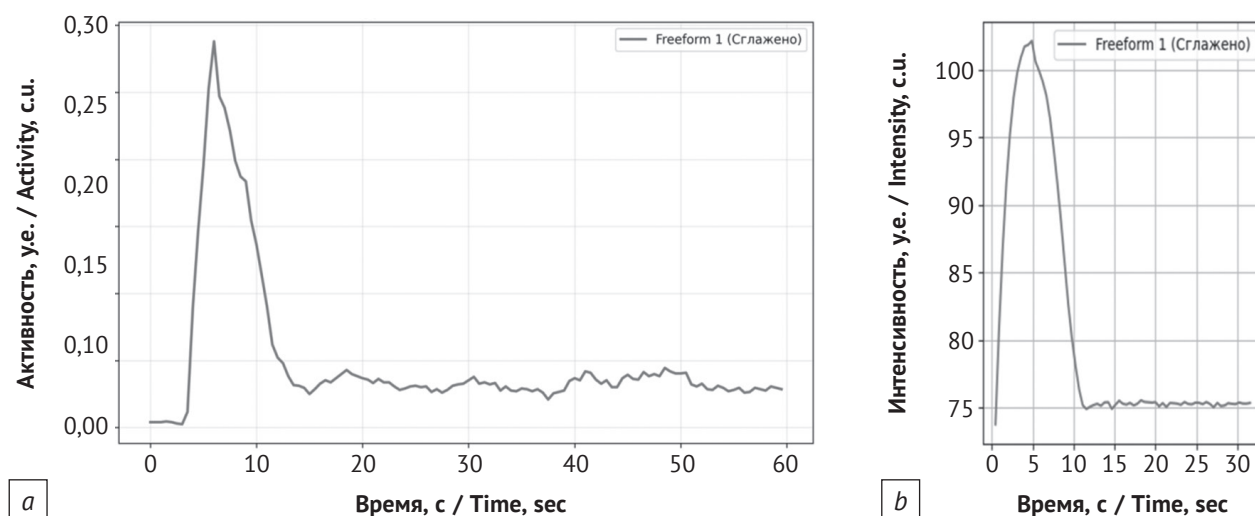


Рис. 3. Вид кривых «активность – время» (а) и «интенсивность – время» (б), полученных с помощью динамической скинтиграфии пищевода и количественной рентгеноскопии соответственно при нормальной транспортной функции пищевода

Fig. 3. The appearance of the activity-time (a) and intensity-time (b) curves obtained using dynamic esophageal scintigraphy and quantitative analysis of fluoroscopic images, respectively, with normal esophageal transport function

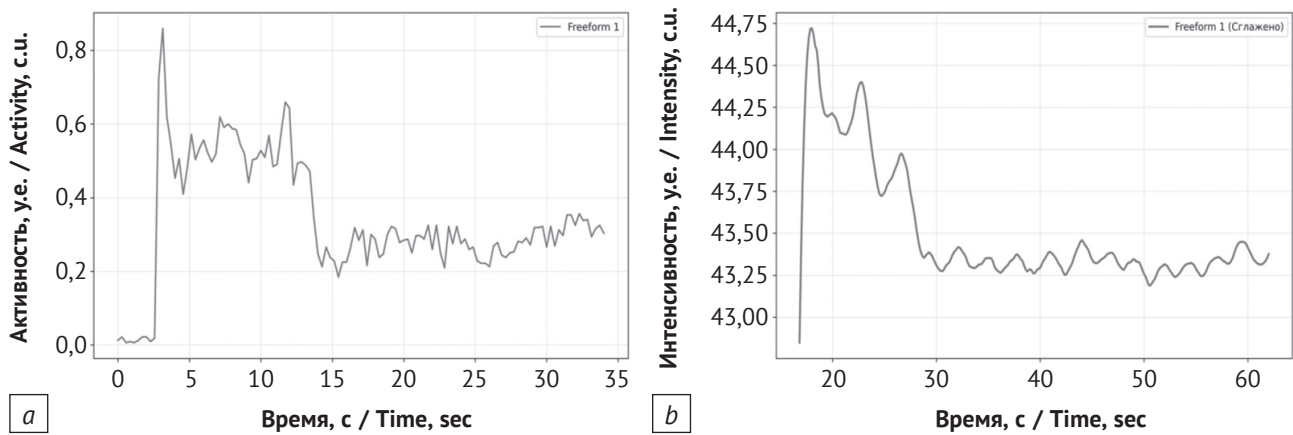


Рис. 4. Вид кривых «активность – время» (а) и «интенсивность – время» (б), полученных с помощью динамической сцинтиграфии пищевода и количественной рентгеноскопии соответственно при умеренных нарушениях транспортной функции пищевода

Fig. 4. The appearance of the activity-time (a) and intensity-time (b) curves obtained using dynamic esophageal scintigraphy and quantitative analysis of fluoroscopic images, respectively, with moderate esophageal transport function

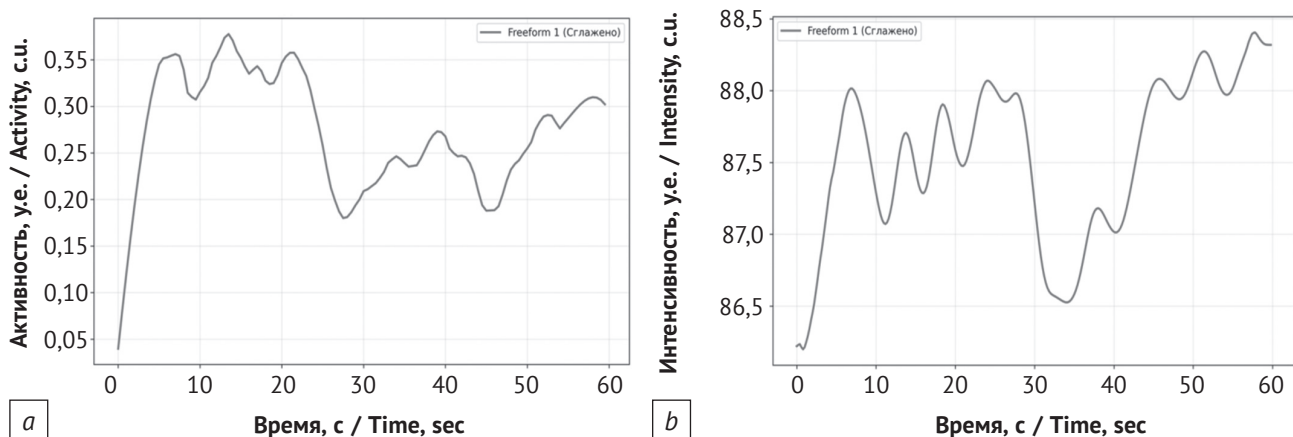


Рис. 5. Вид кривых «активность – время» (а) и «интенсивность – время» (б), полученных с помощью динамической сцинтиграфии пищевода и количественной рентгеноскопии соответственно при выраженных нарушениях транспортной функции пищевода

Fig. 5. The appearance of the activity-time (a) and intensity-time (b) curves obtained using dynamic esophageal scintigraphy and quantitative analysis of fluoroscopic images, respectively, with pronounced violations of esophageal transport function

ло нормальному закону (тест Колмогорова–Смирнова  $p > 0,1$ ), а критерий знаков не выявил статистически значимого сдвига ( $Z = 0,365$ ;  $p = 0,71$ ).

### Спектральные характеристики сигналов

Спектральный анализ методом быстрого преобразования Фурье (рис. 7) показал идентичные доминирующие частоты для обоих методов:  $0,17 \pm 0,03$  Гц для КРС и  $0,17 \pm 0,04$  Гц для ДСЦП (разность  $0,00 \pm 0,01$  Гц;  $p = 0,89$ ). Амплитуда основного пика составила  $0,82 \pm 0,11$  и  $0,85 \pm 0,09$  соответственно (разность  $-0,03 \pm 0,05$ ;  $p = 0,45$ ).

### Статистическая и клиническая согласованность

Для оценки диагностической эффективности методики КРС построена ROC-кривая, которая

продемонстрировала превосходную дискриминационную способность алгоритма в задаче бинарной классификации «норма/патология». АУС составила 0,998 (95% ДИ 0,985–1,00), что свидетельствует о высокой диагностической точности. Использование оптимального порога, определенного по критерию Юдена (0,45), позволило достичь на исследуемой выборке максимальных значений чувствительности и специфичности – 100%. Полученные результаты, включая нижние границы ДИ (82,5% для чувствительности и 87,2% для специфичности), уверенно указывают на высокий потенциал методики КРС для точной диагностики, что создает прочную основу для ее дальнейшей валидации на расширенных когортах пациентов.

Согласованность бинарных диагностических заключений, полученных методами КРС и ДСЦП,

## Сравнение количественных показателей согласованности методов

Table 1

## Comparison of method consistency quantitative indicators

Метрика / Metrics	M±SD	Me [IQR]	95% ДИ / 95% CI	p
DTW-расстояние / DTW distance	0,055±0,012	0,053 [0,047–0,061]	0,048–0,060	–
Максимальная кросс-корреляция / Maximum cross-correlation	0,925±0,060	0,931 [0,890–0,961]	0,881–0,959	<0,001
Determination coefficient R <sup>2</sup> / Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	0,91±0,08	0,92 [0,85–0,97]	0,870–0,950	<0,001
ICC (абсолютное согласие) / ICC (absolute agreement)	0,915	–	0,886–0,941	<0,001

*Примечание.* M±SD (mean ± standard deviation) – среднее значение ± стандартное отклонение; Me (median) – медиана; IQR (interquartile range) – межквартильный размах; ДИ – доверительный интервал; DTW (dynamic time warping) – динамическое выравнивание временных рядов; ICC (intraclass correlation coefficient) – коэффициент внутриклассовой корреляции.

*Note.* M±SD – mean ± standard deviation; Me – median; IQR – interquartile range; CI – confidence interval; DTW – dynamic time warping; ICC – intraclass correlation coefficient.

Таблица 2

## Сравнение ключевых количественных показателей, полученных методами количественной рентгеноскопии и динамической сцинтиграфии пищевода

Table 2

## Comparison of key quantitative indicators obtained by quantitative analysis of fluoroscopic images and dynamic esophageal scintigraphy

Показатель / Indicator	KPC (M±SD) / QAFI (M±SD)	ДСЦП (M±SD) / DES (M±SD)	Различие (M±SD) / Difference (M±SD)	p	d Коэна / Cohen's d
TTP, с / TTP, sec	5,6±1,6	5,5±1,5	0,1±0,5	0,45	0,08
AUC (нормированная / standardized)	0,76±0,12	0,75±0,10	0,01±0,04	0,38	0,05

*Примечание.* KPC – количественная рентгеноскопия; ДСЦП – динамическая сцинтиграфия пищевода; M±SD (mean ± standard deviation) – среднее значение ± стандартное отклонение; TTP (time-to-peak) – время достижения пика активности; AUC (area under curve) – площадь под кривой.

*Note.* QAFI – quantitative analysis of fluoroscopic images; DES – dynamic esophageal scintigraphy; M±SD – mean ± standard deviation; TTP – time-to-peak; AUC – area under curve.

оценивали с помощью коэффициента каппа Коэна. Результаты бинарной классификации (наличие или отсутствие патологии) совпали для всех 34 пациентов, что соответствует значению каппа 1,00 (95% ДИ 1,00–1,00;  $p < 0,001$ ) и свидетельствует о практически идеальной согласованности. Отсутствие статистически значимой разницы между заключениями, полученными двумя методами, также подтверждено тестом МакНемара ( $p = 1,00$ ).

Результаты демонстрируют, что разработанная методика KPC обеспечивает сопоставимую с ДСЦП точность при оценке ТПФП, сохраняя преимущества рентгеноскопии в визуализации анатомических структур.

**Анализ воспроизводимости результатов**

Для оценки надежности и воспроизводимости предложенного метода на подвыборке из 12 па-

циентов были проведены повторные измерения. Оценка воспроизводимости показала отличную согласованность: межоператорский ICC 0,98 (95% ДИ 0,96–0,99;  $p < 0,001$ ) для TTP. CV для этой же метрики составил 4,2%. Аналогично, внутриоператорский ICC показал высокую надежность метода, составив 0,97 (95% ДИ 0,94–0,98;  $p < 0,001$ ) для TTP с CV 4,6%. Это свидетельствует о том, что результаты анализа не зависят от конкретного специалиста, проводящего обработку данных. Графики Бланда–Альтмана для анализа воспроизводимости не выявили систематических смещений ни для одного из операторов. Результаты анализа воспроизводимости представлены в таблице 3.

**Обсуждение / Discussion**

Результаты настоящего исследования показывают, что предложенная методика компьютер-

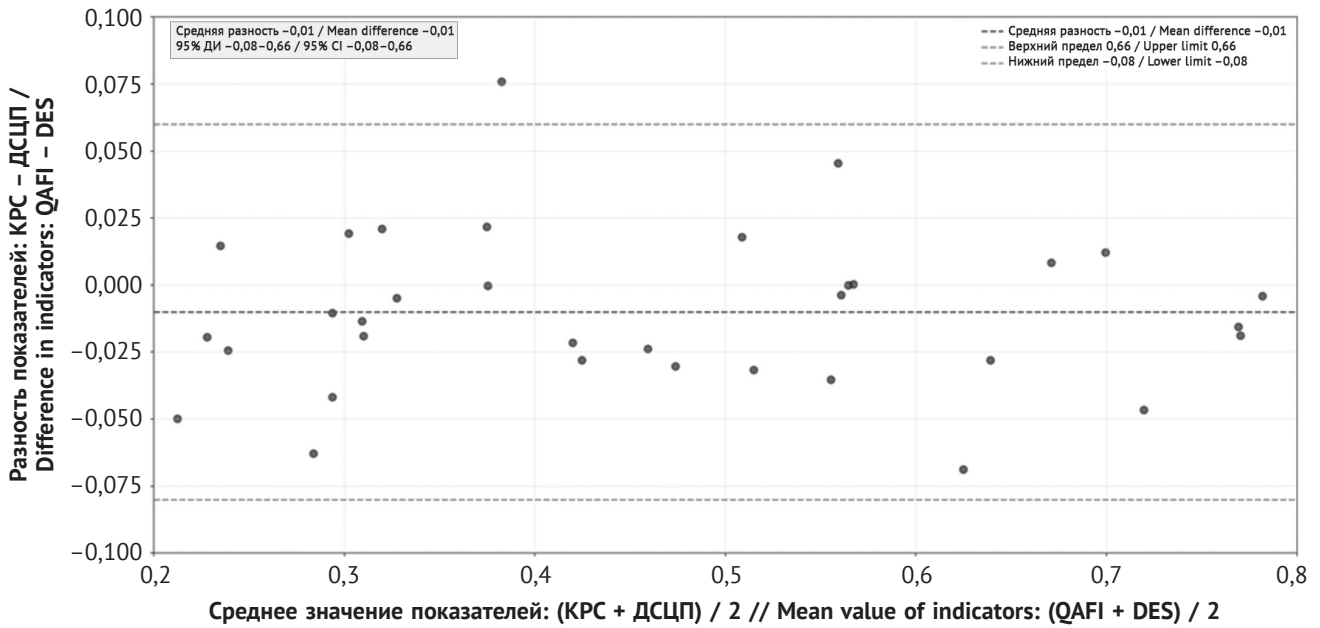


Рис. 6. График Бланда-Альмана: разности значений против средних.  
КРС – количественная рентгеноскопия; ДСЦП – динамическая сцинтиграфия пищевода; ДИ – доверительный интервал  
Fig. 6. Bland-Altman plot: differences vs. means.  
QAFI – quantitative analysis of fluoroscopic images; DES – dynamic esophageal scintigraphy; CI – confidence interval

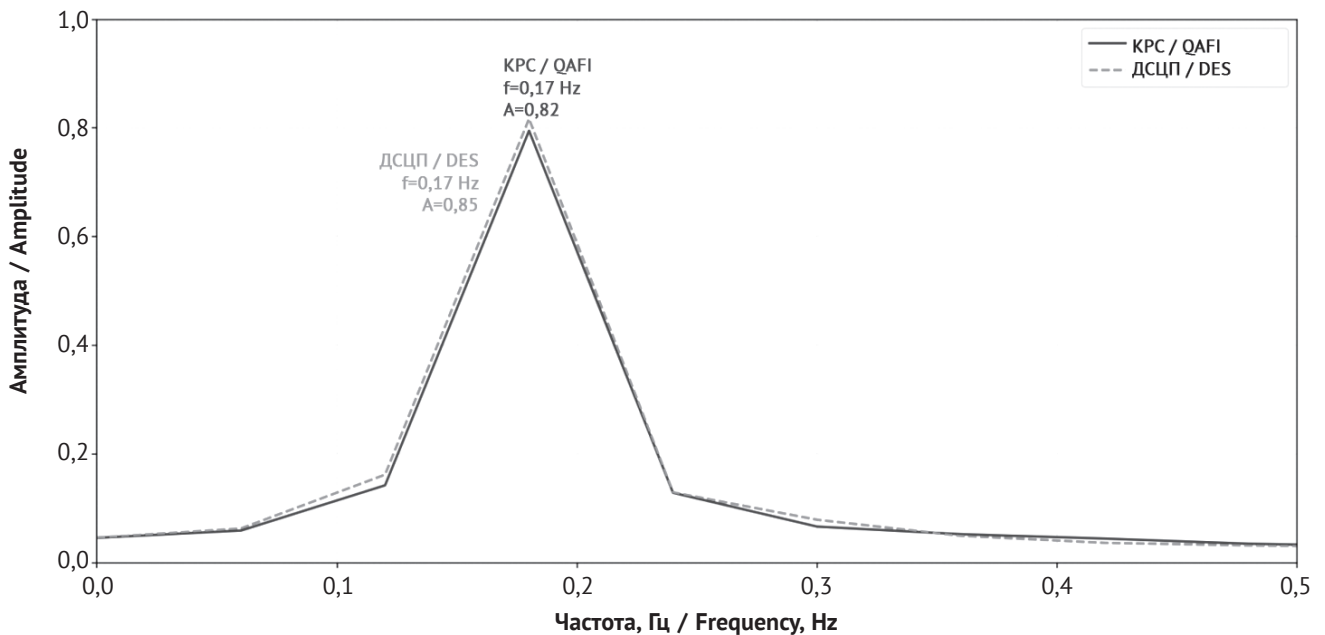


Рис. 7. Сравнение спектрограмм быстрого преобразования Фурье для обоих методов.  
КРС – количественная рентгеноскопия; ДСЦП – динамическая сцинтиграфия пищевода  
Fig. 7. Comparison of fast Fourier transform spectrograms for both methods.  
QAFI – quantitative analysis of fluoroscopic images; DES – dynamic esophageal scintigraphy

ного количественного анализа рентгеноскопических изображений успешно решает ключевую проблему традиционной рентгеноскопии – субъективность визуальной интерпретации. Высокая согласованность с референсным методом ДСЦП (DTW-расстояние  $0,0545 \pm 0,012$ ; синхронная кросс-корреляция  $0,925 \pm 0,06$ ) и отсутствие си-

стематического смещения (разность  $-0,01$ ; 95% ДИ  $-0,08-0,06$ ) подтверждают, что динамика оптической плотности контраста является объективным отражением физиологии транспорта болюса.

Это исследование вносит свой вклад в общее направление автоматизации анализа рентгеноскопии пищевода, целью которого является стандар-

## Результаты анализа воспроизводимости результатов

Table 3

## Results of the reproducibility analysis

Метрика / Metrics	Межоператорский ICC (95% ДИ) / Intra-operator ICC (95% CI)	Внутриоператорский ICC (95% ДИ) / Inter-operator ICC (95% CI)	Межоператорский CV, % / Intra-operator CV, %	Внутриоператорский CV, % / Inter-operator CV, %
ТТР, с	0,98 (0,96–0,99)	0,97 (0,94–0,98)	4,2	4,6
AUC	0,97 (0,95–0,99)	0,96 (0,93–0,98)	3,8	4,1

Примечание. ICC (intraclass correlation coefficient) – коэффициент внутриклассовой корреляции; CV (coefficient of variation) – коэффициент вариации; ТТР (time-to-peak) – время достижения пика активности; AUC (area under curve) – площадь под кривой.

Note. ICC – intraclass correlation coefficient; CV – coefficient of variation; ТТР – time-to-peak; AUC – area under curve.

тизация оценки его моторной функции [7, 8]. Наш подход, основанный на отслеживании изменений оптической плотности, принципиально отличается от методик, фокусирующихся на расчете биомеханических параметров (например, FluoroMech [8]), что подчеркивает разнообразие путей для достижения объективной количественной оценки.

Предложенный метод сочетает в себе преимущества классической рентгеноскопии (неинвазивность, доступность и возможность визуализации анатомии [7]) с количественными возможностями ДСЦП. В отличие от ДСЦП, которая выполняется на ограниченно распространенном оборудовании и требует применения РФЛП [9], КРС анализирует стандартные DICOM-записи, что исключает дополнительную лучевую нагрузку и снижает затраты. При этом диагностическая точность (чувствительность и специфичность 100%) сопоставима с данными, полученными при анализе скинтиграфических кривых [9]. Важно отметить, что традиционная рентгеноскопия часто не способна выявить ранние нарушения моторики из-за субъективности интерпретации [7], тогда как представленный автоматизированный анализ позволяет количественно оценить даже минимальные отклонения.

Результаты данного исследования демонстрируют не только высокую конкордантность временных рядов (DTW, кросс-корреляция), но и сопоставимость абсолютных физиологических показателей, таких как ТТР и AUC. Это имеет решающее значение, поскольку подтверждает, что предложенный алгоритм не только имитирует форму кривой, но и точно отражает количественные характеристики транзита болюса.

Доказанная высокая воспроизводимость метода (межоператорский ICC > 0,98, внутриоператорский ICC > 0,97) является прямым ответом на один из ключевых вопросов в валидации новых диагностических подходов. Эти данные обосно-

вывают надежность и практическую применимость метода в повседневной клинической практике, где стабильность результатов вне зависимости от оператора имеет первостепенное значение. Высокая диагностическая точность, выраженная в значении AUC 0,998, подтверждает, что метод может служить эффективным инструментом для скрининга и диагностики нарушений моторики пищевода.

Согласованность предложенной методики подтверждается полным совпадением клинических заключений по типу и степени выраженности нарушений ТПФП у всех обследованных пациентов. Это особенно важно для таких состояний, как ахалазия или эозинофильный эзофагит, где точное определение характера моторной дисфункции (гипотония, гипертония, спазм и т.д.) напрямую влияет на выбор тактики лечения [7]. Кроме того, интеграция алгоритма в системы передачи и архивации DICOM-изображений (picture archiving and communication system, PACS) позволяет ретроспективно анализировать архивные данные, что открывает возможности для масштабных исследований без дополнительных затрат.

Основным ограничением исследования является его одноцентровый дизайн и небольшая выборка (n=34). Они обеспечивают достаточную мощность для выявления средних эффектов, но могут не позволить обнаружить малые различия между методами или провести детальный анализ подгрупп по типу патологии. Тем не менее параметры сопоставимы с аналогичными пилотными работами в области автоматизированного анализа, такими как валидация методики FluoroMech [8]. Для подтверждения воспроизводимости результатов необходимы более крупные исследования с выборкой от 100 пациентов и сравнением с высокоточной манометрией [7]. Кроме того, текущий протокол предусматривает использование только жидкого контрастирования бариевой взвесью, тогда как оценка твердых и полутвердых субстанций

могла бы расширить диагностические возможности метода, особенно при дисфагии [7].

Перспективным направлением является адаптация алгоритма для анализа влияния структурных изменений на ТПФП, таких как стриктуры или дивертикулы, которые традиционно оцениваются визуально [7]. Внедрение нормативных значений для различных возрастных групп и патологий (например, при эозинофильном эзофагите [7]), повысит клиническую применимость метода. Теоретически, предложенный подход может быть адаптирован для других отделов желудочно-кишечного тракта, где количественная оценка моторики остается актуальной задачей.

Методика КРС устанавливает новый стандарт в радиологии пищевода, объединяя качественную визуализацию с объективными количественными метриками. Доказанная эквивалентность кривых активности (линейный регрессионный анализ показал высокую степень линейной зависимости между показателями активности, полученными методами КРС и ДСЦП:  $R^2 0,90 \pm 0,08$ ) подтверждает, что изменения оптической плотности коррелируют с физиологическими процессами. Это согласуется с биомеханическими моделями транспорта болюса [8] и создает основу для разработки аналогичных алгоритмов в других областях, таких как оценка перистальтики кишечника или функции глотания.

## Заключение / Conclusion

Разработанный алгоритм автоматизированного количественного анализа рентгеноскопических записей надежно извлекает и обрабатывает данные, формируя репрезентативные метрики (DTW, ТТР, AUC), пригодные для объективной оценки транзита пищевода.

Верификация на когорте из 34 пациентов показала высокую конкордантность с ДСЦП (среднее DTW  $0,0545 \pm 0,012$ ; максимальная кросс-корреляция  $0,925 \pm 0,06$ ), отсутствие систематической ошибки по Бланду–Альтману (средняя разница  $-0,01$ ) и отличную общую согласованность (ICC  $0,915$ ; 95% ДИ  $0,886-0,941$ ). Метод продемонстрировал превосходные диагностические характеристики (AUC  $0,94$ , чувствительность  $0,90$ , специфичность  $0,88$ ) и высокую воспроизводимость (межоператорский ICC  $>0,98$ , внутриоператорский ICC  $>0,97$ ), что подтверждает его применимость для клинического скрининга и мониторинга.

Предложенный подход обеспечивает объективную и воспроизводимую количественную оценку транзита пищевода на базе широкодоступной традиционной рентгеноскопии, что позволяет расширить возможности метрической диагностики структурно-функциональных нарушений при различных заболеваниях пищевода в повседневной клинической практике.

## Литература [References]

- Li N, Yang WL, Cai MH, et al. Burden of gastroesophageal reflux disease in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of disease study 2019. *BMC Public Health*. 2023; 23(1): 582. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15272-z>.
- Lee K, Hong SP, Yoo IK, et al. Global trends in incidence and prevalence of achalasia, 1925–2021: a systematic review and meta-analysis. *United European Gastroenterol J*. 2024; 12(4): 504–15. <https://doi.org/10.1002/ueg.12555>.
- Dellon ES, Hirano I. Epidemiology and natural history of eosinophilic esophagitis. *Gastroenterology*. 2018; 154(2): 319–32. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2017.06.067>.
- Assadian M, Sanat ZM, Soleimani HA, Mikaeli J. Prevalence of different types of primary esophageal motility disorders and their associated factors in patients referring to Shariati Hospital during 2018–2019. *Middle East J Dig Dis*. 2022; 14(1): 70–6. <https://doi.org/10.34172/mejdd.2022.258>.
- Carlson DA, Pandolfino JE. High-resolution manometry in clinical practice. *Gastroenterol Hepatol*. 2015; 11(6): 374–84.
- Баширов Р.А., Самойленко Л.Е., Рыжкин С.А. и др. Радионуклидная диагностика нарушений транспортной функции пищевода и гастроэзофагеального рефлюкса у пациентов с системной склеродермией. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023; 104(2): 124–37. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-2-124-137>. [Bashirov RA, Samoilenko LE, Ryzhkin SA, et al. Radionuclide diagnosis of esophageal dysmotility and gastroesophageal reflux in patients with systemic sclerosis. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104(2): 124–37 (in Russ). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-2-124-137>]
- O'Connor MK, Byrne PJ, Keeling P, Hennessy TP. Esophageal scintigraphy: applications and limitations in the study of esophageal disorders. *Eur J Nucl Med*. 1988; 14(3): 131–6. <https://doi.org/10.1007/BF00293536>.
- Halder S, Acharya S, Kou W, et al. Mechanics informed fluoroscopy of esophageal transport. *Biomech Model Mechanobiol*. 2021; 20(3): 925–40. <https://doi.org/10.1007/s10237-021-01420-0>.
- Scharitzer M, Pokieser P, Ekberg O. Oesophageal fluoroscopy in adults – when and why? *Br J Radiol*. 2024; 97(1159): 1222–33. <https://doi.org/10.1093/bjr/tqae062>.



# Оценка диагностической эффективности стереотаксической биопсии в верификации подозрительных образований молочной железы (категории BI-RADS 4–5)

Фатхутдинова А.Т.<sup>1,2</sup>, Юсупова А.Ф.<sup>1</sup>, Медведева С.В.<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>

**Медведева Софья Владимировна**, ординатор кафедры онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России; <https://orcid.org/0009-0007-9122-8500>

## Резюме

**Актуальность.** Рак молочной железы (РМЖ) остается ведущей онкологической патологией среди женского населения, что определяет особую важность методов его раннего и точного обнаружения. В качестве одного из них применяется стереотаксическая биопсия (СТБ) – малоинвазивная процедура, позволяющая получить гистологическое подтверждение диагноза по данным маммографии. Однако ее диагностические показатели при работе с разными подкатегориями изменений по системе BI-RADS (Breast Imaging Reporting and Data System) нуждаются в дополнительной детализации в условиях реальной клинической практики.

**Цель:** оценить диагностическую эффективность СТБ в выявлении РМЖ у пациенток с подозрительными изменениями (BI-RADS 4a, 4b, 4c, 5) на маммограммах в контексте корреляции между лучевыми заключениями и гистологическим диагнозом.

**Материал и методы.** В ретроспективном одноцентровом исследовании изучены данные 102 пациенток, которым выполнялась СТБ. В 54 случаях результаты СТБ сопоставляли с заключениями послеоперационного гистологического анализа. Рассчитаны ключевые показатели диагностической эффективности, а также коэффициент согласованности каппа ( $\kappa$ ) Коэна.

**Результаты.** По данным СТБ злокачественные, предраковые и доброкачественные процессы выявлены в 18,6% (19/102), 11,8% (12/102) и 69,6% (71/102) случаев соответственно. При сравнении с данными эксцизионной биопсии ( $n=54$ ) получены следующие показатели СТБ: диагностическая точность 90,7%, чувствительность 84%, специфичность 100%, положительная и отрицательная прогностическая ценность 100% и 81,4% соответственно. Доля ложноотрицательных результатов составила 9,2% (5/54). Согласованность между методами оказалась очень высокой ( $\kappa=0,85$ ). Наибольшая частота подтверждения РМЖ была связана с подкатегорией BI-RADS 4c.

**Заключение.** СТБ доказала свою высокую точность и эффективность в качестве метода морфологической верификации подозрительных образований молочной железы категорий BI-RADS 4–5, способствуя сокращению числа необоснованных хирургических вмешательств. Основным направлением для дальнейшего улучшения методики является снижение частоты ложноотрицательных заключений за счет оптимизации техники забора тканевого материала.

**Ключевые слова:** стереотаксическая трепан-биопсия; рак молочной железы; система BI-RADS; диагностическая точность.

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

**Для цитирования:** Фатхутдинова А.Т., Юсупова А.Ф., Медведева С.В. Оценка диагностической эффективности стереотаксической биопсии в верификации подозрительных образований молочной желе-

зы (категории BI-RADS 4–5). *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2026; 107(1): 50–61. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-50-61>

**Для корреспонденции:** Фатхутдинова Аида Тагировна, e-mail: aida0906@yandex.ru

Статья поступила 01.02.2026

После доработки 20.03.2026

Принята к печати 31.03.2026

## Evaluation of Stereotactic Biopsy Diagnostic Efficacy in Verification of Suspicious Breast Lesions (BI-RADS Categories 4–5)

**Aida T. Fatkhutdinova<sup>1,2</sup>, Alsu F. Yusupova<sup>1</sup>, Sofia V. Medvedeva<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 Professor 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 Professor 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>

**Sofia V. Medvedeva**, Resident, Chair of Oncology, Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Kazan State Medical University; <https://orcid.org/0009-0007-9122-8500>

### Abstract

**Background.** Breast cancer remains the leading oncological pathology among the female population, which underscores the critical importance of methods for its early and accurate detection. Stereotactic biopsy (STB) is one of them: it is a minimally invasive procedure that provides histological confirmation of a diagnosis based on mammographic findings. However, its diagnostic performance when working with different subcategories of Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS) requires further clarification in real-world clinical practice.

**Objective:** to evaluate STB diagnostic efficacy in detecting breast cancer in patients with suspicious mammographic findings (BI-RADS 4a, 4b, 4c, 5) in the context of correlation between radiologic conclusions and histological diagnosis.

**Material and methods.** A retrospective single-center study analyzed data from 102 patients who underwent STB. In 54 cases, STB results were compared with postoperative histological analysis findings. Key diagnostic performance indicators and the Cohen's kappa ( $\kappa$ ) agreement coefficient were calculated.

**Results.** According to STB, malignant, precancerous, and benign processes were identified in 18.6% (19/102), 11.8% (12/102), and 69.6% (71/102) of cases, respectively. When compared with excision biopsy data ( $n=54$ ), STB demonstrated the following metrics: diagnostic accuracy 90.7%, sensitivity 84%, specificity 100%, positive and negative predictive values 100% and 81.4%, respectively. The false negative rate was 9.2% (5/54). Agreement between the methods was very high ( $\kappa=0.85$ ). The highest frequency of cancer confirmation was associated with the BI-RADS 4c subcategory.

**Conclusion.** STB has proven to be a highly accurate and effective method for the morphological verification of suspicious breast lesions categorized as BI-RADS 4–5, contributing to a reduction in the number of unjustified surgical interventions. The primary direction for further improvement of the technique is to reduce the frequency of false negative results by optimizing the tissue sampling procedure.

**Keywords:** stereotactic core needle biopsy, breast cancer, BI-RADS, diagnostic accuracy.

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

**For citation:** Fatkhutdinova AT, Yusupova AF, Medvedeva SV. Evaluation of stereotactic biopsy diagnostic efficacy in verification of suspicious breast lesions (BI-RADS categories 4–5). *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2026; 107(1): 50–61 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-50-61>

**For corresponding:** Aida T. Fatkhutdinova, e-mail: aida0906@yandex.ru

Received February 1, 2026

Revised March 20, 2026

Accepted March 31, 2026

## Введение / Introduction

Рак молочной железы (РМЖ) продолжает оставаться глобальной медико-социальной проблемой, определяя структуру онкологической патологии и смертности среди женского населения [1]. Цифры, предоставляемые международными агентствами (Global Cancer Observatory), не оставляют сомнений в масштабе вызова: в 2022 г. в мире зафиксировано порядка 2,29 млн новых случаев РМЖ, что соответствует 11,5% в общей структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями. Смертность от данного заболевания достигла 666 103 случаев (6,8% от всех онкологических причин смерти). В Российской Федерации наблюдается сопоставимая тенденция: около 78 839 новых случаев и 22 115 летальных исходов за аналогичный период.

Несмотря на непрерывное совершенствование терапевтических подходов, именно раннее выявление болезни через программы маммографического скрининга исторически доказало наибольшее влияние на снижение смертности в популяции [2]. Вместе с тем метод маммографии имеет ряд ограничений. К ним относят высокую рентгенологическую плотность паренхимы железы у значительной доли женщин, а также особенности биологии отдельных опухолей, затрудняющие их визуализацию [3].

Стандартизация описания и интерпретации визуализационных исследований стала возможна благодаря широкому внедрению системы BI-RADS (Breast Imaging Reporting and Data System), разработанной под эгидой Американского колледжа радиологии [4]. Находки, отнесенные к категориям 4 и 5, подразумевают риск малигнизации от 2% до 95% и диктуют необходимость обязательного морфологического подтверждения. Однако внутри этих категорий, особенно BI-RADS 4, прогностическая ценность неоднородна. Согласно данным исследований, вероятность злокачественного процесса для подкатегории 4a обычно не превышает 10%, в то время как для подкатегории 4c этот показатель может достигать 50–95% [5]. Такая существенная вариабельность прогноза делает критически важным выбор максимально точного метода верификации, что, в свою очередь, обусловило активное использование стереотаксической биопсии (СТБ) под рентгеновским наведением.

Суть СТБ заключается в точном чрескожном получении фрагментов патологической ткани под визуализационным рентген-контролем, что обеспечивает ее морфологическую оценку. Это позволяет установить окончательный диагноз и определить дальнейшую лечебную тактику у пациенток с непальпируемыми образованиями [6]. Исторической точкой отсчета современной методики можно считать 1988 г., когда американский радиолог

S.H. Parker впервые выполнил такую биопсию, используя систему «пистолет – игла» [7]. Последовавшая за этим техническая эволюция (интеграция биопсийных устройств в маммографические стереотаксические комплексы, улучшение совместимости с методами наведения с помощью магнитно-резонансной томографии) привела к тому, что сегодня ежегодно выполняются миллионы подобных процедур. Они обеспечивают экономически эффективный, точный и безопасный способ получения гистологического материала, выступая полноценной альтернативой открытой хирургической биопсии [8].

К несомненным преимуществам СТБ, подтвержденным рядом исследований, относятся ее высокие диагностические критерии: чувствительность на уровне 97%, точность около 98% и специфичность, приближающаяся к 100%<sup>1</sup>. Будучи менее инвазивной, методика сопряжена с меньшим числом осложнений. В литературе приводятся следующие данные: частота гематом составляет 2–10%, инфицирования – 4–6%, необходимости повторного вмешательства – около 4% [9]. Общая частота значимых нежелательных явлений оценивается в 1–1,5%, а тяжелых осложнений – в менее 1% [9]. Возможность проведения процедуры в амбулаторных условиях, снижение количества неоправданных хирургических операций и, как следствие, уменьшение экономической нагрузки на систему здравоохранения также входят в число ключевых достоинств метода [10, 11].

Клинические показания к выполнению СТБ под рентгенологическим контролем четко определены и включают оценку эффективности проведенной неoadьювантной химиотерапии, а также следующие факторы, визуализируемые при маммографии:

- группы микрокальцинатов на фоне узлового компонента или неизменной ткани;
- непальпируемые узловые образования с признаками, вызывающими онкологическую настороженность (асимметричная плотность, неровные/спикулообразные контуры, дезорганизация архитектоники), при их неубедительной визуализации на ультразвуковом исследовании;
- появление новых микрокальцинатов или очаговых изменений в зоне послеоперационного рубца.

Таким образом, СТБ прочно вошла в арсенал современных диагностических методов. Однако, несмотря на ее широкое применение и изучен-

<sup>1</sup> Куплевацкая Д.И. Возможности стереотаксической биопсии под рентгеновским контролем в диагностике непальпируемого рака молочной железы. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб.; 2004.

ность общих характеристик, вопросы, связанные с детальной оценкой диагностической правильности методики применительно к различным подкатегориям BI-RADS в рутинной клинической практике, остаются предметом для уточнения и дальнейшего анализа.

**Цель** – оценить диагностическую эффективность СТБ в выявлении РМЖ у пациенток с подозрительными изменениями (BI-RADS 4a, 4b, 4c, 5) на маммограммах в контексте корреляции между лучевыми заключениями и гистологическим диагнозом.

### Материал и методы / Material and methods

Настоящая работа основана на принципах ретроспективного одноцентрового анализа. Клинической базой для проведения исследования являлось ГАУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер Министерства здравоохранения Республики Татарстан имени профессора М.З. Сигала». В анализ включены данные 102 пациенток, находившихся под наблюдением в период с 2024 по 2025 гг. Возрастной диапазон обследованных женщин составил от 39 до 75 лет (средний возраст  $59,2 \pm 9,47$  года).

Отбор случаев для исследования проводился в соответствии с рядом последовательно применявшихся критериев. Ключевым условием было обнаружение при проведении цифровой маммографии изменений, трактованных как требующие морфологической верификации: разнообразные по форме и плотности микрокальцинаты, узловые образования, контуры которых описывались как нечеткие или неровные, а также участки асимметричной плотности без четких границ. Формальным основанием для назначения биопсии служило отнесение выявленных изменений к категориям 4 или 5 по системе BI-RADS. Техническим условием включения стало выполнение именно стереотаксической трепан-биопсии под рентгеновским наведением с использованием игл калибра 14G.

Лучевую диагностику на предварительном этапе осуществляли с помощью цифрового маммографического комплекса Fujifilm FDR MS-3500 (Япония). Исследование выполняли в двух стандартных взаимно перпендикулярных проекциях: прямой краниокаудальной и косой медиолатеральной.

Процедуру стереотаксической биопсии проводили в соответствии с внутренним регламентированным протоколом, ключевые этапы которого представлены на рисунке 1. Алгоритм включал последовательное планирование (определение пространственных координат цели по стереоскопической паре рентгенограмм), точное позиционирование пациентки и молочной железы в биопсийном устройстве, местную инфильтра-

ционную анестезию, выполнение минимального кожного доступа, прицельный забор нескольких столбиков ткани (как правило, от 10 до 12). Завершающим этапом являлся рентгенологический контроль, подтверждавший адекватность забора материала из целевой зоны и корректное положение маркера.

Все полученные образцы тканей подвергали стандартной гистологической обработке с фиксацией в формалине и проводкой в парафин. Приготовленные срезы окрашивали гематоксилином и эозином. В случаях, когда морфологическая картина соответствовала злокачественному процессу, дополнительно проводили иммуногистохимическое исследование с оценкой статуса гормональных рецепторов (эстрогеновых, прогестероновых) и экспрессии белка – рецептора эпидермального

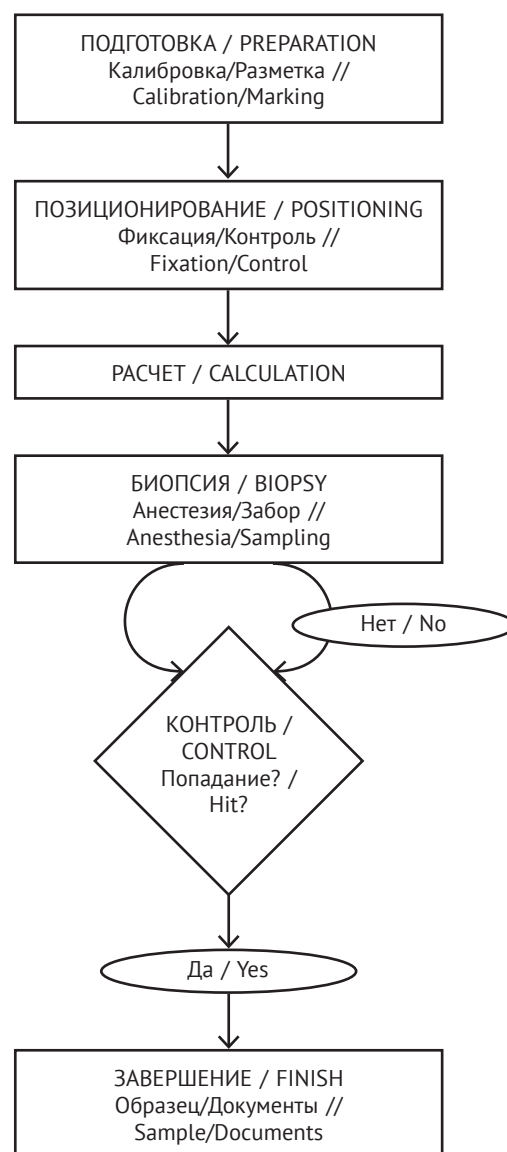


Рис. 1. Алгоритм выполнения стереотаксической биопсии  
Fig. 1. Algorithm for performing stereotactic biopsy

фактора роста человека 2-го типа (human epidermal growth factor receptor 2, HER2/neu).

Массив полученных данных систематизировали и обрабатывали с применением программных пакетов Microsoft Excel 2023 и IBM SPSS Statistics v. 18.0 (США). Для оценки согласованности диагнозов, установленных при стереотаксической и эксцизионной биопсии, использовали коэффициент каппа ( $\kappa$ ) Коэна.

## Результаты / Results

Гистологическая структура выявленных в ходе СТБ изменений была распределена следующим образом. В большинстве наблюдений ( $n=71$ ; 69,61%) процесс носил доброкачественный характер. В этой группе фиброзно-кистозная мастопатия непролиферативного типа доминировала, составляя 84,51% от всех доброкачественных исходов. Реже встречались простая протоковая гиперплазия и склерозирующий аденоз (по 5,63%), а также единичные случаи фиброаденомы, внутрипротоковой папилломы и апокриновой метаплазии (по 1,41%).

Предраковые состояния были верифицированы в 12 (11,76%) исследованиях. Наиболее частым диагнозом в этой категории стала атипичная протоковая гиперплазия (41,67%). Атипичная

дольковая и смешанная протоково-дольковая гиперплазия вместе составили 25,00% наблюдений, а пролиферативная форма фиброзно-кистозной мастопатии диагностирована в 33,33% случаев.

Злокачественный процесс подтвержден в 19 (18,60%) выполненных биопсиях. Структура этой группы характеризовалась выраженным преобладанием внутрипротокового рака *in situ* (ductal carcinoma *in situ*, DCIS) – 78,95%. На долю инвазивных карцином пришлось 21,05%.

Для объективной оценки диагностической состоятельности метода сформирована референтная группа из 54 пациенток, которым после СТБ выполнено хирургическое вмешательство, позволившее получить материал для окончательного гистологического заключения. Именно сопоставление данных СТБ с этими послеоперационными результатами легло в основу расчета ключевых метрик.

В данной подгруппе доля злокачественных новообразований, подтвержденных в итоге обоими методами, достигла 35,18% ( $n=19$ ). Типичные примеры таких случаев представлены на рисунках 2–7, где отражена последовательность от маммографического обнаружения подозрительного образования (рис. 2, 5) через этап стереотаксического наведения (рис. 3, 6) до демонстрации гистологической картины карциномы (рис. 4, 7).

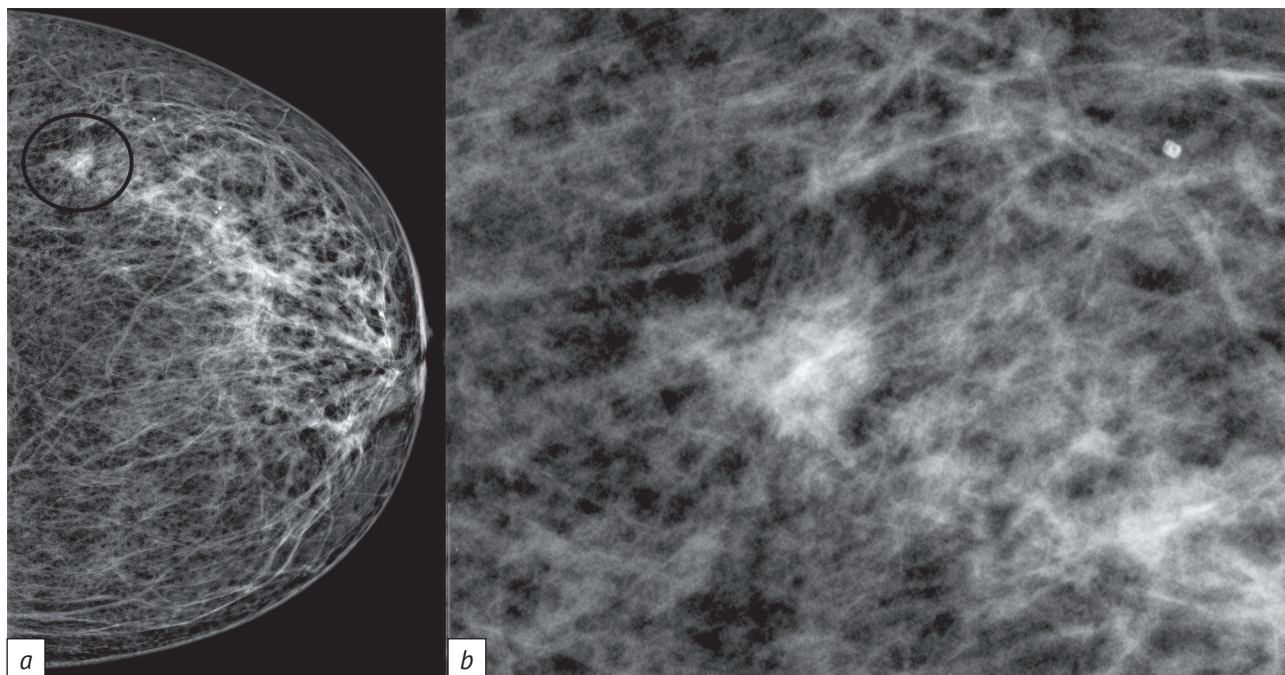
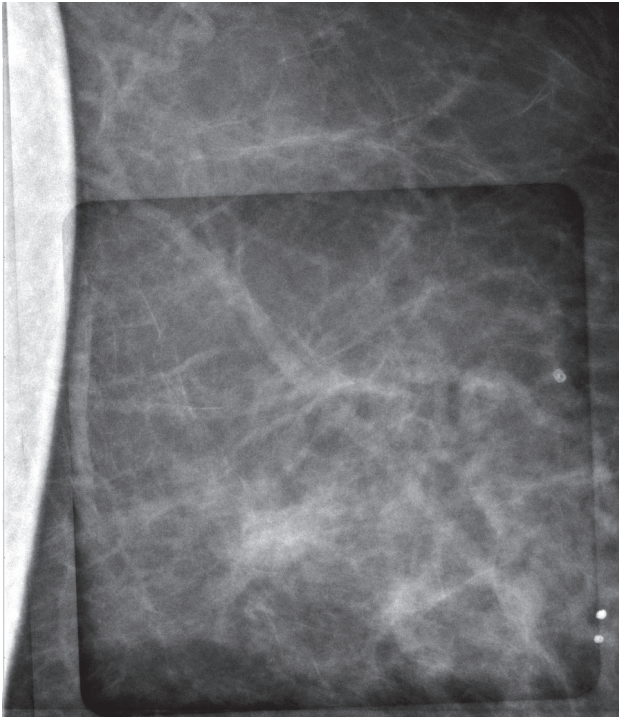


Рис. 2. Цифровая маммограмма левой молочной железы:

*a* – краниокаудальная проекция, в верхненаружном квадранте, ближе к основанию, определяется образование с нечеткими контурами (отмечено кругом); *b* – прицельное увеличение зоны интереса, детализируется структура образования и визуализируются тяжи в окружающие ткани (категория BI-RADS 4 – подозрительное очаговое образование)

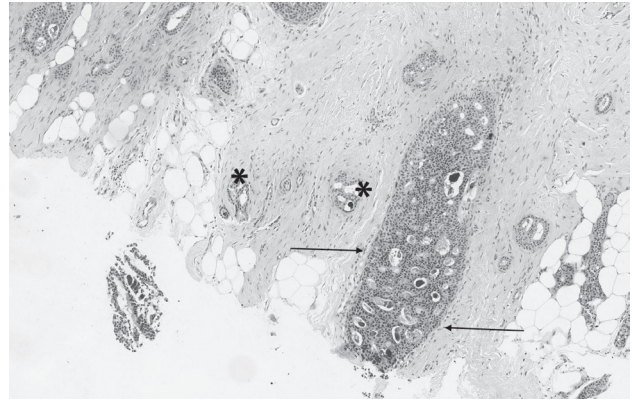
Fig. 2. Left breast digital mammogram:

*a* – craniocaudal projection; in the upper outer quadrant, closer to the base, a lesion with fuzzy contours is identified (circled); *b* – targeted magnification of the region of interest, detailing the structure of the lesion and visualizing extensions into the surrounding tissue (BI-RADS category 4 – suspicious focal lesion)



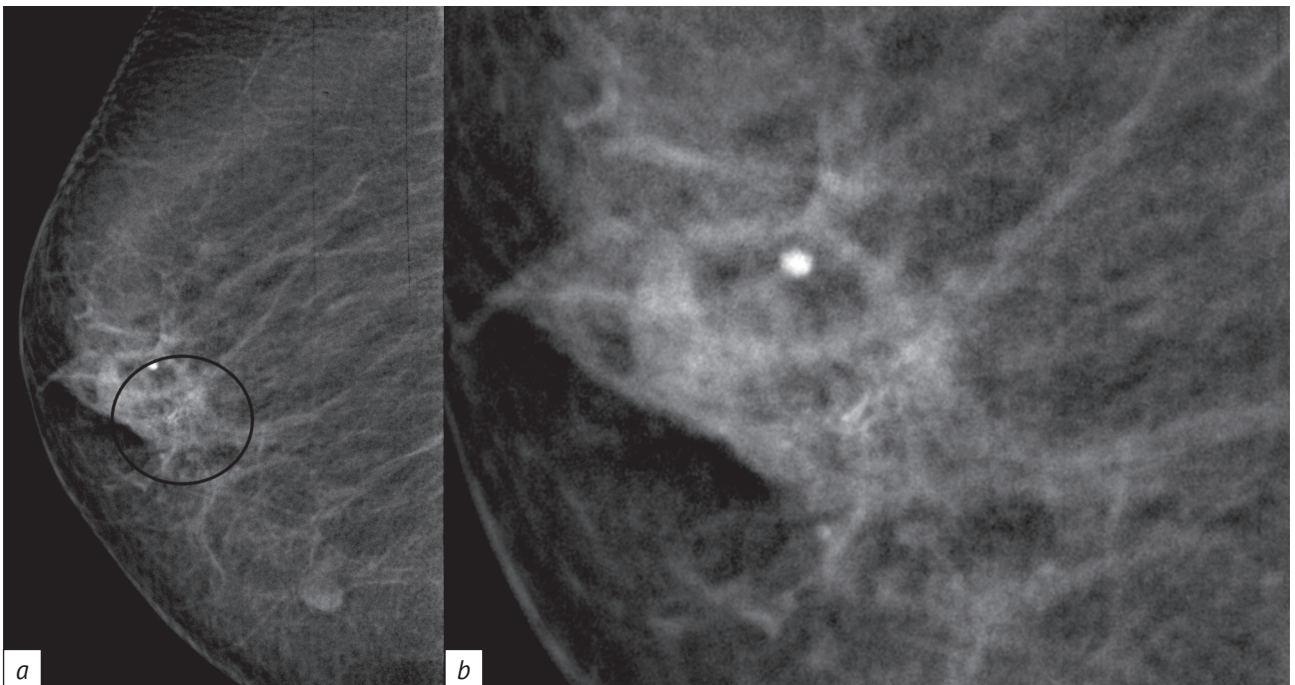
*Рис. 3.* Стереотаксическая маммограмма с наведением в режиме прицельной съемки

*Fig. 3.* Stereotactic mammogram with targeting in the targeted shooting mode



*Рис. 4.* Микропрепарат ткани молочной железы, полученной при стереотаксической биопсии. Внутрипротоковая карцинома, криброзный тип, G2. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение  $\times 50$ . Видны расширенные протоки, заполненные опухолевыми клетками, формирующими многочисленные просветы по типу решета (криброзный паттерн). Контур протоков четкие и ровные (стрелки). В фиброзной строме видны дисторцированные, угловатые тубулярные структуры (звездочки)

*Fig. 4.* Microscopic specimen of breast tissue obtained by stereotactic biopsy. Ductal carcinoma, cribriform type, G2. Hematoxylin and eosin staining, magnification  $\times 50$ . Dilated ducts filled with tumor cells forming numerous lumens in a cribriform pattern are visible. The ductal contours are clear and smooth (arrows). Distorted, angular tubular structures (asterisks) are visible in the fibrous stroma



*Рис. 5.* Цифровая маммограмма правой молочной железы:

*a* – краниокаудальная проекция, в субареолярной зоне определяется группа полиморфных микрокальцинатов (отмечена кругом); *b* – прицельное увеличение зоны интереса, детально визуализируются полиморфные и гетерогенные по форме и плотности микрокальцинаты (подкатегория BI-RADS 4c)

*Fig. 5.* Right breast digital mammogram:

*a* – craniocaudal projection, showing a group of polymorphic microcalcifications in the subareolar area (circled); *b* – targeted magnification of the region of interest, showing detailed visualization of polymorphic and heterogeneous microcalcifications in shape and density (BI-RADS subcategory 4c)

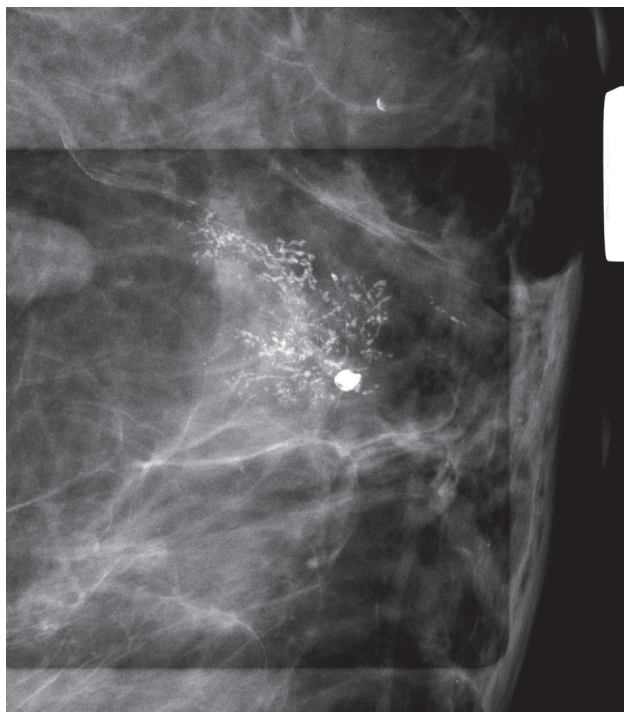


Рис. 6. Стереотаксическая маммограмма с наведением в режиме прицельной съемки

Fig. 6. Stereotactic mammogram with targeting in the targeted shooting mode

Предраковые изменения в группе хирургического лечения были окончательно подтверждены в 8 (14,81%) случаях. Доброкачественный характер процесса, установленный при СТБ, не был пересмотрен после операции в 22 (40,74%) наблюдениях. Таким образом, количество истинно-положительных результатов СТБ составило 27, а истинно-отрицательных – 22.

Вместе с тем анализ выявил 5 случаев расхождения, что соответствует 9,25% от общего числа прооперированных пациенток (n=54). Все эти расхождения классифицированы как ложно-отрицательные результаты СТБ. На рисунках 8–10 представлен клинический пример: изначально наблюдалась маммографическая картина скопления микрокальцинатов категории BI-RADS 4b (рис. 8), далее технически успешно выполнена биопсия (рис. 9), но последующее гистологическое исследование операционного материала выявило инвазивную карциному (рис. 10).

Ложноположительных заключений, то есть ситуаций, когда по данным СТБ диагностировался рак, а при последующей операции он не подтверждался, в нашем исследовании не зафиксировано.

На основе этих данных рассчитаны стандартные показатели диагностической эффективности СТБ: чувствительность 84%, специфичность 100%, точность 90,7%.

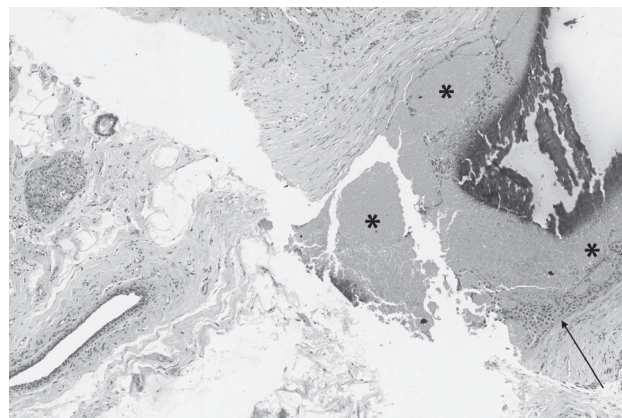


Рис. 7. Микропрепарат ткани молочной железы, полученной при стереотаксической биопсии. Внутритротоковая карцинома высокой степени злокачественности (DCIS G3) с центральными комедонекрозами. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение  $\times 50$ . Видны расширенные протоки, заполненные аморфными эозинофильными массами некроза (звездочки), окруженными периферическим слоем атипичных полиморфных опухолевых клеток (стрелка)

Fig. 7. Microscopic specimen of breast tissue obtained by stereotactic biopsy. High-grade ductal carcinoma (DCIS G3) with central comedonecrosis. Hematoxylin and eosin staining, magnification  $\times 50$ . Dilated ducts filled with amorphous eosinophilic necrotic masses (asterisks) are visible, surrounded by a peripheral layer of atypical polymorphic tumor cells (arrow)

Показатель расчетной положительной прогностической ценности составил:

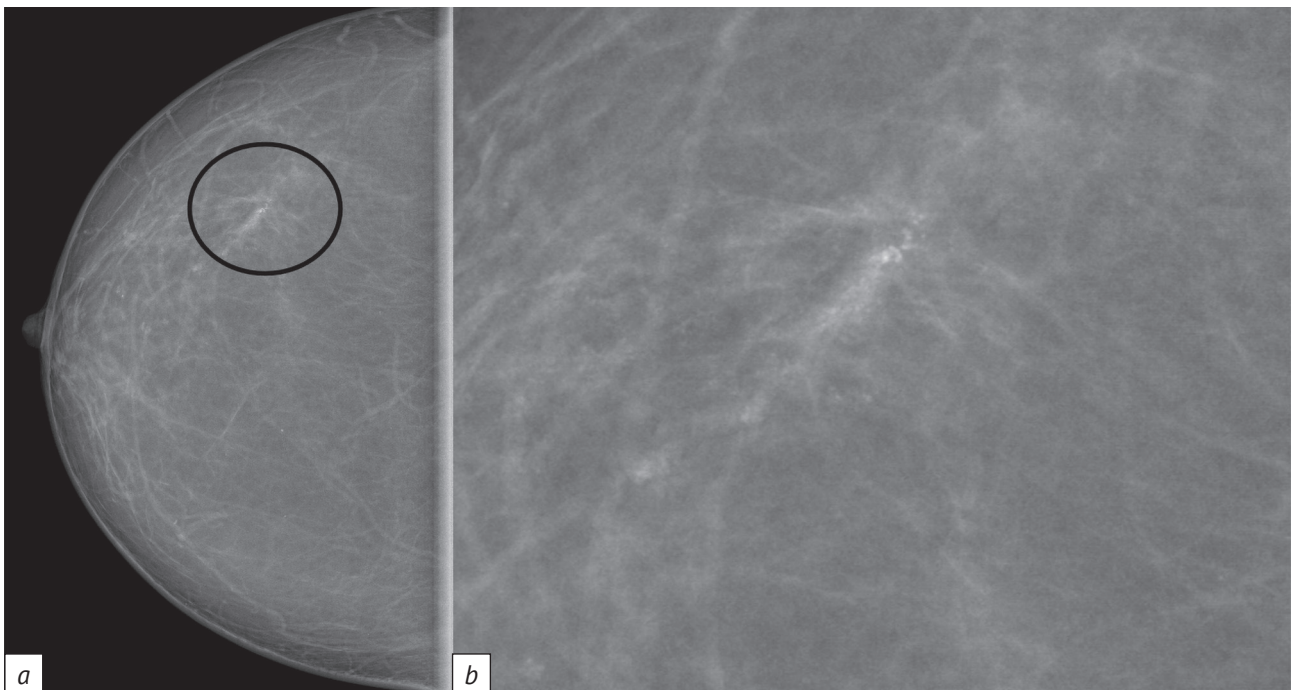
$$27 / (27 + 0) \times 100\% = 100\%.$$

Показатель расчетной отрицательной прогностической ценности:

$$22 / (22 + 5) \times 100\% = 81,4\%.$$

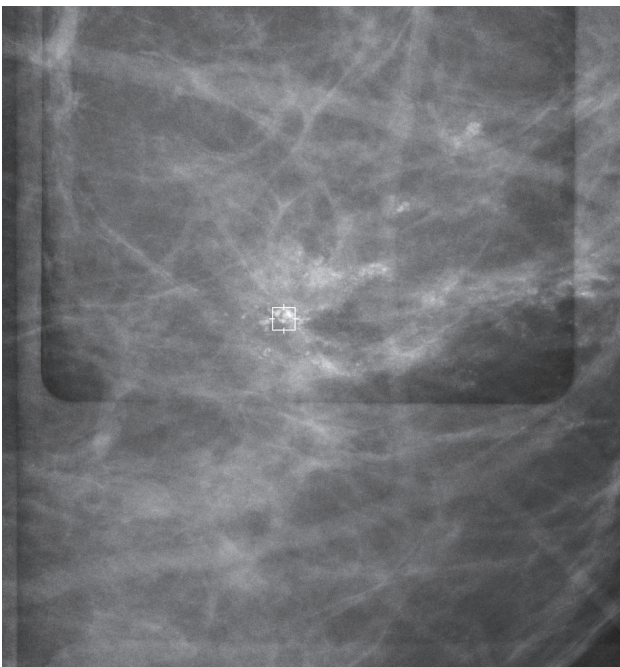
Для углубленного понимания взаимосвязи между первоначальными лучевыми признаками и окончательным диагнозом проведен сравнительный анализ трех групп пациенток, сформированных по итоговому гистологическому заключению: «рак» (n=23), «предраковое состояние» (n=9) и «доброкачественный процесс» (n=22). Результаты отражены в таблице 1.

Анализ данных позволил выявить отчетливые паттерны распределения подкатегорий BI-RADS. В группе злокачественных новообразований абсолютно доминирующей оказалась подкатегория 4c, на которую пришлось 65,22% (15/23) всех случаев рака. Это служит прямым подтверждением ее высокой прогностической значимости в отношении малигнизации. В противоположность этому в группе с доброкачественными исходами наиболее частыми находками были очаговые образования (36,36%) и подкатегория 4a (22,73%), что



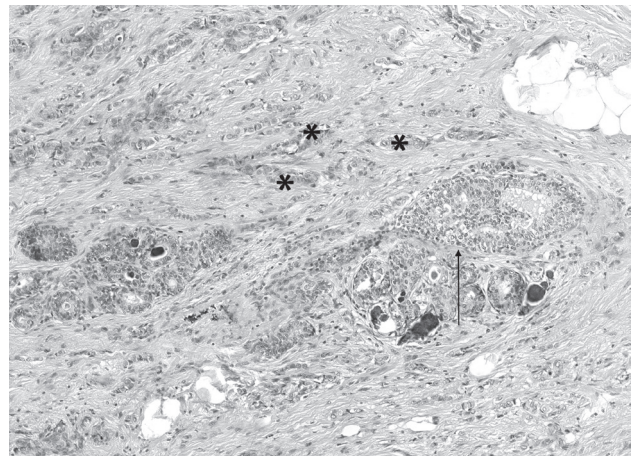
*Рис. 8.* Цифровая маммограмма правой молочной железы: *a* – краниокаудальная проекция, в верхненаружном квадранте определяется зона скопления микрокальцинатов (отмечена кругом); *b* – прицельное увеличение зоны интереса, визуализируются аморфные микрокальцинаты (подкатегория BI-RADS 4b)

*Fig. 8.* Digital mammogram of the right breast: *a* – craniocaudal projection, showing an area of microcalcification accumulation in the upper outer quadrant (circled); *b* – targeted magnification of the region of interest, visualizing amorphous microcalcifications (BI-RADS subcategory 4b)



*Рис. 9.* Стереотаксическая маммограмма с наведением в режиме прицельной съемки

*Fig. 9.* Stereotactic mammogram with targeting in the targeted shooting mode



*Рис. 10.* Микропрепарат ткани молочной железы, полученной при последующей эксцизионной биопсии (случай ложноотрицательной стереотаксической биопсии). Инвазивная карцинома неспецифического типа с внутрипротоковым компонентом (DCIS). Окраска гематоксилином и эозином, увеличение  $\times 50$ . Видны инвазивные железистые структуры и тяжи опухолевых клеток, хаотично расположенные в фиброзной строме (звездочки). Внизу – проток, заполненный опухолевыми клетками с сохраненной базальной мембраной (стрелка), что соответствует DCIS

*Fig. 10.* Microscopic specimen of breast tissue obtained during subsequent excisional biopsy (a case of false negative stereotactic biopsy). Invasive carcinoma of no special type with ductal component (DCIS). Hematoxylin and eosin staining, magnification  $\times 50$ . Invasive glandular structures and strands of tumor cells randomly located in the fibrous stroma are visible (asterisks). Below is a duct filled with tumor cells with preserved basement membrane (arrow), consistent with DCIS

## Сравнительная характеристика групп пациенток в зависимости от окончательного гистологического диагноза

Table 1

## Comparative characteristics of patient groups based on the final histological diagnosis

Характеристика / Characteristics	Рак / Cancer (n=23)	Предраковое состояние / Precancerous condition (n=9)	Доброкачественный процесс / Benign process (n=22)
Средний возраст, лет / Mean age, years	60,96±8,05	58,89±9,03	60,18±10,79
BI-RADS 4, n (%)			
очаговое образование / focal mass	4 (17,39)	2 (22,22)	<b>8 (36,36)</b>
нарушение архитектоники / architectonics disorder	0 (0,00)	1 (11,11)	1 (4,55)
Сгруппированные микрокальцинаты, n (%) / Grouped microcalcifications, n (%)			
BI-RADS 4a	0 (0,00)	1 (11,11)	<b>5 (22,73)</b>
BI-RADS 4b	3 (13,04)	<b>3 (33,33)</b>	5 (22,73)
BI-RADS 4c	<b>15 (65,22)</b>	2 (22,22)	3 (13,64)
BI-RADS 5	1 (4,35)	0 (0,00)	0 (0,00)

Примечание. Полужирным шрифтом выделены наиболее частые диагностические категории внутри каждой группы.

Note. The most common diagnostic categories within each group are highlighted in bold.

коррелирует с их заведомо низким риском. Подкатегория 4b имела промежуточный и вариабельный характер: она оказалась представлена с сопоставимой частотой во всех трех группах (от 13,04% до 33,33%), что подчеркивает ее диагностическую сложность. Категория BI-RADS 5 была корректно применена лишь в одном случае, который впоследствии подтвердился как рак. Выявленная закономерность (явный рост частоты верификации РМЖ по мере увеличения подкатегории BI-RADS от 4a к 4c) наглядно проиллюстрирована на рисунках 11, 12.

Отдельный интерес представляет анализ согласованности между предварительным диагнозом по СТБ и окончательным диагнозом после эксцизионной биопсии. Данные, включая все случаи расхождения, сведены в таблицу 2. Ключевые выводы:

- диагностическая точность СТБ при подтверждении доброкачественных и злокачественных процессов оказалась безупречной (все 22 и 19 случаев соответственно подтверждены хирургически);
- ложноотрицательные результаты (n=5) возникли в 2 наблюдениях (в одном случае доброкачественное заключение по СТБ скрывало рак, в другом – предрак), а также в 3 случаях, когда СТБ указывала на предраковое состояние, но при полном удалении обнаружена инвазивная карцинома;
- ложноположительных результатов не зарегистрировано.

При объективной статистической оценке степени согласия между двумя методами с помощью

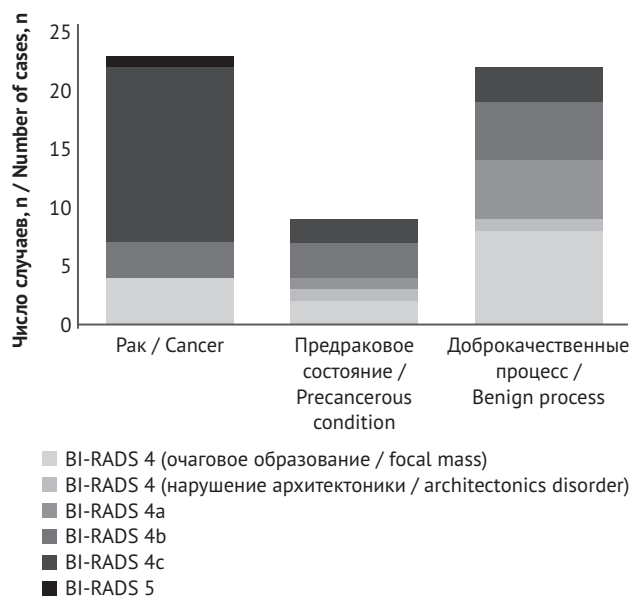


Рис. 11. Соотношение результатов стереотаксической биопсии в разрезе категорий BI-RADS

коэффициента каппа Козна получено значение  $\kappa=0,85$ , что интерпретируется как очень высокий уровень согласованности.

## Обсуждение / Discussion

Проведенный анализ позволяет констатировать, что СТБ демонстрирует высокую диагностическую эффективность при верификации

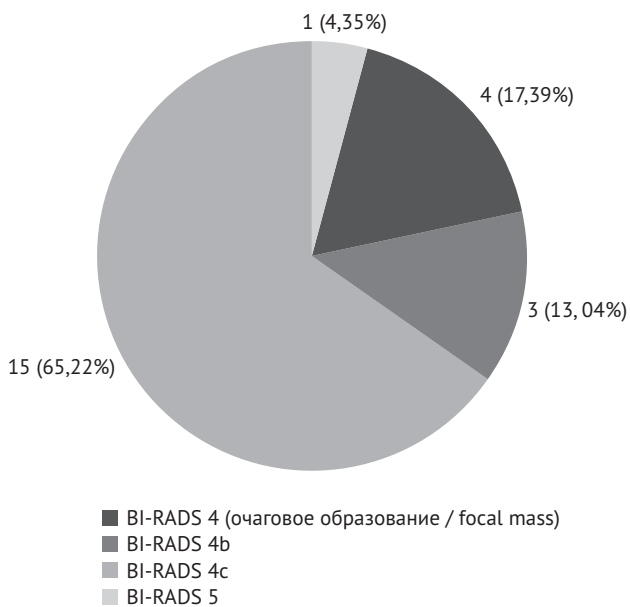


Рис. 12. Распределение случаев рака по подкатегориям BI-RADS

Fig. 12. Distribution of cancer cases by BI-RADS subcategories

сомнительных образований молочной железы. Рассчитанные нами показатели чувствительности (84%) и специфичности (100%) находятся в полном соответствии с диапазонами, приводимыми в современной научной литературе, где чувствительность метода оценивается от 77% до 100% при специфичности, также приближающейся к абсолютному значению [12, 13]. Столь высокий уровень специфичности является клинически крайне значимым, поскольку положительный результат исследования служит безоговорочным основанием для инициации планирования специального противоопухолевого лечения.

Отдельного внимания заслуживают результаты, касающиеся поражений с неопределенным потенциалом злокачественности, а также чистого DCIS. Как показывают данные других исследователей, доля злокачественных процессов среди поражений неопределенного потенциала, выявленных при кор-биопсии, при последующей эксцизии может варьироваться в широких пределах – от 10% до 50%. Риск выявления инвазивного компонента при DCIS, по литературным сведениям, составляет около 25% [9]. В нашем материале эти показатели оказались несколько ниже: лишь 5,56% поражений неопределенного потенциала и 7,41% DCIS в итоге были реклассифицированы как инвазивный РМЖ. Это может отражать как особенности отбора пациенток в наше исследование, так и высокую точность первоначального патоморфологического анализа биоптатов.

Особо следует отметить полное отсутствие в нашем исследовании ложноположительных заключений. Данный факт является прямым свидетельством высокой специфичности метода и надежности патоморфологической диагностики, полностью исключая риск проведения неадекватного хирургического или лекарственного лечения на основе ошибочного диагноза.

Вместе с тем выявленный уровень ложноотрицательных результатов, составивший 9,25%, указывает на существующие ограничения методики и определяет ключевой вектор для ее дальнейшего совершенствования. На основании детального разбора клинических ситуаций можно выделить несколько наиболее вероятных причин подобных расхождений. Первая группа причин носит технический характер и связана с ошибками прицеливания, особенно критичными для очагов малого размера (менее 5 мм в диаметре),

Таблица 2

**Сравнительная оценка гистологических диагнозов, полученных при стереотаксической и эксцизионной биопсии: анализ согласованности, n**

Table 2

**Comparative evaluation of histological diagnoses obtained by stereotactic and excisional biopsy: agreement analysis, n**

Диагноз при стереотаксической биопсии / Diagnosis by stereotactic biopsy	Диагноз при эксцизионной биопсии / Diagnosis by excisional biopsy			
	Доброкачественный / Benign	Предраковый / Precancerous	Рак / Cancer	Всего / Total
Доброкачественный / Benign	<b>22</b>	1	1	24
Предраковый / Precancerous	0	<b>8</b>	3	11
Рак / Cancer	0	0	<b>19</b>	19
Всего / Total	22	9	23	54

Примечание. Полу жирным шрифтом выделено количество случаев с полным совпадением диагнозов.

Note. The numbers of cases with a complete match of diagnoses are highlighted in bold.

когда даже минимальное отклонение иглы ведет к забору нерепрезентативного материала. Вторая группа объединяет факторы, обусловленные особенностями ткани железы: выраженный фиброз и склерозирующий аденоз создают повышенную плотность стромы, что физически затрудняет корректный забор качественных столбиков ткани. Наконец, третья группа причин лежит в плоскости самой методики: забор недостаточного количества тканевых фрагментов (в нашем исследовании стандартом были 10–12 столбиков) повышает вероятность промаха мимо небольшого инвазивного компонента на фоне обширного DCIS или неоднородной зоны малигнизации. Полученная нами частота ложноотрицательных результатов хорошо вписывается в диапазон 6–11%, описанный в работах других авторов [14], что подтверждает универсальность данной проблемы.

Сравнительный анализ окончательных диагнозов в зависимости от первоначальной подкатегории BI-RADS наглядно иллюстрирует высокую прогностическую ценность данной системы. Нами продемонстрирована четкая зависимость: максимальная частота выявления карциномы ассоциирована с подкатегорией 4c (65,22% случаев), тогда как в подкатегории 4a ни в одном наблюдении рак не был подтвержден. Эти данные полностью согласуются с результатами, полученными М. Honda et al. [5], а также в других исследованиях, подтверждающих градацию риска внутри категории BI-RADS 4.

Объективная статистическая оценка согласованности диагнозов, полученных двумя методами (стереотаксическая и эксцизионная биопсия), с использованием коэффициента каппа Коэна ( $\kappa=0,85$ ) подтвердила превосходный уровень согласия, что служит дополнительным аргументом в пользу надежности и воспроизводимости метода СТБ в клинической практике.

## Заключение / Conclusion

Результаты исследования подтверждают статус СТБ как высокоэффективного и точного инструмента для морфологической верификации

подозрительных образований молочной железы, отнесенных к категориям BI-RADS 4 и 5. Метод характеризуется высокими показателями общей диагностической точности (90,7%), специфичности (100%) и положительной прогностической ценности (100%). Это позволяет рассматривать его как надежное основание для принятия клинических решений и минимизации количества необоснованных диагностических хирургических вмешательств.

Чувствительность методики на уровне 84% и отрицательная прогностическая ценность 81,4% являются клинически приемлемыми, но указывают на существующий потенциал для оптимизации. Установлена четкая корреляция между подкатегорией по шкале BI-RADS и вероятностью выявления злокачественного процесса с максимальной частотой верификации рака в группе BI-RADS 4c (65,22%). Это в очередной раз подтверждает клиническую ценность стратификации риска внутри категории 4.

Практические рекомендации, направленные на совершенствование методики, касаются прежде всего снижения частоты ложноотрицательных результатов (9,2% в нашем исследовании) и включают повышение точности наведения, особенно для образований размером менее 5 мм, с тщательной верификацией цели на стереопарах, а также увеличение количества забираемых тканевых столбиков (12 и более) при неоднородных или сложных по структуре образованиях (смешанные кальцинаты, асимметрия).

Таким образом, СТБ зарекомендовала себя как высокоинформативный, воспроизводимый и экономически целесообразный метод первой линии в диагностическом алгоритме ведения пациенток с подозрительными образованиями молочной железы. Ее применение позволяет в подавляющем большинстве случаев установить точный морфологический диагноз, определяя рациональную дальнейшую тактику. Превосходная согласованность диагнозов, полученных при СТБ и последующей эксцизионной биопсии ( $\kappa=0,85$ ), статистически доказывает высокую воспроизводимость и надежность метода.

## Литература

- Menon G, Alkabban FM, Ferguson T. Breast cancer. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Feb 25.
- Reeves RA, Kaufman T. Mammography. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jul 24.
- Пятницкий И.А., Пучкова О.С., Гомболевский В.А. и др. Скрининг рака молочной железы: текущие достижения, перспективы и новые технологии. Вопросы онкологии. 2019; 65(5): 664–71. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2019-65-5-664-671>.
- Magny SJ, Shikhman R, Keppe AL. Breast imaging reporting and data system. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Aug 28.
- Honda M, Kataoka M, Kawaguchi K, et al. Subcategory classifications of Breast Imaging and Data System (BI-RADS) category 4 lesions on MRI. Jpn J Radiol. 2021; 39(1): 56–65. <https://doi.org/10.1007/s11604-020-01029-w>.
- Потапова Ю.В., Юмангулова Л.А. Возможности стереотаксической биопсии в дифференциальной диагностике непальпируемых образований молочной железы. В кн.: Дегтярь П.С. (ред.) Современные аспекты здравоохранения: достижения и перспективы: материалы 52-й межрегиональной научно-практической медицинской конференции. Ульяновск, 18–19 мая 2017 г. Ульяновск: Артишок; 2017: 257–9.

7. Parker SH, Lovin JD, Jobe WE, et al. Stereotactic breast biopsy with a biopsy gun. *Radiology*. 1990; 176(3): 741–7. <https://doi.org/10.1148/radiology.176.3.2167501>.
8. Versaggi SL, De Leucio A. Stereotactic and needle breast biopsy. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Apr 21.
9. Bick U, Trimboli RM, Athanasiou A, et al. Image-guided breast biopsy and localisation: recommendations for information to women and referring physicians by the European Society of Breast Imaging. *Insights Imaging*. 2020; 11(1): 12. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0803-x>.
10. Чёрная А.В., Ульянова Р.Х., Шевкунов Л.Н. и др. Стереотаксическая биопсия образований молочной железы под рентгеновским контролем. СПб.: НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова; 2021: 76 с.
11. Rageth CJ, O'Flynn EA, Comstock C, et al. First International Consensus Conference on lesions of uncertain malignant potential in the breast (B3 lesions). *Breast Cancer Res Treat*. 2016; 159(2): 203–13. <https://doi.org/10.1007/s10549-016-3935-4>.
12. Бухарин Д.Г., Величко С.А., Фролова И.Г., Лунева С.В. Роль стереотаксической биопсии в диагностике малых форм рака молочной железы. *Сибирский онкологический журнал*. 2011; S2: 12.
13. Шевченко Е.П. Стереотаксическая режущая игловая биопсия непальпируемых образований молочной железы. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2011; 1: 43–6.
14. Мазо М.Л., Рожкова Н.И., Прокопенко С.П. и др. Инвазивная лучевая диагностика рака молочной железы. Тонкоигольная биопсия или трепан-биопсия? *Медицинская визуализация*. 2015; 4: 79–86.

## References

1. Menon G, Alkabban FM, Ferguson T. Breast cancer. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Feb 25.
2. Reeves RA, Kaufman T. Mammography. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jul 24.
3. Pyatnitskiy IA, Puchkova OS, Gombolevskiy VA, et al. Breast cancer screening: current achievements, future perspectives and new technologies. *Voprosy Onkologii*. 2019; 65(5): 664–71 (in Russ). <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2019-65-5-664-671>.
4. Magny SJ, Shikhman R, Kepcke AL. Breast imaging reporting and data system. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Aug 28.
5. Honda M, Kataoka M, Kawaguchi K, et al. Subcategory classifications of Breast Imaging and Data System (BI-RADS) category 4 lesions on MRI. *Jpn J Radiol*. 2021; 39(1): 56–65. <https://doi.org/10.1007/s11604-020-01029-w>.
6. Potapova YuV, Yumangulova LA. The possibilities of stereotactic biopsy in the differential diagnosis of non-palpable breast lesions. In: Degtyar PS (Ed). *Modern aspects of healthcare: achievements and prospects: materials of the 52<sup>nd</sup> Interregional Scientific and Practical Medical Conference, Ulyanovsk, May 18–19, 2017*. Ulyanovsk: Artishok; 2017: 257–9 (in Russ).
7. Parker SH, Lovin JD, Jobe WE, et al. Stereotactic breast biopsy with a biopsy gun. *Radiology*. 1990; 176(3): 741–7. <https://doi.org/10.1148/radiology.176.3.2167501>.
8. Versaggi SL, De Leucio A. Stereotactic and needle breast biopsy. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Apr 21.
9. Bick U, Trimboli RM, Athanasiou A, et al. Image-guided breast biopsy and localisation: recommendations for information to women and referring physicians by the European Society of Breast Imaging. *Insights Imaging*. 2020; 11(1): 12. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0803-x>.
10. Chyornaya AV, Ulyanova RKh, Shevkunov LN, et al. Stereotactic biopsy of breast lesions under X-ray control. *Saint Petersburg*; 2021: 76 pp (in Russ).
11. Rageth CJ, O'Flynn EA, Comstock C, et al. First International Consensus Conference on lesions of uncertain malignant potential in the breast (B3 lesions). *Breast Cancer Res Treat*. 2016; 159(2): 203–13. <https://doi.org/10.1007/s10549-016-3935-4>.
12. Bukharin DG, Velichko SA, Frolova IG, Luneva SV. The role of stereotaxic biopsy in diagnostics of nonpalpable breast cancer. *Siberian Journal of Oncology*. 2011; S2: 12 (in Russ).
13. Shevchenko EP. Stereotactic biopsy of non-palpable neoplasms of the mammary gland. *Kremlin Medicine Journal*. 2011; 1: 43–6 (in Russ).
14. Mazo ML, Rozhkova NI, Prokopenko SP, et al. Diagnostics of breast lesions. a fine-needle aspiration biopsy or a core-biopsy? *Medical Visualization*. 2015; 4: 79–86 (in Russ).



# Диагностическая эффективность нативного T1-картирования в стадировании фиброза печени по данным магнитно-резонансной томографии

Савченков Ю.Н.<sup>1,2</sup>, Труфанов Г.Е.<sup>3</sup>, Фокин В.А.<sup>3</sup>, Ионова Е.А.<sup>2</sup>, Аракелов С.Э.<sup>1,4</sup>, Бодрова О.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ «Городская клиническая больница им. В.П. Демидова Департамента здравоохранения г. Москвы», ул. Велозаводская, 1/1, Москва, 115280, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России, ул. Маршала Новикова, 23, Москва, 123098, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России, ул. Аккуратова, 2, Санкт-Петербург, 197341, Российская Федерация

<sup>4</sup> ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198, Российская Федерация

**Савченков Юрий Николаевич**, к. м. н., заведующий отделением лучевой диагностики ГБУЗ «Городская клиническая больница им. В.П. Демидова Департамента здравоохранения г. Москвы», ассистент кафедры лучевой диагностики с курсом радиологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России;  
<https://orcid.org/0000-0002-8258-522X>

**Труфанов Геннадий Евгеньевич**, д. м. н., профессор, гл. науч. сотр. научно-исследовательского отдела лучевой диагностики, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

**Фокин Владимир Александрович**, д. м. н., профессор, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0000-0001-7885-9024>

**Ионова Елена Александровна**, д. м. н., заведующая кафедрой лучевой диагностики с курсом радиологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России;  
<https://orcid.org/0000-0002-6084-2061>

**Аракелов Сергей Эрнестович**, д. м. н., профессор, главный врач ГБУЗ «Городская клиническая больница им. В.П. Демидова Департамента здравоохранения г. Москвы», заведующий кафедрой семейной медицины с курсом паллиативной медицинской помощи ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы»;  
<https://orcid.org/0000-0003-3911-8543>

**Бодрова Ольга Валерьевна**, ординатор по специальности «рентгенология» кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России;  
<https://orcid.org/0009-0005-4851-1234>

## Резюме

**Актуальность.** Фиброз печени является структурным проявлением хронических заболеваний печени, при прогрессировании он приводит к формированию цирроза и развитию связанных с ним осложнений. Нативное T1-картирование печени рассматривается как количественная методика магнитно-резонансной томографии (МРТ), отражающая выраженность фиброзных изменений, однако ее диагностическая эффективность может модифицироваться тканевым составом печени, включая стеатоз.

**Цель:** оценить диагностическую эффективность нативного T1-картирования при стадировании фиброза печени и определить влияние стеатоза на диагностические характеристики методики.

**Материал и методы.** Ретроспективное исследование включало 241 пациента, которым выполнена МРТ брюшной полости с получением нативных карт T1-релаксации печени по протоколам MOLLI 4(1)3(1)2 и MOLLI 5(3)3 с кардиосинхронизацией по пульсу на одной задержке дыхания. Референсную стратификацию стадии фиброза (F0–F4 по шкале METAVIR) проводили на основе интеграции клинических, лабораторных и инструментальных данных. Дополнительно осуществлена стратификация больных

по наличию стеатоза печени, определяемого по значению протонной плотности жировой фракции. Пациентов с признаками перегрузки печени железом исключали из анализа. Оценивали взаимосвязь между значениями нативного T1-картирования печени и стадией фиброза с использованием корреляционного анализа, а также выполняли межгрупповые сравнения показателей в зависимости от стадии процесса. Диагностические характеристики методики определяли методом ROC-моделирования при разграничении стадий фиброза  $\geq F2$ ,  $\geq F3$  и F4. Статистический анализ осуществляли с применением непараметрических методов. Для контроля множественных сравнений использовали коррекцию по Бенджамини–Хохбергу. Результаты считали статистически значимыми при частоте ложных срабатываний (false discovery rate, FDR)  $< 0,05$ .

**Результаты.** Установлена статистически значимая положительная связь между значениями нативного T1-картирования печени и стадией фиброза ( $p=0,779$  для MOLLI 4(1)3(1)2 и  $p=0,792$  для MOLLI 5(3)3;  $p < 0,001$ ; FDR  $< 0,05$ ). Медианные значения T1-картирования последовательно возрастали от F0 к F4. Различия между всеми смежными стадиями сохраняли статистическую значимость после FDR-коррекции. По данным ROC-моделирования, нативное T1-картирование продемонстрировало высокую диагностическую эффективность при стратификации стадий фиброза: AUROC при  $\geq F2$  составила 0,909 и 0,919, при  $\geq F3$  – 0,946 и 0,954, при F4 – 0,972 и 0,981 для протоколов MOLLI 4(1)3(1)2 и MOLLI 5(3)3 соответственно. При наличии стеатоза диагностическая эффективность снижалась при выявлении  $\geq F2$ , тогда как при  $\geq F3$  и F4 статистически значимых различий между подгруппами не обнаружено ( $p > 0,05$ ). Полученные данные свидетельствуют о модифицирующем влиянии стеатоза на ранних стадиях фиброза печени.

**Заключение.** Нативное T1-картирование печени по протоколам MOLLI 4(1)3(1)2 и MOLLI 5(3)3 является информативной количественной методикой МРТ при стадировании фиброза. Диагностическая эффективность возрастает при переходе от  $\geq F2$  к  $\geq F3$  и достигает максимальных значений при циррозе печени. Наличие стеатоза сопровождается снижением дискриминационной способности при выявлении  $\geq F2$ , что определяет границы применимости методики и обосновывает ее использование в составе мультипараметрического МР-подхода при хронических заболеваниях печени.

**Ключевые слова:** хронические заболевания печени; фиброз печени; цирроз печени; нативное T1-картирование печени; MOLLI; протонная плотность жировой фракции; магнитно-резонансная томография.

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

**Для цитирования:** Савченков Ю.Н., Труфанов Г.Е., Фокин В.А., Ионова Е.А., Араkelов С.Э., Бодрова О.В. Диагностическая эффективность нативного T1-картирования в стадировании фиброза печени по данным магнитно-резонансной томографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2026; 107(1): 62–75. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-62-75>

**Для корреспонденции:** Савченков Юрий Николаевич, e-mail: yura\_savchenkov@mail.ru

Статья поступила 25.02.2026

После доработки 16.03.2026

Принята к печати 31.03.2026

## Diagnostic Effectiveness of Native T1 Mapping in Staging Liver Fibrosis According to Magnetic Resonance Imaging

**Yury N. Savchenkov<sup>1,2</sup>, Gennady E. Trufanov<sup>3</sup>, Vladimir A. Fokin<sup>3</sup>, Elena A. Ionova<sup>2</sup>, Sergey E. Arakelov<sup>1,4</sup>, Olga V. Bodrova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Demikhov City Clinical Hospital,

ul. Vozzavodskaya, 1/1, Moscow, 115280, Russian Federation

<sup>2</sup> State Research Center of the Russian Federation – Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal Medical Biological Agency of Russia,

ul. Marshala Novikova, 23, Moscow, 123098, Russian Federation

<sup>3</sup> Almazov National Medical Research Center,

ul. Akkuratova, 2, Saint Petersburg, 197341, Russian Federation

<sup>4</sup> Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba,

ul. Miklukho-Maklaya, 6, Moscow, 117198, Russian Federation

**Yury N. Savchenkov**, Cand. Med. Sc., Head of Department of Radiation Diagnostics, Demikhov City Clinical Hospital; Assistant Professor, Chair of Radiation Diagnostics with a Course in Radiology, Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education, State Research Center of the Russian Federation – Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal Medical Biological Agency of Russia;

<https://orcid.org/0000-0002-8258-522X>

**Gennady E. Trufanov**, Dr. Med. Sc., Professor, Chief Researcher, Research Department of Radiation Diagnostics, Chief of Chair of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with the Clinic, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center;

<https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

**Vladimir A. Fokin**, Dr. Med. Sc., Professor, Chair of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with the Clinic, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center;  
<https://orcid.org/0000-0001-7885-9024>

**Elena A. Ionova**, Dr. Med. Sc., Chief of Chair of Radiation Diagnostics with a Course in Radiology, Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education, State Research Center of the Russian Federation – Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal Medical Biological Agency of Russia;  
<https://orcid.org/0000-0002-6084-2061>

**Sergey E. Arakelov**, Dr. Med. Sc., Professor, Chief Physician, Demikhov City Clinical Hospital; Chief of Chair of Family Medicine with a Course in Palliative Care, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba;  
<https://orcid.org/0000-0003-3911-8543>

**Olga V. Bodrova**, Resident, Chair of Radiation Diagnostics and Medical Imaging with the Clinic, Institute of Medical Education, Almazov National Medical Research Center;  
<https://orcid.org/0009-0005-4851-1234>

## Abstract

**Background.** Liver fibrosis represents a structural manifestation of chronic liver diseases and, with progression, leads to the development of cirrhosis and related complications. Native liver T1 mapping is considered a quantitative magnetic resonance imaging (MRI) technique reflecting the severity of fibrotic changes; however, its diagnostic performance may be influenced by liver tissue composition, including steatosis.

**Objective:** to evaluate the diagnostic performance of native T1 mapping for liver fibrosis staging and to assess the impact of steatosis on its diagnostic characteristics.

**Material and methods.** This retrospective study included 241 patients who underwent abdominal MRI with acquisition of native liver T1 relaxation maps using the MOLLI 4(1)3(1)2 and MOLLI 5(3)3 protocols with pulse-triggered cardiac synchronization during a single breath-hold. Reference fibrosis staging (METAVIR F0–F4) was established based on integrated clinical, laboratory, and instrumental data. An additional stratification was performed according to the presence of hepatic steatosis, determined based on proton density fat fraction values. Patients with evidence of hepatic iron overload were excluded from the analysis. The relationship between native liver T1 values and fibrosis stage was assessed using correlation analysis, and intergroup comparisons were performed across fibrosis stages. Diagnostic performance was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) analysis for the identification of clinically significant fibrosis ( $\geq$ F2), advanced fibrosis and cirrhosis ( $\geq$ F3), and cirrhosis (F4). Statistical analysis was performed using nonparametric methods. Multiple comparisons were controlled using the Benjamini–Hochberg procedure, and results were considered statistically significant at false discovery rate (FDR)  $<0.05$ .

**Results.** A statistically significant positive correlation was observed between native liver T1 values and fibrosis stage ( $p=0.779$  for MOLLI 4(1)3(1)2 and  $p=0.792$  for MOLLI 5(3)3;  $p<0.001$ ;  $FDR<0.05$ ). Median T1 values increased progressively from F0 to F4, and differences between all adjacent stages remained significant after FDR correction. ROC analysis demonstrated high diagnostic performance of native T1 mapping for fibrosis stratification: AUROC values for  $\geq$ F2 were 0.909 and 0.919; for  $\geq$ F3, 0.946 and 0.954; and for F4, 0.972 and 0.981 for MOLLI 4(1)3(1)2 and MOLLI 5(3)3, respectively. In the presence of steatosis, diagnostic performance decreased for  $\geq$ F2, whereas no statistically significant differences between subgroups were observed for  $\geq$ F3 and F4 ( $p>0.05$ ). These findings indicate a modifying effect of steatosis primarily at early stages of fibrosis discrimination.

**Conclusion.** Native liver T1 mapping using MOLLI 4(1)3(1)2 and MOLLI 5(3)3 protocols is an informative quantitative MRI technique for fibrosis staging. Diagnostic performance increases from  $\geq$ F2 to  $\geq$ F3 and reaches its highest level in cirrhosis. The presence of steatosis reduces discriminatory performance for  $\geq$ F2, thereby defining the limitations of the technique and supporting its use as part of a multiparametric MRI approach in patients with chronic liver diseases.

**Keywords:** chronic liver diseases; liver fibrosis; cirrhosis; native liver T1 mapping; MOLLI; proton density fat fraction; magnetic resonance imaging.

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

**For citation:** Savchenkov YuN, Trufanov GE, Fokin VA, Ionova EA, Arakelov SE, Bodrova OV. Diagnostic effectiveness of native T1 mapping in staging liver fibrosis according to magnetic resonance imaging. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2026; 107(1): 62–75 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-62-75>

**For corresponding:** Yury N. Savchenkov, e-mail: [yura\\_savchenkov@mail.ru](mailto:yura_savchenkov@mail.ru)

Received February 25, 2026

Revised March 16, 2026

Accepted March 31, 2026

## Введение / Introduction

Хронические заболевания печени сохраняют высокое медико-социальное значение, занимая ведущие позиции среди причин заболеваемости и преждевременной смертности, в том числе среди пациентов трудоспособного возраста. Рост их распространенности во многом обусловлен увеличением частоты метаболически-ассоциированной жировой болезни печени при сохраняющейся роли вирусных, аутоиммунных и токсических поражений печени [1–3]. Формирование и прогрессирование фиброзных изменений лежат в основе развития цирроза и определяют тяжесть клинического течения заболевания. В клинической практике стадия фиброза рассматривается как один из ключевых прогностических параметров, определяющих стратегию наблюдения, выбор лечебной тактики и оценку риска неблагоприятных исходов [4–7].

На протяжении длительного времени оценка фиброза печени основывалась преимущественно на пункционной биопсии, рассматриваемой как референсный метод морфологической верификации. Несмотря на высокую информативность, биопсия печени имеет ряд принципиальных ограничений. К ним относятся инвазивность процедуры, риск развития осложнений, зависимость результатов от объема и выбора места забора образца ткани, а также межнаблюдательная вариабельность при морфологической интерпретации. Дополнительным недостатком остается ограниченная воспроизводимость метода при динамическом наблюдении, что снижает его клиническую ценность для мониторинга течения заболевания и оценки эффективности терапии [8–11]. Указанные ограничения обусловили развитие и внедрение неинвазивных подходов к количественной оценке структурных изменений печени [12–14].

Среди неинвазивных методов визуализации магнитно-резонансная томография (МРТ) занимает особое место благодаря возможности комплексной и количественной характеристики структурных изменений паренхимы печени. Современные мультипараметрические МР-подходы позволяют одновременно оценивать выраженность жировой инфильтрации, степень перегрузки железом и изменения внеклеточного матрикса, что существенно расширяет диагностический потенциал метода при хронических заболеваниях печени [15, 16].

Одной из количественных методик, активно изучаемых в последние годы, является нативное T1-картирование печени, основанное на измерении времени продольной релаксации. Результаты экспериментальных и клинических исследований свидетельствуют о наличии связи между увеличением значений T1-релаксации и нараста-

нием фиброзных изменений паренхимы печени, что рассматривается как отражение перестройки внеклеточного матрикса [17, 18]. Вместе с тем показатели нативного T1-картирования подвержены влиянию сопутствующих факторов, прежде всего стеатоза и перегрузки печени железом, которые способны модифицировать релаксационные характеристики МР-сигнала и снижать диагностическую точность методики [19, 20].

Отсутствие единых стандартизированных критериев интерпретации данных нативного T1-картирования, неоднозначность оценки его диагностической эффективности на различных стадиях фиброза печени, а также сохраняющееся влияние сопутствующих факторов, включая стеатоз, обуславливают необходимость системного анализа диагностических возможностей методики в клинической практике.

**Цель** – оценить диагностическую эффективность нативного T1-картирования при стадировании фиброза печени и определить влияние стеатоза на диагностические характеристики методики.

## Материал и методы / Material and methods

Проведено ретроспективное исследование с участием 241 пациента (131 (54,4%) женщина и 110 (45,6%) мужчин). Всем больным выполнена МРТ органов брюшной полости с получением нативных карт T1-релаксации печени. Средний возраст обследованных составил  $50,1 \pm 13,3$  года.

В исследование включены пациенты с хроническими заболеваниями печени различной этиологии: метаболически-ассоциированная жировая болезнь печени, вирусные гепатиты В и С, а также аутоиммунные заболевания печени. Этиологическую принадлежность устанавливали на основании комплексной оценки клинических данных, лабораторных показателей и результатов инструментальных методов обследования.

Стадирование фиброзных изменений печени осуществляли в соответствии с классификацией METAVIR с выделением стадий F0–F4. Референсная стратификация основывалась на интеграции клинических, лабораторных и инструментальных данных. В качестве основного неинвазивного метода верификации стадии фиброза использовали ультразвуковую эластометрию сдвиговой волной, выполненную всем пациентам. При наличии пункционной биопсии результаты морфологического исследования учитывали как дополнительный референсный критерий. Морфологическая верификация стадии фиброза была доступна у 11 (4,6%) больных.

Все МРТ-исследования выполняли на высокопольном (3 Тл) магнитно-резонансном томографе Magnetom Vida (Siemens, Германия) с использованием стандартных многоканальных матричных

катушек. Нативное T1-картирование печени проводили с применением модифицированной методики инверсии восстановления Лука–Локера (Modified Look–Locker Inversion Recovery, MOLLI) по протоколам 4(1)3(1)2 и 5(3)3 на основе двухмерной истинно быстрой визуализации с устойчивой прецессией (True Fast imaging with steady state precession, TrueFisp) с неселективным инверсионным импульсом и кардиосинхронизацией по пульсу на одной задержке дыхания.

Результирующие карты T1-релаксации формировались автоматически на консоли томографа. Количественную оценку времени продольной релаксации выполняли путем размещения зон интереса в S4a, S7, S8 правой доли и S2 левой доли печени на аксиальных изображениях с исключением крупных сосудов, желчных протоков, очаговых образований и субкапсулярных участков. Суммарная площадь полигональных областей интереса составляла 10–20 см<sup>2</sup>. Для каждого пациента рассчитывали среднее значение нативного T1-картирования печени по всем зонам измерения. Анализ выполняли отдельно для каждого протокола MOLLI.

Количественную оценку стеатоза печени проводили на основании расчета протонной плотности жировой фракции по данным трехмерной мультиэховой последовательности градиентного эхо 3D VIBE q-DIXON с коррекцией T2\*-затухания и отдельной реконструкцией сигналов воды и жира. В качестве интегрального показателя использовали среднепеченочное значение протонной плотности жировой фракции, рассчитанное по измерениям во всех сегментах печени на аксиальных срезах на максимально возможной площади. В зависимости от величины среднепеченочного значения протонной плотности жировой фракции выделяли отсутствие стеатоза (S0: <6,4%), лег-

кую степень (S1: 6,4–17,4%), умеренную (S2: 17,4–22,1%) и выраженную (S3: ≥22,1%).

Оценку содержания железа в печени выполняли по картам R2\*-релаксации, полученным с использованием последовательности 3D VIBE q-DIXON. Зоны измерения размещали в тех же анатомических областях, что и при определении протонной плотности жировой фракции. Пересчет показателей по картам R2\*-релаксации в содержание железа в печени (liver iron concentration, LIC) (мг/г сухого вещества) осуществляли по формуле:

$$LIC = (0,314 \times R2^* - 0,96) / 18.$$

Пациентов с LIC более 2 мг/г сухого вещества в исследование не включали.

Структура анализируемой когорты по сочетанию стадий фиброза и степеней стеатоза печени представлена в таблице 1. В ней преобладали пациенты со слабовыраженным фиброзом печени, при этом умеренный и тяжелый фиброз, а также цирроз были представлены в объеме, достаточном для статистического анализа. В структуре стеатоза доминировали пациенты без жировой инфильтрации или с ее легкой степенью, тогда как умеренная и тяжелая степени встречались значительно реже.

Обработку изображений выполняли вручную с использованием системы медицинской визуализации Vitrea Advanced Visualization (Canon Medical Informatics Inc., США).

Статистический анализ данных проводили с помощью программного пакета SPSS Statistics 23.0 (IBM, США). Количественные данные представляли в виде медианы и межквартильного размаха [Q1; Q3]. Для оценки взаимосвязи между значениями нативного T1-картирования и стадией фиброза использовали корреляционный анализ.

Таблица 1

Распределение пациентов по стадиям фиброза и степеням стеатоза, n

Table 1

Distribution of patients by fibrosis stage and degree of steatosis, n

Стадия фиброза / Fibrosis stage	Степень стеатоза / Steatosis degree				Всего / Total
	S0	S1	S2	S3	
F0	36	0	0	0	36
F1	43	37	5	7	92
F2	19	9	3	1	32
F3	23	7	1	0	31
F4	43	7	0	0	50
Всего / Total	164	60	9	8	241

Межгрупповые различия определяли непараметрическими критериями.

Диагностическую эффективность нативного T1-картирования печени оценивали методом анализа рабочей характеристики приемника (receiver operating characteristic, ROC) с расчетом площади под кривой (area under ROC curve, AUROC). Для порогов  $\geq F2$ ,  $\geq F3$  и F4 рассчитывали 95% доверительные интервалы методом бутстрап-перестановок (2000 итераций). Сравнение AUROC между подгруппами пациентов с наличием и отсутствием стеатоза выполняли с использованием непараметрического теста Делонга. Оптимальные пороговые значения определяли по индексу Юдена с расчетом чувствительности, специфичности, положительной и отрицательной прогностической ценности. Дополнительно вычисляли пороги для стратегий исключения (rule-out, чувствительность  $\geq 85\%$ ) и подтверждения (rule-in, специфичность  $\geq 95\%$ ).

Для учета множественных сравнений применяли коррекцию уровня значимости по методу Бенджамини–Хохберга. В анализ включали только результаты, сохранившие статистическую значимость после FDR-коррекции (FDR<0,05).

## Результаты / Results

Корреляционный анализ продемонстрировал положительную взаимосвязь между значениями нативного T1-картирования печени и клинической стадией фиброза. Для протокола MOLLI 4(1)3(1)2 коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил  $\rho=0,779$  ( $p<0,001$ ), для протокола MOLLI 5(3)3  $\rho=0,792$  ( $p<0,001$ ). Во всех случаях статистическая значимость сохранялась после коррекции ее уровня по методу Бенджамини–Хохберга (FDR<0,05).

Медианные значения нативного T1-картирования печени последовательно увеличивались по

мере прогрессирования фиброзных изменений от F0 к F4 для обоих протоколов, что отражает формирование монотонного градиента показателя (табл. 2).

При межгрупповом анализе выявлены статистически значимые различия между всеми смежными стадиями фиброза. Для протоколов MOLLI 4(1)3(1)2 и MOLLI 5(3)3 различия между F0–F1, F1–F2, F2–F3 и F3–F4 сохраняли статистическую значимость после FDR-коррекции (во всех случаях FDR<0,05) (табл. 3).

Графическое представление распределения значений нативного T1-картирования по стадиям фиброза отражает формирование монотонного градиента показателя с увеличением выраженности фиброзных изменений (рис. 1).

С целью оценки возможного влияния стеатоза печени, определенного по протонной плотности жировой фракции, выполнен дополнительный анализ в подгруппе пациентов с наличием стеатоза (S1–S3). В данной подгруппе сохранялась статистически значимая положительная связь между значениями нативного T1-картирования печени и стадией фиброза. Для протокола MOLLI 4(1)3(1)2 коэффициент Спирмена составил  $\rho=0,502$  ( $p<0,001$ ; FDR<0,001), для протокола MOLLI 5(3)3  $\rho=0,574$  ( $p<0,001$ ; FDR<0,001).

По сравнению с общей когортой отмечено снижение силы корреляционной связи при сохранении ее направленности и статистической значимости, что указывает на модифицирующее влияние стеатоза на количественные значения T1-картирования при сохранении общей тенденции роста показателя по мере прогрессирования фиброза.

Для количественной оценки диагностической эффективности нативного T1-картирования печени выполнен ROC-анализ с выделением клинически значимого фиброза ( $\geq F2$ ) в качестве целевой

Таблица 2

Количественные характеристики нативного T1-картирования печени в зависимости от стадии фиброза печени, мс

Table 2

### Quantitative characteristics of native liver T1 mapping according to fibrosis stage, msec

Стадия фиброза / Fibrosis stage	MOLLI 4(1)3(1)2	MOLLI 5(3)3
F0	675,1 [658,9; 682,4]	727,1 [718,8; 743,0]
F1	685,0 [655,0; 715,4]	750,7 [716,0; 803,0]
F2	735,5 [700,4; 777,4]	808,0 [767,1; 858,2]
F3	806,9 [768,6; 830,7]	890,3 [873,1; 944,7]
F4	905,1 [835,7; 959,9]	990,3 [923,3; 1044,8]

Примечание. MOLLI (Modified Look–Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука–Локера.

Note. MOLLI – Modified Look–Locker Inversion Recovery.

## Групповые различия показателей нативного T1-картирования печени в зависимости от стадии фиброза печени

Table 3

## Group differences in native liver T1 values according to fibrosis stage

Протокол / Protocol	Сравнение / Comparison	p*	FDR**
MOLLI 4(1)3(1)2	F0–F1	0,018	0,018
	F1–F2	<0,001	<0,001
	F2–F3	<0,001	<0,001
	F3–F4	<0,001	<0,001
MOLLI 5(3)3	F0–F1	0,016	0,016
	F1–F2	<0,001	<0,001
	F2–F3	<0,001	<0,001
	F3–F4	<0,001	<0,001

Примечание. MOLLI (Modified Look–Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука–Локера. \* p – критерий Манна–Уитни. \*\* FDR (false discovery rate) – частота ложных срабатываний (метод Бенджамини–Хохберга).

Note. MOLLI – Modified Look–Locker Inversion Recovery. \* p – Mann–Whitney criterion. \*\* FDR – false discovery rate (Benjamini–Hochberg method).

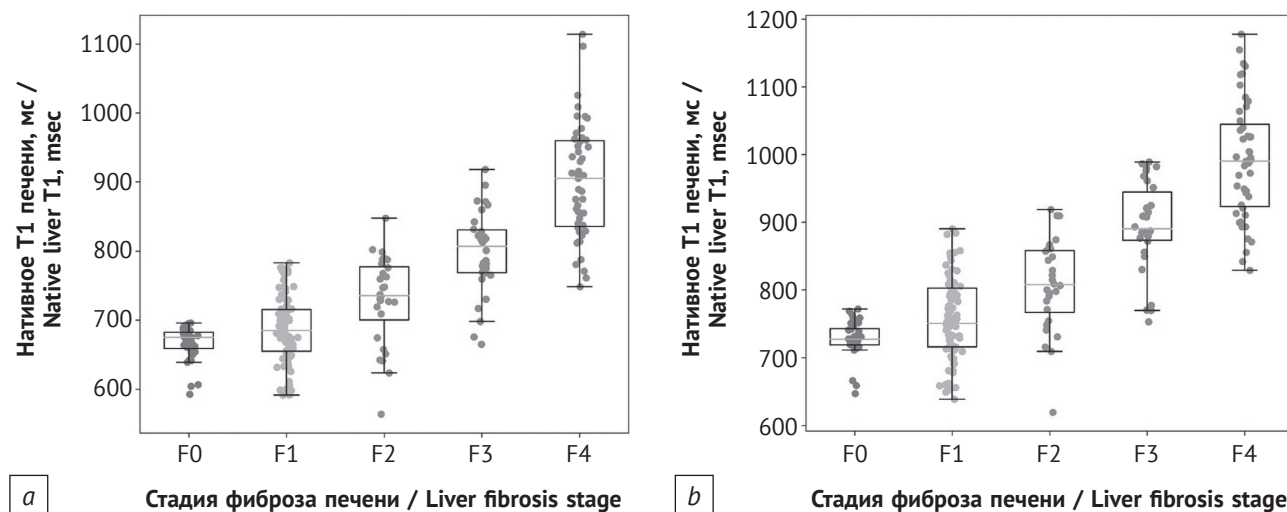


Рис. 1. Распределение значений нативного T1-картирования печени в зависимости от стадии фиброза печени:

*a* – протокол MOLLI 4(1)3(1)2; *b* – протокол MOLLI 5(3)3.

MOLLI (Modified Look–Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука–Локера

Fig. 1. Distribution of native liver T1 values according to fibrosis stage:

*a* – MOLLI 4(1)3(1)2 protocol; *b* – MOLLI 5(3)3 protocol.

MOLLI – Modified Look–Locker Inversion Recovery

переменной (табл. 4, 5). При выявлении клинически значимого фиброза ( $\geq F2$ ) нативное T1-картирование печени продемонстрировало высокую дискриминационную способность: для протокола MOLLI 4(1)3(1)2 AUROC составила 0,909, для протокола MOLLI 5(3)3 – 0,919. Оптимальные пороговые значения по индексу Юдена обеспечивали сбалансированное соотношение чувствительности и специфичности для обоих протоколов. Дополнительный расчет порогов, ориентированных

на стратегии исключения (чувствительность  $\geq 85\%$ ) и подтверждения (специфичность  $\geq 95\%$ ), показал возможность формирования как исключающих, так и подтверждающих пороговых значений.

При стратификации по наличию стеатоза диагностическая эффективность методики сохранялась на высоком уровне в подгруппе пациентов без стеатоза (S0). В подгруппе S1–S3 отмечено снижение AUROC для обоих протоколов при сохранении дискриминационной способности (табл. 6).

Таблица 4

**Диагностическая эффективность нативного T1-картирования печени при выявлении клинически значимого фиброза ( $\geq F2$ )**

Table 4

**Diagnostic performance of native liver T1 mapping for the detection of clinically significant fibrosis ( $\geq F2$ )**

Протокол / Protocol	AUROC	95% ДИ / 95% CI	Порог* / Cut-off*	Se, %	Sp, %
MOLLI 4(1)3(1)2	0,909	0,863–0,951	717,0	89,5	84,9
MOLLI 5(3)3	0,919	0,878–0,953	829,0	80,0	91,7

*Примечание.* MOLLI (Modified Look–Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука–Локера; AUROC (area under receiver operating characteristic curve) – площадь под кривой рабочей характеристики приемника; ДИ – доверительный интервал; Se (sensitivity) – чувствительность; Sp (specificity) – специфичность. \* Индекс Юдена.

*Note.* MOLLI – Modified Look–Locker Inversion Recovery; AUROC – area under receiver operating characteristic curve; CI – confidence interval; Se – sensitivity; Sp – specificity. \* Youden index.

Таблица 5

**Расширенные диагностические характеристики нативного T1-картирования печени при выявлении клинически значимого фиброза ( $\geq F2$ )**

Table 5

**Extended diagnostic characteristics of native liver T1 mapping for the detection of clinically significant fibrosis ( $\geq F2$ )**

Протокол / Protocol	Порог* / Cut-off* (Se $\geq$ 85%)	Se, %	Sp, %	Порог* / Cut-off* (Sp $\geq$ 95%)	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %
MOLLI 4(1)3(1)2	726,2	87,6	85,7	769,5	71,4	95,8	83,9	90,2
MOLLI 5(3)3	798,0	85,7	81,0	855,5	73,3	96,7	89,4	84,1

*Примечание.* MOLLI (Modified Look–Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука–Локера; Se (sensitivity) – чувствительность; Sp (specificity) – специфичность; PPV (positive predictive value) – положительная прогностическая ценность; NPV (negative predictive value) – отрицательная прогностическая ценность. \* Индекс Юдена.

*Note.* MOLLI – Modified Look–Locker Inversion Recovery; Se – sensitivity; Sp – specificity; PPV – positive predictive value; NPV – negative predictive value. \* Youden index.

Таблица 6

**Диагностическая эффективность нативного T1-картирования печени при выявлении клинически значимого фиброза ( $\geq F2$ ) в подгруппах пациентов без стеатоза и с наличием стеатоза**

Table 6

**Diagnostic performance of native liver T1 mapping for the detection of clinically significant fibrosis ( $\geq F2$ ) stratified by steatosis**

Протокол / Protocol	Подгруппа / Subgroup	AUROC	95% ДИ / 95% CI
MOLLI 4(1)3(1)2	S0	0,945	0,905–0,977
	S1–S3	0,771	0,608–0,909
MOLLI 5(3)3	S0	0,943	0,907–0,970
	S1–S3	0,826	0,688–0,938

*Примечание.* MOLLI (Modified Look–Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука–Локера; AUROC (area under receiver operating characteristic curve) – площадь под кривой рабочей характеристики приемника; ДИ – доверительный интервал.

*Note.* MOLLI – Modified Look–Locker Inversion Recovery; AUROC – area under receiver operating characteristic curve; CI – confidence interval.

С учетом необходимости оценки диагностической эффективности при более выраженных фиброзных изменениях выполнен ROC-анализ при использовании порога  $\geq F3$  (табл. 7, 8). Для протоколов MOLLI 4(1)3(1)2 и MOLLI 5(3)3 отмечена

высокая диагностическая эффективность при пороге  $\geq F3$ , для которых значения AUROC составили 0,946 и 0,954 соответственно. При этом оптимальные пороги по индексу Юдена обеспечивали высокую чувствительность и специфичность. Анализ

**Диагностическая эффективность нативного T1-картирования печени при выявлении тяжелого фиброза и цирроза (≥F3)**

Table 7

**Diagnostic performance of native liver T1 mapping for the detection of advanced fibrosis and cirrhosis (≥F3)**

Протокол / Protocol	AUROC	95% ДИ (бутстрап) / 95% CI (bootstrap)	Порог* / Cut-off*	Se, %	Sp, %
MOLLI 4(1)3(1)2	0,946	0,910–0,975	759,5	92,2	83,8
MOLLI 5(3)3	0,954	0,923–0,980	871,0	87,0	93,8

*Примечание.* MOLLI (Modified Look-Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука-Локера; AUROC (area under receiver operating characteristic curve) – площадь под кривой рабочей характеристики приемника; ДИ – доверительный интервал; Se (sensitivity) – чувствительность; Sp (specificity) – специфичность. \* Индекс Юдена.

*Note.* MOLLI – Modified Look-Locker Inversion Recovery; AUROC – area under receiver operating characteristic curve; CI – confidence interval; Se – sensitivity; Sp – specificity. \* Youden index.

Таблица 8

**Расширенные диагностические характеристики нативного T1-картирования печени при выявлении тяжелого фиброза и цирроза (≥F3)**

Table 8

**Extended diagnostic characteristics of native liver T1 mapping for the detection of advanced fibrosis and cirrhosis (≥F3)**

Протокол / Protocol	Порог* / Cut-off* (Se≥85%)	Se, %	Sp, %	Порог* / Cut-off* (Sp≥95%)	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %
MOLLI 4(1)3(1)2	752,0	85,7	86,1	800,8	75,3	98,2	79,8	93,9
MOLLI 5(3)3	872,0	85,7	93,8	884,7	79,2	96,5	90,5	91,4

*Примечание.* MOLLI (Modified Look-Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука-Локера; Se (sensitivity) – чувствительность; Sp (specificity) – специфичность; PPV (positive predictive value) – положительная прогностическая ценность; NPV (negative predictive value) – отрицательная прогностическая ценность. \* Индекс Юдена.

*Note.* MOLLI – Modified Look-Locker Inversion Recovery; Se – sensitivity; Sp – specificity; PPV – positive predictive value; NPV – negative predictive value. \* Youden index.

расширенных характеристик подтвердил возможность формирования как исключяющих, так и подтверждающих порогов. При выборе стратегии подтверждения (специфичность ≥95%) достигалась высокая специфичность при умеренном снижении чувствительности.

Стратифицированный анализ по наличию стеатоза показал, что различия диагностической эффективности между подгруппами S0 и S1–S3 при пороге ≥F3 статистически значимыми не являются (табл. 9).

С учетом клинической значимости точной идентификации цирроза печени (F4) выполнен ROC-анализ с использованием данной стадии в качестве целевой переменной (табл. 10, 11). ROC-моделирование при диагностике цирроза продемонстрировало высокую дискриминационную способность: AUROC составила 0,972 для протокола MOLLI 4(1)3(1)2 и 0,981 для протокола MOLLI 5(3)3. Для обоих протоколов сформированы исключяющие пороги. Для протокола MOLLI 5(3)3 также определен подтверждающий порог, тогда как для протокола MOLLI 4(1)3(1)2 достижение

специфичности ≥95% сопровождалось снижением чувствительности, в связи с чем соответствующие значения не представлены.

Стратифицированный анализ по наличию стеатоза при выявлении цирроза печени (F4) не выявил существенного снижения AUROC в подгруппе S1–S3, что подтверждает отсутствие статистически значимого влияния стеатоза на дискриминационную способность методики при данном пороге (табл. 12).

Оценку различий AUROC между подгруппами пациентов без стеатоза (S0) и с наличием стеатоза (S1–S3) выполняли с использованием непараметрического теста Делонга для независимых ROC-кривых (табл. 13). При выявлении клинически значимого фиброза (≥F2) в подгруппе пациентов со стеатозом отмечено снижение площади под ROC-кривой. Различия были статистически значимы для протокола MOLLI 4(1)3(1)2 ( $\Delta$  AUROC=0,174;  $p=0,032$ ), тогда как для протокола MOLLI 5(3)3 они не достигали статистической значимости ( $p=0,085$ ). При порогах ≥F3 и F4 статистически значимых различий AUROC между подгруппами S0 и S1–S3 не выявлено (во всех случаях  $p>0,05$ ).

Таблица 9

**Диагностическая эффективность нативного T1-картирования печени при выявлении тяжелого фиброза ( $\geq F3$ ) в подгруппах пациентов без стеатоза и с наличием стеатоза**

Table 9

**Diagnostic performance of native liver T1 mapping for the detection of advanced fibrosis ( $\geq F3$ ) stratified by steatosis**

Протокол / Protocol	Подгруппа / Subgroup	AUROC	95% ДИ / 95% CI
MOLLI 4(1)3(1)2	S0	0,962	0,934–0,983
	S1–S3	0,914	0,780–1,000
MOLLI 5(3)3	S0	0,962	0,933–0,984
	S1–S3	0,950	0,867–1,000

*Примечание.* MOLLI (Modified Look–Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука–Локера; AUROC (area under receiver operating characteristic curve) – площадь под кривой рабочей характеристики приемника; ДИ – доверительный интервал.

*Note.* MOLLI – Modified Look–Locker Inversion Recovery; AUROC – area under receiver operating characteristic curve; CI – confidence interval.

Таблица 10

**Диагностическая эффективность нативного T1-картирования печени при выявлении цирроза печени (F4)**

Table 10

**Diagnostic performance of native liver T1 mapping for the detection of cirrhosis (F4)**

Протокол / Protocol	AUROC	95% ДИ (бутстрап) / 95% CI (bootstrap)	Порог* / Cut-off*	Se, %	Sp, %
MOLLI 4(1)3(1)2	0,972	0,946–0,992	812,4	92,0	92,9
MOLLI 5(3)3	0,981	0,958–0,996	915,6	94,0	95,0

*Примечание.* MOLLI (Modified Look–Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука–Локера; AUROC (area under receiver operating characteristic curve) – площадь под кривой рабочей характеристики приемника; ДИ – доверительный интервал; Se (sensitivity) – чувствительность; Sp (specificity) – специфичность. \* Индекс Юдена.

*Note.* MOLLI – Modified Look–Locker Inversion Recovery; AUROC – area under receiver operating characteristic curve; CI – confidence interval; Se – sensitivity; Sp – specificity. \* Youden index.

Таблица 11

**Расширенные диагностические характеристики нативного T1-картирования печени при выявлении цирроза печени (F4)**

Table 11

**Extended diagnostic characteristics of native liver T1 mapping for the detection of cirrhosis (F4)**

Протокол / Protocol	Порог* / Cut-off* (Se $\geq$ 85%)	Se, %	Sp, %	Порог* / Cut-off* (Sp $\geq$ 95%)	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %
MOLLI 4(1)3(1)2	785,0	86,1	88,4	–	–	–	85,6	96,0
MOLLI 5(3)3	902,3	86,7	93,4	928,1	82,1	96,8	89,9	97,1

*Примечание.* MOLLI (Modified Look–Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука–Локера; Se (sensitivity) – чувствительность; Sp (specificity) – специфичность; PPV (positive predictive value) – положительная прогностическая ценность; NPV (negative predictive value) – отрицательная прогностическая ценность. \* Индекс Юдена.

*Note.* MOLLI – Modified Look–Locker Inversion Recovery; Se – sensitivity; Sp – specificity; PPV – positive predictive value; NPV – negative predictive value. \* Youden index.

Для наглядного сопоставления дискриминационной способности методики при различных диагностических порогах выполнена графическая визуализация ROC-кривых. На рисунке 2, а представлены кривые для  $\geq F2$ ,  $\geq F3$  и F4, построенные для обоих протоколов нативного T1-картирования

печени без стратификации по степени стеатоза. Дополнительная визуализация проведена для порога  $\geq F2$ , поскольку он соответствует клинически значимому фиброзу и характеризуется наибольшей чувствительностью к влиянию сопутствующего стеатоза (рис. 2, b).

**Диагностическая эффективность нативного T1-картирования печени при выявлении цирроза печени (F4) в подгруппах пациентов без стеатоза и с наличием стеатоза**

Table 12

**Diagnostic performance of native liver T1 mapping for the detection of cirrhosis (F4) stratified by steatosis**

Протокол / Protocol	Подгруппа / Subgroup	AUROC	95% ДИ / 95% CI
MOLLI 4(1)3(1)2	S0	0,959	0,926–0,983
	S1–S3	0,966	0,898–1,000
MOLLI 5(3)3	S0	0,955	0,919–0,982
	S1–S3	0,931	0,860–0,984

*Примечание.* MOLLI (Modified Look-Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука-Локера; AUROC (area under receiver operating characteristic curve) – площадь под кривой рабочей характеристики приемника; ДИ – доверительный интервал.

*Note.* MOLLI – Modified Look-Locker Inversion Recovery; AUROC – area under receiver operating characteristic curve; CI – confidence interval.

Таблица 13

**Сравнение диагностической эффективности нативного T1-картирования печени между подгруппами пациентов без стеатоза и с наличием стеатоза по тесту Делонга**

Table 13

**Comparison of diagnostic performance of native liver T1 mapping between patients without and with steatosis using the DeLong test**

Стадия фиброза / Fibrosis stage	Протокол / Protocol	AUROC S0	AUROC S1–S3	Δ AUROC	p
≥F2	MOLLI 4(1)3(1)2	0,945	0,771	0,174	0,032
	MOLLI 5(3)3	0,943	0,826	0,117	0,085
≥F3	MOLLI 4(1)3(1)2	0,962	0,914	0,048	0,430
	MOLLI 5(3)3	0,962	0,950	0,012	0,744
F4	MOLLI 4(1)3(1)2	0,959	0,966	-0,007	0,818
	MOLLI 5(3)3	0,955	0,931	0,024	0,507

*Примечание.* MOLLI (Modified Look-Locker Inversion Recovery) – модифицированная методика инверсии восстановления Лука-Локера; AUROC (area under receiver operating characteristic curve) – площадь под кривой рабочей характеристики приемника.

*Note.* MOLLI – Modified Look-Locker Inversion Recovery; AUROC – area under receiver operating characteristic curve.

Комплексный анализ показал, что нативное T1-картирование печени демонстрирует устойчивую и статистически значимую связь со стадией фиброза во всей когорте пациентов. Диагностическая эффективность методики возрастает при переходе от порога ≥F2 к ≥F3 и F4, что отражает увеличение расхождения распределений значений T1-картирования по мере прогрессирования фиброзных изменений. Стратификация по наличию стеатоза продемонстрировала, что влияние тканевого состава паренхимы проявляется преимущественно при разграничении ≥F2, тогда как при продвинутых стадиях фиброза дискриминационная способность методики остается стабильной независимо от наличия стеатоза.

Полученные результаты подтверждают диагностическую значимость нативного T1-картиро-

вания печени как количественного МР-биомаркера фиброзных изменений.

### Обсуждение / Discussion

В исследовании продемонстрировано, что нативное T1-картирование печени характеризуется последовательным увеличением значений по мере прогрессирования фиброзных изменений в диапазоне F0–F4. Формирование устойчивого монотонного градиента подтверждается как корреляционным анализом, так и смещением распределений при попарном сопоставлении стадий. Подобная зависимость отражает прогрессирующее ремоделирование внеклеточного матрикса при фиброзе печени, представляющем собой активный динамический процесс [21–23].

Межгрупповой анализ различий между смежными стадиями фиброза отражал последователь-

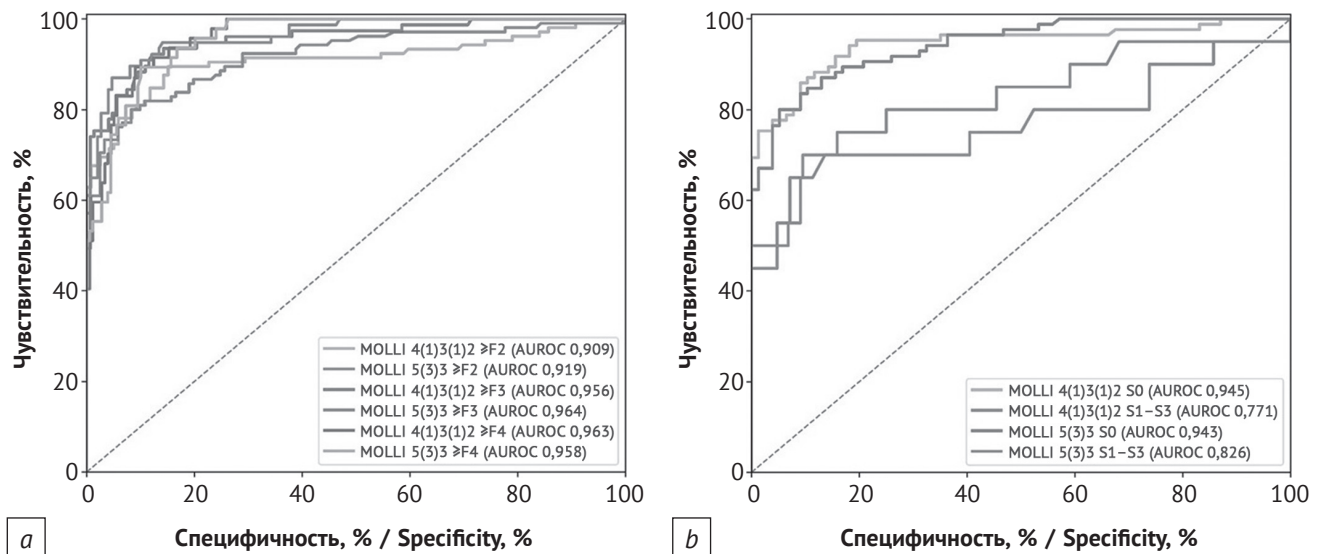


Рис. 2. Диагностическая эффективность нативного T1-картирования печени:

*a* – при выявлении стадий фиброза  $\geq F2$ ,  $\geq F3$  и  $F4$ ; *b* – при выявлении стадий фиброза  $\geq F2$  в подгруппах пациентов без стеатоза (S0) и с наличием стеатоза (S1–S3)

Fig. 2. Diagnostic performance of native liver T1 mapping

*a* – for detection of  $\geq F2$ ,  $\geq F3$  and  $F4$  fibrosis stages; *b* – for detection of  $\geq F2$  fibrosis stages in patients without steatosis (S0) and with steatosis (S1–S3)

ность морфологических изменений. Различия между F0 и F1 были минимальными по абсолютной величине и сопровождалась частичным перекрытием распределений, что соответствует раннему этапу ремоделирования, когда количественный вклад формируемого внеклеточного матрикса относительно невелик по сравнению с исходной вариабельностью тканевых характеристик [22, 23]. Переходы F1–F2, F2–F3 и F3–F4 отличались нарастающим смещением значений T1-картирования и уменьшением перекрытия межквартильных интервалов, что согласуется с данными исследований, демонстрирующих повышение диагностической точности T1-картирования по мере прогрессирования фиброза [23, 24].

ROC-анализ подтвердил закономерное усиление диагностической эффективности при переходе от разграничения  $\geq F2$  к  $\geq F3$  и  $F4$ . Если при выявлении клинически значимого фиброза ( $\geq F2$ ) наблюдалась высокая, но вариабельная дискриминационная способность, то при определении тяжелого фиброза и цирроза показатели AUROC возрастали и достигали максимальных значений при  $F4$ . Такой профиль является ожидаемым, поскольку на поздних стадиях формируется выраженная архитектурная перестройка паренхимы с увеличением доли внеклеточного матрикса, что уменьшает перекрытие распределений между сравниваемыми группами [17, 18].

Особенностью полученных результатов является характер влияния стеатоза печени. В ряде опубликованных работ описано повышение значе-

ний нативного T1-картирования при жировой инфильтрации печени, что связывалось с фазово-зависимым взаимодействием сигналов воды и жира при bSSFP-считывании и особенностями восстановления сигнала в реализации MOLLI [25–28]. В нашем исследовании использовались протоколы MOLLI 4(1)3(1)2 и 5(3)3 с временем эхо 2,3 мс. При данных параметрах измеряемое значение T1-картирования определяется преимущественно усреднением сигналов воды и жира в пределах вокселя без выраженного фазово-индуцированного удлинения времени релаксации.

В этих условиях увеличение протонной плотности жировой фракции сопровождалось снижением времени T1-релаксации. Данный эффект обусловлен тем, что жировая ткань характеризуется более коротким временем продольной релаксации по сравнению с водным компонентом. Увеличение концентрации внутриклеточных липидов в паренхиме приводит к уменьшению интегрального измеряемого значения T1-картирования вследствие частично-объемного усреднения сигналов воды и жира. Вследствие этого в исследуемой когорте стеатоз не повышал, а напротив, снижал измеряемые значения нативного T1-картирования, что отличает полученные данные от части опубликованных наблюдений и указывает на зависимость эффекта от параметров последовательности [29, 30].

Выявленная обратная зависимость не противоречит литературным данным, а отражает особенности формирования измеряемого MP-сиг-

нала при конкретных параметрах импульсной последовательности. Доказано, что влияние жира на T1-картирование определяется сочетанием параметров импульсной последовательности, индукции магнитного поля и частотных смещений, а измеряемое значение представляет собой результат аппроксимации суммарного сигнала смешанного воксела [25, 30]. Следовательно, стеатоз следует рассматривать как модификатор измеряемого показателя, характер влияния которого определяется техническими особенностями конкретной методики.

При стадиях тяжелого фиброза и цирроза влияние стеатоза на дискриминационную способность T1-картирования уменьшалось. Это отражает доминирующий вклад фиброзной перестройки внеклеточного матрикса в релаксационные характеристики ткани, при котором относительное влияние жирового компонента становится вторичным. Так объясняется сохранение высокой диагностической эффективности методики при выявлении тяжелого фиброза и цирроза независимо от наличия стеатоза.

С учетом ограничений инвазивной биопсии печени, включая вариабельность образца материала и риск осложнений [21, 22], а также выраженную пространственную неоднородность фиброзных изменений [31], воспроизводимые количественные МР-методики приобретают особую значимость. Вместе с тем результаты нашего исследования демонстрируют, что интерпретация нативного T1-картирования требует учета тканевого состава и параметров импульсной последовательности, особенно при оценке ранних стадий заболевания.

Таким образом, полученные данные подчеркивают методологически важное свойство нативного T1-картирования печени: методика воспроизводит нарастание фиброзных изменений за

счет прогрессирующего ремоделирования внеклеточного матрикса, однако измеряемое значение является интегральным показателем, чувствительным к составу ткани и конкретной реализации последовательности, что требует осторожной интерпретации результатов, особенно на ранних стадиях заболевания.

### Ограничения исследования

Настоящее исследование имеет ограничения. Стадия фиброза использовалась как клинико-инструментальный референс без обязательной морфологической верификации у всех пациентов. Анализ проводился на одной платформе высокопольного томографа с фиксированными параметрами T1-картирования по протоколам MOLLI 4(1)3(1)2 и 5(3)3, что ограничивает переносимость абсолютных пороговых значений на другие системы и иные реализации последовательности MOLLI.

### Заключение / Conclusion

Нативное T1-картирование печени демонстрирует устойчивую монотонную зависимость от стадии фиброза F0–F4 и наибольшую диагностическую информативность при продвинутых стадиях процесса. Диагностическая эффективность возрастает при переходе от  $\geq F2$  к  $\geq F3$  и достигает максимума при циррозе печени. Стеатоз печени оказывает модифицирующее влияние на измеряемые значения T1-картирования, сопровождаясь их снижением при используемых параметрах последовательностей. Полученные данные подтверждают значимость методики как количественного МР-биомаркера структурных изменений паренхимы печени и обосновывают необходимость ее использования в рамках мультипараметрического МР-подхода при обследовании пациентов с хроническими заболеваниями печени.

## Литература [References]

- Zhuang L, Zhang R, Ren S, et al. Global burden of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease from 1990 to 2021 and the prediction for the next 10 years. *Prev Med Rep.* 2025; 59: 103248. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2025.103248>.
- Ma Q, Liu K, Chang C, et al. Metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease: pathogenesis, model and treatment (review). *Int J Mol Med.* 2025; 56(6): 227. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2025.5668>.
- Feng G, Targher G, Byrne CD, et al. Global burden of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease, 2010 to 2021. *JHEP Rep.* 2025; 7(3): 101271. <https://doi.org/10.1016/j.jhepr.2024.101271>.
- Tham EKJ, Tan DJH, Danpanichkul P, et al. the global burden of cirrhosis and other chronic liver diseases in 2021. *Liver Int.* 2025; 45(3): e70001. <https://doi.org/10.1111/liv.70001>.
- Cerrito L, Galasso L, Iaccarino J, et al. Present and future perspectives in the treatment of liver fibrosis. *Pharmaceuticals.* 2025; 18(9): 1321. <https://doi.org/10.3390/ph18091321>.
- Jahagirdar V, Rama K, Cabrera D, et al. Implications of liver fibrosis in clinical trials. *Ann Hepatol.* 2025; 30(2): 102112. <https://doi.org/10.1016/j.aohep.2025.102112>.
- Zeng X, Huang D, Zhu Z, et al. Mechanism-guided drug development and treatment for liver fibrosis: a clinical perspective. *Front Pharmacol.* 2025; 16: 1574385. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1574385>.
- Chi H, Hansen BE, Tang WY, et al. Multiple biopsy passes and the risk of complications of percutaneous liver biopsy. *Eur J Gastroenterol Hepatol.* 2017; 29(1): 36–41. <https://doi.org/10.1097/MEG.0000000000000731>.
- Khalifa A, Rockey DC. The utility of liver biopsy in 2020. *Curr Opin Gastroenterol.* 2020; 36(3): 184–91. <https://doi.org/10.1097/MOG.0000000000000621>.
- Chowdhury AB, Mehta KJ. Liver biopsy for assessment of

- chronic liver diseases: a synopsis. *Clin Exp Med.* 2023; 23(2): 273–85. <https://doi.org/10.1007/s10238-022-00852-5>.
11. Thomaidis-Brears HB, Alkhoury N, Allende D, et al. Incidence of complications from percutaneous biopsy in chronic liver disease: a systematic review and meta-analysis. *Dig Dis Sci.* 2022; 67(7): 3366–94. <https://doi.org/10.1007/s10620-021-07035-7>.
  12. Kang CC, Wang TE, Liu CY, et al. Update on imaging-based noninvasive methods for assessing hepatic steatosis in nonalcoholic fatty liver disease. *J Med Ultrasound.* 2024; 32(2): 116–20. [https://doi.org/10.4103/jmu.jmu\\_88\\_23](https://doi.org/10.4103/jmu.jmu_88_23).
  13. Huang W, Peng Y, Kang L. Advancements of non-invasive imaging technologies for the diagnosis and staging of liver fibrosis: present and future. *View.* 2024; 5(4). <https://doi.org/10.1002/VIW.20240010>.
  14. Maino C, Vernuccio F, Cannella R, et al. Non-invasive imaging biomarkers in chronic liver disease. *Eur J Radiol.* 2024; 181: 111749. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2024.111749>.
  15. Mazzola M, Cannella R, Pilato G, et al. Quantitative liver MRI biomarkers: what the radiologist should know. *J Med Imaging Interv Radiol.* 2024; 11: 13. <https://doi.org/10.1186/s44326-024-00013-3>.
  16. Khan F, Dsouza S, Khamis AH, et al. Noninvasive assessment of the severity of liver fibrosis in MASLD patients with long-standing type 2 diabetes. *J Gen Intern Med.* 2025; 40(10): 2309–18. <https://doi.org/10.1007/s11606-025-09348-2>.
  17. Xue S, Zhu Y, Shao M, et al. T1/T2 mapping as a non-invasive method for evaluating liver fibrosis based on correlation of biomarkers: a preclinical study. *BMC Gastroenterol.* 2025; 25: 122. <https://doi.org/10.1186/s12876-025-03216-0>.
  18. Serai SD, Robson MD, Tirkes T, Trout AT. T1 mapping of the abdomen, from the AJR “How We Do It” special series. *AJR Am J Roentgenol.* 2025; 224(6): e2431643. <https://doi.org/10.2214/AJR.24.31643>.
  19. Mesrobian N, Chang J, Lutz P, et al. Clinical validation of T1p mapping for the assessment of hepatic fibrosis in patients with chronic liver disease. *Eur Radiol.* 2026; 36(5): 3983–93. <https://doi.org/10.1007/s00330-025-12225-5>.
  20. Thompson RB, Sherrington R, Beaulieu C, et al. Reference values for water-specific T1 of the liver at 3 T: T2\* compensation and the confounding effects of fat. *J Magn Reson Imaging.* 2024; 60(5): 2063–75. <https://doi.org/10.1002/jmri.29262>.
  21. Liedtke C, Nevzorova YA, Luedde T, et al. Liver fibrosis – from mechanisms of injury to modulation of disease. *Front Med.* 2022; 8: 814496. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.814496>.
  22. Akkiz H, Gieseler RK, Canbay A. Liver fibrosis: from basic science towards clinical progress, focusing on the central role of hepatic stellate cells. *Int J Mol Sci.* 2024; 25(14): 7873. <https://doi.org/10.3390/ijms25147873>.
  23. Mesrobian N, Kupczyk P, Dold L, et al. Non-invasive assessment of liver fibrosis in autoimmune hepatitis: diagnostic value of liver magnetic resonance parametric mapping including extracellular volume fraction. *Abdom Radiol.* 2021; 46(6): 2458–66. <https://doi.org/10.1007/s00261-020-02822-x>.
  24. Klaus JB, Goerke U, Klarhofer M, et al. MRI Dixon fat-corrected Look-Locker T1 mapping for quantification of liver fibrosis and inflammation: a comparison with the non-fat-corrected shortened modified Look-Locker inversion recovery technique. *Invest Radiol.* 2024; 59(11): 754–60. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000001084>.
  25. Mozes FE, Tunnicliffe EM, Moola A, et al. Mapping tissue water T1 in the liver using the MOLLI T1 method in the presence of fat, iron and B0 inhomogeneity. *NMR Biomed.* 2018; 32(1). <https://doi.org/10.1002/nbm.4030>.
  26. Pavlides M, Banerjee R, Sellwood J, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging predicts clinical outcomes in patients with chronic liver disease. *J Hepatol.* 2016; 64(2): 308–15. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2015.10.009>.
  27. Higashi M, Tanabe M, Yamane M, et al. Impact of fat on the apparent T1 value of the liver: assessment by water-only derived T1 mapping. *Eur Radiol.* 2023; 33(10): 6844–51. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10052-0>.
  28. Mozes FE, Tunnicliffe EM, Pavlides M, Robson MD. Influence of fat on liver T1 measurements using modified Look-Locker inversion recovery (MOLLI) methods at 3 T. *J Magn Reson Imaging.* 2016; 44(1): 105–11. <https://doi.org/10.1002/jmri.25146>.
  29. Fellner C, Nickel MD, Kannengiesser S, et al. Water-fat separated T1 mapping in the liver and correlation to hepatic fat fraction. *Diagnostics.* 2023; 13(2): 201. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13020201>.
  30. Wang Y, Qi H, Wang Y, et al. Free-breathing simultaneous water-fat separation and T1 mapping of the whole liver (SWALI) with isotropic resolution using 3D golden-angle radial trajectory. *Quant Imaging Med Surg.* 2023; 13(2): 912–23. <https://doi.org/10.21037/qims-22-748>.
  31. Jirouskova M, Harant K, Cejnar P, et al. Dynamics of compartment-specific proteomic landscapes of hepatotoxic and cholestatic models of liver fibrosis. *eLife.* 2025; 14: e98023. <https://doi.org/10.7554/eLife.98023.3>.



# Инfiltrативный туберкулез в педиатрической практике

Мартыяс А.Р.<sup>1</sup>, Кондратьева А.А.<sup>1</sup>, Ильина Н.А.<sup>2</sup>, Осина С.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГБУЗ «Приморский детский краевой клинический фтизиопульмонологический центр», ул. Вторая, 21, Владивосток, 690024, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Пискаревский пр-т, 47, Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация

**Мартыяс Анна Романовна**, врач-рентгенолог ГБУЗ «Приморский детский краевой клинический фтизиопульмонологический центр»; <https://orcid.org/0000-0001-7671-2133>

**Кондратьева Анастасия Андреевна**, врач-фтизиатр ГБУЗ «Приморский детский краевой клинический фтизиопульмонологический центр»; <https://orcid.org/0009-0001-5296-2418>

**Ильина Наталья Александровна**, д. м. н., профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Северо-Западный Государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России; <https://orcid.org/0000-0003-2657-8778>

**Осина Светлана Леонидовна**, главный врач ГБУЗ «Приморский детский краевой клинический фтизиопульмонологический центр»; <https://orcid.org/0009-0004-6534-6632>

## Резюме

Инfiltrативный туберкулез легких остается одной из наиболее актуальных проблем современной фтизиатрии ввиду высокой распространенности, вариабельности клинических проявлений и сложностей ранней диагностики. Данный клинический случай демонстрирует алгоритм диагностики и лечения инfiltrативного туберкулеза легких у подростка. Рассмотрены критерии дифференциальной диагностики с пневмонией, роль иммунологических и микробиологических методов, динамика рентгенологических изменений на фоне противотуберкулезной терапии.

**Ключевые слова:** инfiltrативный туберкулез; фтизиатрия; пневмония; компьютерная томография.

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

**Для цитирования:** Мартыяс А.Р., Кондратьева А.А., Ильина Н.А., Осина С.Л. Инfiltrативный туберкулез в педиатрической практике. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2026; 107(1): 76–81. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-76-81>

**Для корреспонденции:** Мартыяс Анна Романовна, e-mail: [annaromanovna93@bk.ru](mailto:annaromanovna93@bk.ru)

Статья поступила 10.02.2026

После доработки 16.03.2026

Принята к печати 31.03.2026

## Infiltrative Tuberculosis in Pediatric Practice

Anna R. Martyias<sup>1</sup>, Anastasia A. Kondrateva<sup>1</sup>, Natalia A. Ilyina<sup>2</sup>, Svetlana L. Osina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Primorsky Children's Regional Clinical Phthiopulmonology Center, ul. Vtoraya, 21, Vladivostok, 690024, Russian Federation

<sup>2</sup> Mechnikov North-West State Medical University, Piskarevskiy prospekt, 47, Saint Petersburg, 195067, Russian Federation

**Anna R. Martyias**, Radiologist, Primorsky Children's Regional Clinical Phthiopulmonology Center; <https://orcid.org/0000-0001-7671-2133>

**Anastasia A. Kondrateva**, Phthiologist, Primorsky Children's Regional Clinical Phthiopulmonology Center; <https://orcid.org/0009-0001-5296-2418>

**Natalia A. Ilyina**, Dr. Med. Sc., Professor, Chair of Radiation Diagnostics, Mechnikov North-West State Medical University; <https://orcid.org/0000-0003-2657-8778>

**Svetlana L. Osina**, Chief Physician, Primorsky Children's Regional Clinical Phthiopulmonology Center; <https://orcid.org/0009-0004-6534-6632>

## Abstract

Infiltrative pulmonary tuberculosis remains one of the most pressing problems in modern phthiology due to its high prevalence, variability of clinical manifestations, and difficulties in early diagnostics. This clinical case demonstrates an algorithm for the diagnosis and treatment of infiltrative pulmonary tuberculosis

in an adolescent. The criteria for differential diagnosis with pneumonia, the role of immunological and microbiological methods, and the dynamics of X-ray changes during tuberculosis therapy are considered.

**Keywords:** infiltrative tuberculosis; phthisiology; pneumonia; computed tomography.

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

**For citation:** Martiyas AR, Kondrateva AA, Ilyina NA, Osina SL. Infiltrative tuberculosis in pediatric practice. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2026; 107(1): 76–81 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2026-107-1-76-81>

**For corresponding:** Anna R. Martiyas, e-mail: annaromanovna93@bk.ru

Received February 10, 2026

Revised March 16, 2026

Accepted March 31, 2026

## Введение / Introduction

Инфильтративный туберкулез легких остается одной из наиболее актуальных проблем современной фтизиатрии ввиду высокой распространенности, вариабельности клинических проявлений и сложностей ранней диагностики. При данном заболевании отсутствуют абсолютные специфические признаки в клинической и лучевой картине, что затрудняет дифференциальную диагностику [1]. Эта клиническая форма туберкулеза характеризуется наличием воспалительных фокусов в легких более 1 см в диаметре, преимущественно экссудативного характера с казеозным некрозом и наличием или отсутствием деструкции легочной ткани и бронхогенного обсеменения [2].

При обращении за медицинской помощью туберкулез выявляют у 40–60% детей старшего возраста и подростков, при этом обнаруживают, как правило, наиболее распространенные и тяжелые формы. Практически все больные туберкулезом дети раннего возраста поступают сначала в общесоматические отделения с такими диагнозами, как пневмония, острая респираторная вирусная инфекция, менингит. В случае отсутствия положительной динамики при лечении возникает подозрение на туберкулез, после чего детей госпитализируют в специализированные детские туберкулезные отделения [3].

Актуальность темы обусловлена следующими факторами: сохраняющаяся высокая заболеваемость туберкулезом в ряде регионов, увеличение доли подростков и лиц молодого возраста среди впервые выявленных больных, частая имитация неспецифических пневмоний, затрудняющая своевременную диагностику, риск развития осложнений (деструкции легочной ткани, бронхогенной диссеминации) при несвоевременном начале терапии. При этом у подростков и молодых взрослых заболевание нередко протекает атипично, с минимальными симптомами, что приводит к поздней верификации диагноза и увеличению эпидемиологической опасности.

## Описание случая / Case report

Пациент А., 13 лет. Поступил в больницу г. Находка с жалобами на повышение температуры до

38,3 °С, малопродуктивный приступообразный кашель, слабость. При поступлении состояние средней тяжести за счет дыхательной недостаточности 1-й степени, дыхательных нарушений, симптомов интоксикации. Температура тела 38,2 °С, давление 106/65 мм рт. ст., сатурация 97%. Перед обращением выполнена рентгенограмма органов грудной клетки (ОГК), на которой выявлены инфильтративные изменения в верхней доле левого легкого и средней доле правого легкого.

Для уточнения диагноза проведена компьютерная томография (КТ) ОГК, при анализе которой выявлены более распространенные изменения (рис. 1).

На протяжении 2 нед пациент находился на стационарном лечении с диагнозом: «Внебольничная двусторонняя полисегментарная пневмония, тяжелая, бронхообструктивный синдром». Больной получал неспецифическую антибактериальную терапию (цефотаксим, ампициллин, азитромицин, линезолид), симптоматическую терапию, ингаляционную терапию (ингаляции с бронхолитиками). На фоне лечения положительной клинико-рентгенологической динамики не отмечено.

Данные иммунодиагностики: реакция Манту с 2014 г. по 2019 г. отрицательная, в 2019 г. гиперемия 7 мм. Диаскинтест (ДСТ) в 2022, 2023 гг. отрицательный, в 2024 г. не проводился. ДСТ от марта 2025 г. – папула 15 мм. Учитывая гиперергическую чувствительность к ДСТ, рекомендована консультация фтизиатра.

При выяснении анамнеза установлен туберкулезный контакт с соседом по лестничной площадке (смерть от туберкулеза, точный диагноз неизвестен).

Консультирован фтизиатром, выставлен диагноз: «Внебольничная двусторонняя пневмония, бронхообструктивный синдром. Инфицирование микобактерией туберкулеза (МБТ)».

С учетом гиперергической иммунологической пробы (ДСТ – папула 15 мм) и отрицательной рентгенологической динамики на фоне неспецифической антибактериальной терапии для дальнейшего обследования и исключения локальной формы туберкулеза пациент направлен в ГБУЗ «Приморский детский краевой клинический фтизиопульмо-

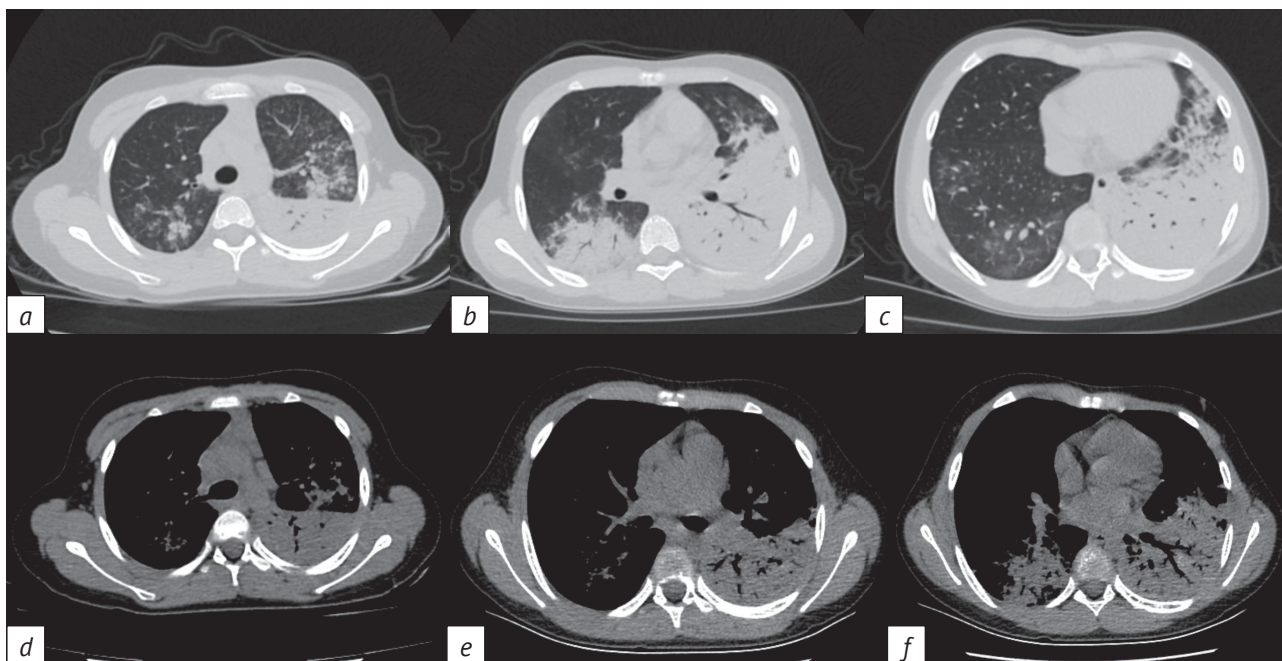


Рис. 1. Компьютерные томограммы органов грудной клетки при поступлении пациента в стационар:

*a-c* – аксиальная проекция, легочное окно (в нижней доле левого легкого субтотальная консолидация легочной ткани с положительным симптомом воздушной бронхографии; в верхней доле левого легкого множественные центрилобулярные очаги по типу матового стекла, сливающиеся в участки инфильтрации; в правом легком аналогичные множественные центрилобулярные очаги по типу матового стекла, в S6 сливающиеся в участок консолидации с положительным симптомом воздушной бронхографии); *d-f* – аксиальная проекция, средостенное окно (лимфатические узлы средостения, подмышечные не увеличены, с четкими контурами, признак «жировые ворота» прослеживается; множественности, гиперплазии, кальцинации внутригрудных лимфатических узлов не выявлено)

Fig. 1. Chest computed tomography scans upon patient admission to hospital:

*a-c* – axial plane, pulmonary window (in the lower lobe of the left lung, subtotal consolidation of lung tissue with a positive air bronchography sign; in the upper lobe of the left lung, multiple centrilobular ground-glass foci coalescing into areas of infiltration; in the right lung, similar multiple centrilobular ground-glass foci coalescing in S6 into an area of consolidation with a positive air bronchography sign); *d-f* – axial plane, mediastinal window (mediastinal and axillary lymph nodes are not enlarged, with clear contours; the “fatty porta” sign is visible; no multiplicity, hyperplasia, or calcification of intrathoracic lymph nodes were detected)

нологический центр» (ПДККФЦ). В течение 4 мес находился на стационарном лечении с диагнозом: «Инфильтративный туберкулез S6 правого легкого, нижней доли левого легкого. МБТ(+), лекарственно-чувствительный, осложненный диссеминацией обоих легких».

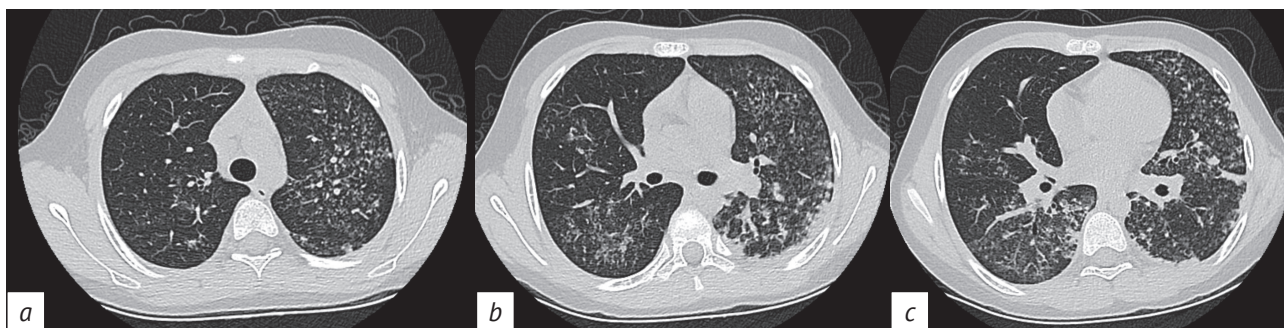
Бактериоскопия промывных вод бронхов на кислотоустойчивые микобактерии люминесцентным методом – отрицательная. Полимеразная цепная реакция (ПЦР GeneXpert) промывных вод бронхов: обнаружены единичные копии МБТ, чувствительность к рифампицину сохранена. При анализе посева на жидкие питательные среды методом Bactec MGIT 960 выявлен рост МБТ, чувствительность к противотуберкулезным препаратам сохранена. Посев на плотные питательные среды показал скудный рост возбудителя (1+). При оценке и интерпретации результатов бактериологических исследований (ПЦР GeneXpert, посевы на жидкие и плотные питательные среды) обнаружены МБТ.

Перед началом лечения проведены консультации смежных специалистов (невролога, офтальмолога, оториноларинголога) – противопоказаний к назначению противотуберкулезных препаратов не выявлено.

В условиях стационара пациент получал терапию по режиму лекарственно-чувствительного туберкулеза. В фазе интенсивной терапии применены пять противотуберкулезных препаратов (изониазид, рифампицин, пиразинамид, амикацин, левофлоксацин) № 120. Фаза продолжения лечения – три противотуберкулезных препарата (изониазид, рифампицин, пиразинамид) № 120.

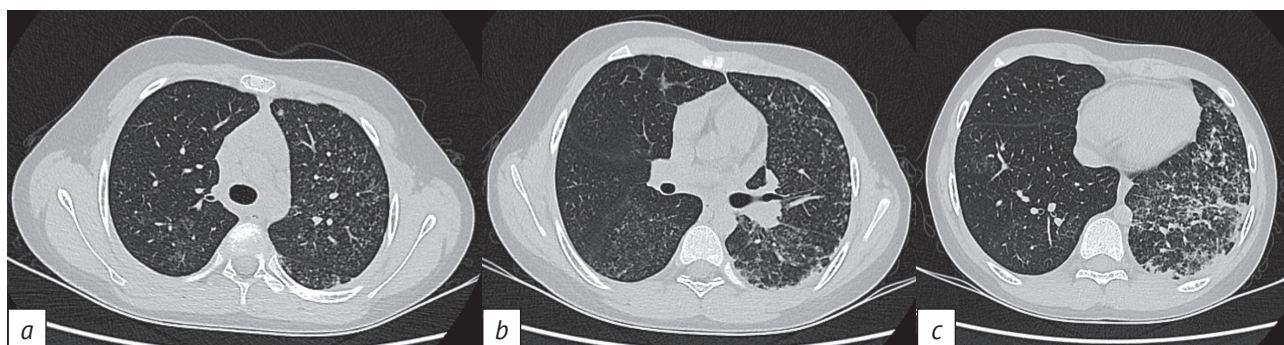
На протяжении стационарного лечения проводилась КТ ОГК для оценки его эффективности. На контрольной КТ через 1 мес наблюдалась разнонаправленная динамика на фоне лечения (рис. 2). Выполнены контрольные КТ ОГК через 6 и 8 мес от начала специфического лечения (рис. 3, 4).

На фоне лечения наблюдалась положительная клиничко-рентгенологическая динамика. До-



*Рис. 2.* Компьютерные томограммы органов грудной клетки через 1 мес от начала лечения. Аксиальная проекция, легочное окно (а–с). Определяется разрешение консолидации в легочной ткани в нижней доле левого легкого, в S6 правого легкого. На фоне специфической терапии в обоих легких отмечается динамика в виде появления участков мелкоочаговой бронхогенной диссеминации

*Fig. 2.* Chest computed tomography scans 1 month after beginning of treatment. Axial plane, pulmonary window (a–c). Resolution of consolidation in lung tissue is observed in the lower lobe of the left lung and in S6 of the right lung. With specific therapy, dynamics are observed in both lungs as areas of small focal bronchogenic dissemination appear



*Рис. 3.* Компьютерные томограммы органов грудной клетки через 6 мес от начала лечения. Аксиальная проекция, легочное окно (а–с). Значительное уменьшение количества и размеров очагов бронхогенной диссеминации в обоих легких. В нижней доле левого легкого выраженные ретикулярные изменения

*Fig. 3.* Chest computed tomography scans 6 months after beginning of treatment. Axial plane, pulmonary window (a–c). Significant reduction in the number and size of bronchogenic dissemination foci in both lungs. Pronounced reticular changes in the lower lobe of the left lung

стигнуто стойкое абациллирование мокроты, подтвержденное лабораторными данными в виде отрицательных результатов бактериоскопии промывных вод бронхов на кислотоустойчивой микобактерии люминесцентным методом двукратно и посева на плотные питательные среды двукратно. По результатам КТ ОГК также за весь период специфической терапии отмечена положительная динамика в виде полного разрешения мелкоочаговой бронхогенной диссеминации в S3, S4, S5 левого легкого. Зоны консолидации в нижней доле правого легкого сменились на ретикулярные изменения легочной ткани, на фоне лечения также снизилась интенсивность и выраженность ретикулярного паттерна.

В связи с положительной клинико-рентгенологической динамикой решением врачебной комиссии пациент переведен в III группу диспансерного наблюдения с продолжением наблюдения фтизиатра по месту жительства.

## Обсуждение / Discussion

Туберкулез остается серьезной глобальной проблемой общественного здравоохранения, и прогресс в снижении бремени болезни значительно отстает от целевых показателей 2030 г. в большинстве регионов мира. По данным Всемирной организации здравоохранения, среди заболевших туберкулезом в 2024 г. было 54% мужчин, 35% женщина и 11% детей [4].

Преобладающей формой у подростков являются инфильтративный и очаговый туберкулез легких. Для данной когорты характерны вторичные формы первичного генеза: на фоне распространенного легочного процесса имеются пораженные туберкулезом внутригрудные лимфатические узлы [3]. Считается, что изменение гормонального фона и преобразования в иммунной системе могут играть роль в ответной реакции на внедрение МБТ [5]. МБТ быстро обнаруживаются иммунной системой, и если иммунитет подростка не ослаблен, то

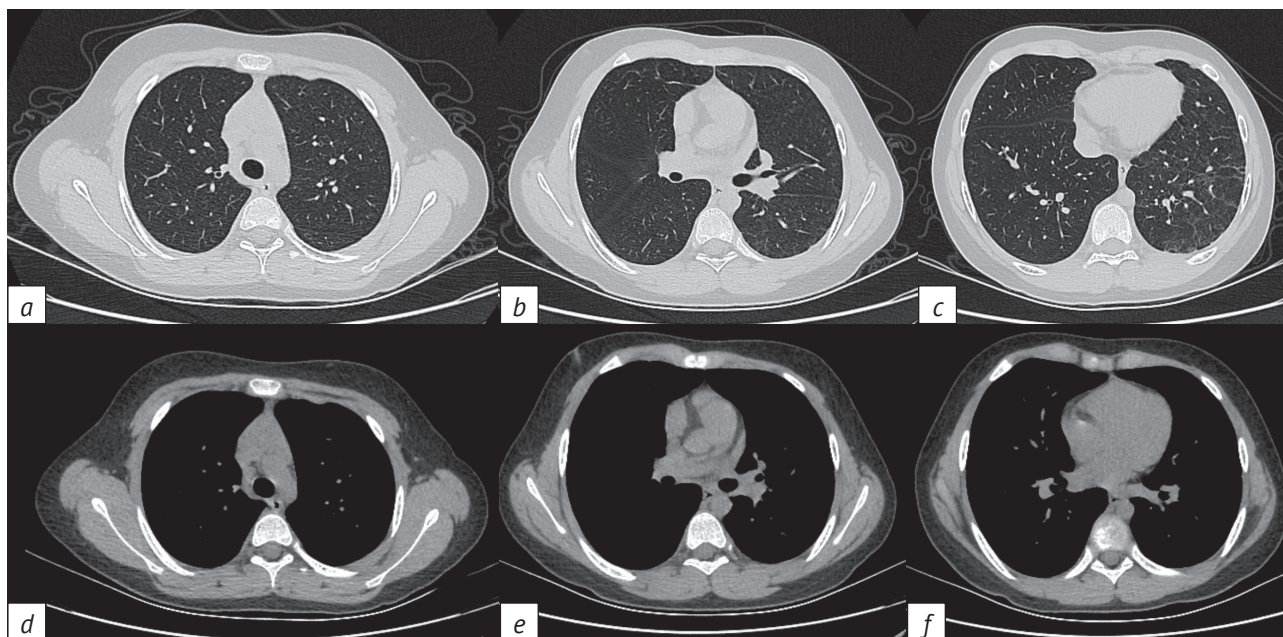


Рис. 4. Компьютерные томограммы органов грудной клетки через 8 мес от начала лечения:

*a-c* – аксиальная проекция, легочное окно (в S3, S4, S5 левого легкого определяется полное разрешение мелкоочаговой бронхогенной диссеминации; в нижней доле левого легкого выражено уменьшение интенсивности ретикулярных изменений); *d-f* – аксиальная проекция, средостенное окно (на протяжении стационарного лечения в динамике лимфатические узлы средостения, подмышечные узлы не увеличены, с четкими контурами, признак «жировые ворота» прослеживается; множественности, гиперплазии, кальцинации внутригрудных лимфатических узлов не выявлено)

Fig. 4. Chest computed tomography scans 8 months after beginning of treatment:

*a-c* – axial plane, pulmonary window (complete resolution of small focal bronchogenic dissemination is observed in S3, S4, and S5 of the left lung; in the lower lobe of the left lung, there is a marked decrease in the intensity of reticular changes); *d-f* – axial plane, mediastinal window (during inpatient treatment, the mediastinal and axillary lymph nodes are not enlarged, with clear contours, and the “fatty porta” sign is visible; no intrathoracic lymph node multiplicity, hyperplasia, or calcification are detected)

вовремя назначенное адекватное противотуберкулезное лечение быстро устраняет признаки и симптомы инфекции [6].

Исходя из анамнеза, у пациента был туберкулезный контакт с соседом по лестничной площадке. В 2024 г. подростку не проводили ДСТ – вполне вероятно, что именно в тот временной период и произошло заражение МБТ. При ретроспективном анализе клинической картины и оценке результатов КТ фтизиатрами и рентгенологами ПДККФЦ сформировалось мнение, что на фоне снижения иммунитета подростка, причинами которого могли быть гормональная перестройка, стресс, несбалансированное питание, дефициты витаминов, организм не смог справиться с бактериальной нагрузкой и стал мишенью для МБТ.

В данном клиническом случае при поступлении в стационар была высока вероятность специфического процесса в обоих легких, но клиническая картина не совсем характерна для инфильтративного туберкулеза с массивным распространением на оба легких. Для проведения дифференциальной диагностики выдвинута гипотеза о том, что рентгенологические изменения в легких от неспецифической инфекции регресси-

руют в течение 1 мес, в отличие от затяжных или хронических воспалительных процессов, к которым относится туберкулез [7]. Данная гипотеза подтверждается тем, что на КТ ОГК через 1 мес после начала специфической терапии наблюдалась разнонаправленная динамика в виде разрешения инфильтратов в легких, но на фоне положительной динамики появилась диссеминация в легочной ткани, что указывает на распространение специфического процесса. У пациента наблюдалось атипичное течение инфильтративного туберкулеза обоих легких, осложненного диссеминацией, так как при оценке и интерпретации результатов КТ при поступлении и в процессе лечения отсутствовали признаки поражения внутригрудных лимфатических узлов. Даже при эффективном лечении при ярко выраженной положительной рентгенологической динамике в легочной ткани отмечалось отсутствие изменений в виде кальцинации в лимфатических узлах.

На сегодняшний день единственным неоспоримым доказательством наличия у человека туберкулеза остается обнаружение МБТ в его биологических образцах. Без этого диагноз не считается окончательно подтвержденным [7]. В нашем на-

блюденни в образцах посева на жидкие питательные среды выявлен рост МБТ, подтверждающий наличие возбудителя в организме.

Следует акцентировать внимание специалистов на взаимоисключение неспецифического и туберкулезного процессов. При обследовании ребенка важно тщательно собрать медицинский анамнез, который включает информацию об истории контактов с людьми, у которых есть или был туберкулез, посещении или проживании в районе с высокой заболеваемостью туберкулезом, предыдущее лечение туберкулеза, вакцинацию БЦЖ, а также признаки и симптомы, соответствующие туберкулезу [8]. Хотя клинических обследований, которые могли бы однозначно подтвердить туберкулез при поступлении в общесоматическое отделение, не существует, разнообразие как неспецифических, так и специфических признаков должно вызывать клиническое подозрение, побуждать к тщательному обследованию на туберкулезное заболевание, а также влиять на принятие клинических решений о лечении туберкулеза [9].

### Заключение / Conclusion

Представленный клинический случай демонстрирует сложность дифференциальной диагно-

стики и верификации туберкулезной инфекции у подростка с изначально манифестирующей картиной внебольничной пневмонии.

Анализ наблюдения позволяет выделить ряд принципиально важных аспектов, имеющих значение для клинической практики и научного осмысления проблемы. Это отсутствие положительной динамики на фоне стандартной антибактериальной терапии и критический маркер в виде гиперергической реакции на ДСТ, позволивший заподозрить туберкулезную инфекцию и инициировать углубленное обследование. Также сочетание молекулярно-генетических и культуральных методов обеспечило достоверное подтверждение наличия МБТ и определение лекарственной чувствительности возбудителя. Постепенная эволюция рентгенологической картины от полисегментарных до ретикулярных изменений на фоне лечения указывает на эффективность подобранной терапии.

Таким образом, данный случай иллюстрирует необходимость мультидисциплинарного подхода к диагностике и лечению туберкулеза у детей и подростков, сочетающего клиническую историю, современные лабораторные технологии и индивидуализированную терапию.

### Литература [References]

- Афанасьев Е.И., Мымрина А.Ю., Набиуллина З.Р., Бузанакова Т.В. Клинический случай инфильтративного туберкулеза легких, осложненного туберкулезом бронха у ребенка. Медицинский алфавит. 2024; 24: 67–71. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-24-67-71>. [Afanasyev EI, Mymrina AYu, Nabiullina ZR, Buzanakova TV. Clinical case of infiltrative pulmonary tuberculosis complicated by bronchial tuberculosis in a child. Medical Alphabet. 2024; 24: 67–71 (in Russ). <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-24-67-71>.]
- Рубрикатор клинических рекомендаций. Туберкулез у детей. 2024. URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/507\\_3](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/507_3) (дата обращения 28.11.2025). [Rubricator of clinical guidelines. Tuberculosis in children. 2024. Available at: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/507\\_3](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/507_3) (in Russ) (accessed 28.11.2025).]
- Перельман М.И. (ред.) Фтизиатрия: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2010: 504 с. [Perelman MI (Ed). Phthisiology: national guidelines. Moscow: GEOTAR-Media; 2010: 504 pp (in Russ).]
- World Health Organization. Global Tuberculosis Report. 2025. Available at: <https://www.who.int/teams/global-programme-on-tuberculosis-and-lung-health/tb-reports/global-tuberculosis-report-2025> (accessed 28.11.2025).
- Snow KJ, Cruz AT, Seddon JA, et al. Adolescent tuberculosis. Lancet Child Adolesc Health. 2020; 4(1): 68–79. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(19\)30337-2](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(19)30337-2).
- Tristram D, Tobin EH. Tuberculosis in children. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan.
- Колпина Н.Ю., Синецына А.В., Гаврилов П.В. и др. Результаты дифференциальной диагностики реактивных изменений в легких при подозрении на туберкулез у детей. Вестник рентгенологии и радиологии. 2025; 106(5): 171–80. <https://doi.org/10.20862/00424676-2025-106-5-171-180>. [Kolpina NYu, Sinitsyna AV, Gavrilov PV, et al. Results of differential diagnostics of reactive lung changes with suspected tuberculosis in children. Journal of Radiology and Nuclear Medicine. 2025; 106(5): 171–80 (in Russ). <https://doi.org/10.20862/00424676-2025-106-5-171-180>.]
- Moore BK, Graham SM, Nandakumar S, et al. Pediatric tuberculosis: a review of evidence-based best practices for clinicians and health care providers. Pathogens. 2024, 13(6): 467. <https://doi.org/10.3390/pathogens13060467>.
- World Health Organization. WHO operational handbook on tuberculosis. Module 5: co-morbidities, vulnerable populations and people-centred care: management of tuberculosis in children and adolescents. 2022. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240046832> (accessed 28.11.2025).

