



С 2019 г. «Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия» включен в научную электронную библиотеку и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).  
С 2019 г. журнал включен в CrossRef, все статьи индексируются с помощью цифрового идентификатора DOI.  
С 2020 г. журнал включен в перечень ВАК Минобрнауки РФ ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований.  
С 2023 г. журнал получил итоговую категорию К2 по результатам итогового распределения журналов перечня ВАК.  
С 2025 г. журнал включен в «Белый список».  
Официальный основной журнал Межрегиональной общественной организации содействия развитию ядерной медицины «Общество ядерной медицины» и «Общества интервенционных онкорадиологов».

# ОНКОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

## лучевая диагностика, лучевая терапия

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-КЛИНИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ



- Лучевая терапия
- Ядерная медицина
- Лучевая диагностика
- Интервенционная радиология
- Комбинированные методы диагностики и лечения
- Медицинская физика
- Экспериментальная радиология
- Радиационная безопасность
- Профессиональное образование
- Клинические случаи

Цель издания — ознакомление широкой медицинской аудитории с новейшими достижениями в лучевой диагностике и радиационной терапии в онкологии для последующего внедрения в широкую клиническую практику.

Наименование отраслей науки по профилю журнала в соответствии с Номенклатурой специальностей:

- 3.1.6. Онкология, лучевая терапия (медицинские и биологические науки)
- 3.1.25. Лучевая диагностика (медицинские науки)
- 3.1.1. Рентгенэндоваскулярная хирургия (медицинские науки)
- 1.3.21. Медицинская физика (физико-математические и технические науки)

# 2026

# Том 9

# № 1

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 2018 г.

## Onkologicheskii zhurnal: lucheavaya diagnostika, lucheavaya terapiya

**Учредитель и издатель:** НП «Общество интервенционных онкорадиологов», 115583, Москва, ул. Елецкая, 15.

**Адрес редакции:** 115478, Москва, Каширское ш., 23, корп. А, 7 эт., оф. 758.  
Тел.: +7 (903)1990722. E-mail: oncolog.zhurnal@mail.ru  
Сайт журнала: <http://www.oncoradjournal.ru>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.  
Свидетельство ПИ № ФС77-72406 от 28.02.2018

Владелец права на оригинал-макет и оформление материалов издания — журнал «Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия». Авторское право на статьи журнала принадлежит авторам статей.

Материалы этого издания не могут воспроизводиться ни в какой форме без письменного разрешения.

Свободная цена.

ISSN: 2587-7593 (Print) ISSN: 2713-167X (Online)

*Ответственный секретарь* М.Г. Лаптева  
*Компьютерная верстка* В.В. Колесниченко

Подписано в печать 18.03.2026. Формат 60×88/8.

Печать офсетная. 14,25 усл. печ. л. Тираж 300 экз. Заказ №

Отпечатано в типографии ООО «Поли Принт Сервис». 127015, Москва, ул. Бутырская, 86. Тел.: +7(495)797-3559.

**Москва**

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

**Долгушин Борис Иванович** — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, директор НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА**

**Наркевич Борис Ярославович** — доктор технических наук, профессор, научный консультант лаборатории радиоизотопной диагностики НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**Тюрин Игорь Евгеньевич** — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, заместитель директора НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ**

**Лаптева Мария Георгиевна** — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог рентгенодиагностического отделения КДЦ, врач-рентгенолог исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта в здравоохранении, ученый секретарь НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР**

**Финогенова Юлия Андреевна** — научный сотрудник лаборатории радионуклидных и лучевых технологий в экспериментальной онкологии НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Акинфеев Владимир Владимирович** — кандидат медицинских наук, заведующий отделением ангиографии ГУ Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н.Н. Александрова (Минский район, Белоруссия).

**Араблинский Андрей Владимирович** — доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Москва, Россия).

**Балахнин Павел Васильевич** — кандидат медицинских наук, заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический)» (Санкт-Петербург, Россия).

**Борсуков Алексей Васильевич** — доктор медицинских наук, профессор, директор проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России; заведующий городским отделением диагностических и малоинвазивных технологий в ОГБУЗ «Клинической больницы №1» (Смоленск, Россия).

**Бредер Валерий Владимирович** — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения клинических биотехнологий НИИ клинической онкологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**Буйденко Юрий Владимирович** — доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории интервенционной радиологии НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**Вайнсон Адольф Адольфович** — доктор биологических наук, профессор, главный научный консультант лаборатории радионуклидных и лучевых технологий в экспериментальной онкологии НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**Гаирола Муниш** — директор отделения радиологии в онкологии Онкологического института и исследовательского центра имени Раджива Ганди (Нью-Дели, Индия).

**Данзанова Татьяна Юрьевна** — доктор медицинских наук, врач отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (Москва, Россия).

**Долгушин Михаил Борисович** — доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела, заведующий отделением рентгенологических и радионуклидных методов диагностики ФГБУ Федеральный центр мозга и нейротехнологий ФМБА России, профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (Москва, Россия).

**Кайремо Калеви** — профессор отдела ядерной медицины Онкологического центра им. И.Д. Андерсона (Хьюстон, США), врач онкологической клиники Дократес (Хельсинки, Финляндия).

**Кочергина Наталия Васильевна** — доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник рентгенодиагностического отделения ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (Москва, Россия).

**Крылов Валерий Васильевич** — доктор медицинских наук, директор Института ядерной медицины МРНЦ им. А.Ф.Цыба филиала ФГБУ НМИЦ радиологии Минздрава России, заведующий отделением радионуклидной терапии, врач-радиолог, вице-президент МОО «Общество ядерной медицины» (Обнинск, Россия).

**Куцук Надир** — магистр наук, главный медицинский физик, Медицинский центр Анадолу (Гебзе, Турция).

**Лимурис Георгиос** — доктор медицинских наук, профессор, врач-радиолог, научный консультант Афинского национального университета им. Каподистрии, госпиталь армейского паевого фонда (Афины, Греция).

**Липенгольц Алексей Андреевич** — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории радионуклидных и лучевых технологий в экспериментальной онкологии НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**Мищенко Андрей Владимирович** — доктор медицинских наук, профессор, главный врач Клиники ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ (Москва, Россия).

**Назаренко Алексей Витальевич** — кандидат медицинских наук, заведующий радиотерапевтическим отделением ГБУЗ «МКНЦ им. А.С. Логинова» ДЗМ (Москва, Россия).

**Охотников Олег Иванович** — доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики и терапии ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России (Курск, Россия).

**Станжевский Андрей Алексеевич** — доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова» Минздрава России (Санкт-Петербург, Россия).

**Трофимова Оксана Петровна** — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения радиотерапии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

**Бейер Томас** — профессор физики визуализации в медицине, заместитель заведующего кафедрой медицинской физики и биомедицинской инженерии Медицинского университета (Вена, Австрия).

**Виноградова Юлия Николаевна** — доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, руководитель отдела лучевых и комбинированных методов лечения, профессор кафедры радиологии, хирургии и онкологии ФГБУ «РНЦРХТ им. акад. А.М. Гранова» Минздрава России (Санкт-Петербург, Россия).

**Вишнякова Мария Валентиновна** — доктор медицинских наук, профессор, руководитель рентгенологического отдела, заведующая кафедрой лучевой диагностики ФУВ ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, главный специалист по лучевой диагностике МЗ Московской области (Москва, Россия).

**Григорьева Елена Юрьевна** — доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией радионуклидных и лучевых технологий в экспериментальной онкологии НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**Каприн Андрей Дмитриевич** — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заслуженный врач РФ, генеральный директор ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России (Москва, Россия).

**Карман Андрей Вениаминович** — кандидат медицинских наук, руководитель группы лучевой диагностики диагностической лаборатории РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова (Минск, Белоруссия).

**Минайло Ирина Ивановна** — кандидат медицинских наук, доцент, заведующая лабораторией лучевой терапии РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова, (Минск, Белоруссия).

**Нуднов Николай Васильевич** — доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России; профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики ФГАОУ ВО РУДН (Москва, Россия).

**Погребняков Владимир Юрьевич** — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кабинетом рентгенохирургических методов диагностики и лечения СПб ГБУЗ «ГКОД» (Санкт-Петербург, Россия).

**Риенмюллер Райнер** — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой общей медицинской радиологии Медицинский Университет (Грац, Австрия).

**Синайко Валерий Васильевич** — доктор медицинских наук, заведующий отделением ПЭТ РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова (Минск, Белоруссия).

**Синюкова Галина Тимофеевна** — доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (Москва, Россия).

**Скуридин Виктор Сергеевич** — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией №31 ядерного реактора УНЦИЯР НЯТШ, начальник производственного отдела радиофармпрепаратов ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск, Россия).

**Таскаев Сергей Юрьевич** — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (Новосибирск, Россия).

**Троян Владимир Николаевич** — доктор медицинских наук, профессор, начальник центра лучевой диагностики, главный рентгенолог ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н. Н. Бурденко» МО РФ (Москва, Россия).

**Чернов Владимир Иванович** — доктор медицинских наук, профессор, член-корр. РАН, заведующий отделением радионуклидной диагностики, зам. директора по научной работе и инновационной деятельности НИИ онкологии Томского НИМЦ РАН (Томск, Россия).

**Черноглаз Павел Феликсович** — заведующий рентгеноперационным отделением РНПЦ детской хирургии (Минск, Белоруссия).

**Чойнзон Евгений Лхамцыренович** — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, директор НИИ онкологии Томского НИМЦ РАН, заведующий кафедрой онкологии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России (Томск, Россия).

**СОДЕРЖАНИЕ****ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ**

Брянцева Ж.В., Новиков С.Н., Акулова И.А., Криворотко П.В., Табагуа Т.Т.,  
Крживицкий П.И., Хорошавина А.А., Попова Н.С.

**Сравнительный анализ онкологической эффективности и косметических результатов  
ускоренного частичного облучения больных раком молочной железы с помощью  
высокодозной брахитерапии и дистанционной лучевой терапии** ..... 9

**ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА**

Белкин Е.В., Тулин П.Е., Бадаян А.М., Абу-Хайдар О.Б., Соломяный В.В., Филимонов А.В.

**ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI и <sup>18</sup>F-FDG в оценке отдаленного метастатического поражения при раке желудка** ..... 16

Николаева Е.А., Крылов А.С., Рыжков А.Д., Прохоров С.Н.

**Метод количественной оценки эффективности костнонаправленной радионуклидной  
терапии радия-223 хлоридом у больных раком предстательной железы** ..... 24

Хорошавина А.А., Новиков С.Н., Крживицкий П.И., Жукова Л.А., Попова Н.С.,  
Брянцева Ж.В., Акулова И.А., Криворотко П.В., Канаев С.В.

**Использование маммосцинтиграфии для оценки эффективности неoadъювантной  
химиотерапии у больных агрессивными биологическими подтипами рака молочной железы** ..... 33

**ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА**

Карпов С.С., Кондратьев Е.В., Усталов А.А., Шмелева С.А., Тарнопольский В.М.

**Оценка возможностей моделей машинного обучения и радиомического анализа  
для дифференциальной диагностики кистозных новообразований поджелудочной железы** ..... 43

Лукьянченко А.Б., Романова К.А., Кропотов П.С., Кодзоева Э.Б., Стилиди И.С.

**Болезнь Кастлемана: краткий литературный обзор и собственные наблюдения.** ..... 53

Чекина Н.А., Афанасьев А.Б., Абдураимов А.Б., Андронов А.К.

**Лучевые методы исследования с контрастным усилением в диагностике  
рака молочной железы: обзор литературы** ..... 60

**КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ**

Тагиль А.О., Борсуков А.В.

**Информативность вакуумной тонкоигольной аспирационной биопсии иглами малого диаметра  
под ультразвуковым контролем при опухолевых поражениях печени, поджелудочной железы  
и лимфатических узлов: клинико-экспериментальное исследование** ..... 69

**РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Гармаш А.А., Буйденко Ю.В., Васюк Е.Ю., Лебеденко И.М., Найденев М.Г., Долгушин Б.И., Тюрин И.Е.,  
Бугаев В.Е., Кононец П.В., Виршке Э.Р., Козак Е.Н., Ахвердиева Г.И., Лаптева М.Г., Закурдаева А.В.

**Оценка дозовых нагрузок на медицинский персонал при проведении биопсии  
периферических образований лёгких под контролем компьютерной томографии** ..... 77

**КЛИНИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ**

Ажищева М.Е., Фролова И.Г., Родионов Е.О., Миллер С.В., Черемисина О.В., Лоос Д.М.,  
Табакаев С.А., Боберъ Е.Е., Суркова П.В.

**Солитарная фиброзная опухоль плевры с низким потенциалом злокачественности  
(обзор и клиническое наблюдение)** ..... 90

Залялов И.Ф., Галаева Х.Т.

**Клинический случай лечения пациента с неоперабельным высокодифференцированным  
раком щитовидной железы методом стереотаксической гипофракционной лучевой терапии** ..... 97

Тулин П.Е., Деньгина Т.А., Соломяный В.В., Филимонов А.В., Невзоров Д.И., Долгушин Б.И.

**Сравнение ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 и <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 in vivo при воспалительном и онкологическом  
заболеваниях. Клинические наблюдения** ..... 103

**ХРОНИКА**

**Итоги IX Всероссийского научно-образовательного конгресса с международным участием  
«Онкорadiология, лучевая диагностика и терапия»** ..... 109

**НЕКРОЛОГ**

**Памяти Ричарда Ипполитовича Габуня** ..... 113



Since 2019, «Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy» is included in the Scientific Electronic Library and the Russian Science Citation Index (RSCI).  
Since 2019, the journal is included in CrossRef, all articles are indexed with the digital object identifier DOI.  
Since 2020, the journal is included in the list of Higher Attestation Commission (HAC) of the leading peer-reviewed scientific journals recommended for publication of the results of thesis works.  
Since 2023, according to the results of the final distribution of the journals of Higher Attestation Commission (HAC) list 2023, the journal is included in the final category K2.  
Since 2025 the journal has been included in the White List.  
The official main journal of the Association «National Center for Onco-radiological Competence» and the Interregional Public Organization for the Promotion of Nuclear Medicine «Society of Nuclear Medicine»

# JOURNAL OF ONCOLOGY

## Diagnostic Radiology and Radiotherapy

QUARTERLY SCIENTIFIC-AND-CLINICAL PEER-REVIEWED JOURNAL



- Radiotherapy
- Nuclear Medicine
- Diagnostic Radiology
- Interventional Radiology
- Combined Methods of Diagnostics and Treatment
- Medical Physics
- Experimental Radiology
- Radiation Safety
- Professional Education
- Clinical Cases

Objectives — introducing the latest achievements in diagnostic radiology and radiotherapy in oncology for subsequent implementation in wide clinical practice.

Names of branches of science according to the profile of the journal in accordance with the Nomenclature of specialties:

- 3.1.6. Oncology, radiotherapy (medical and biological sciences)
- 3.1.25. Diagnostic radiology (medical sciences)
- 3.1.1. Endovascular surgery (medical sciences)
- 1.3.21. Medical physics (physical-mathematical and technical sciences)

# 2026 Volume 9 No. 1

FOUNDED IN 2018

## Onkologicheskii zhurnal: luchevaya diagnostika, luchevaya terapiya

**Founder and Publisher:** Non-Profit Partnership "Society of Interventional Onco-radiologists". 115583, Moscow, Eletskaia str., 15.  
Address of Editorial Board: 115478, Moscow, Kashirskoye Shosse, 23, build A, 7th floor, office 758. Phone: +7 (903)1990722.  
E-mail: [oncolog.zhurnal@mail.ru](mailto:oncolog.zhurnal@mail.ru). website: <http://www.oncoradjournal.ru>  
The journal was registered at the Federal Service for Surveillance of Communications, Information Technologies and Mass Media.  
Certificate ПИ № ФС77-72406 dated 28.02.2018  
The owner of the rights to the original layout and design of the publication of the publication — the journal "Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy".

Copyright for journal articles belongs to the authors of the articles. No part of this copyrighted work may be reproduced, modified or distributed, without the prior written permission.  
Free price.  
ISSN: 2587-7593 (Print) ISSN: 2713-167X (Online)  
*Executive Secretary* M.G. Lapteva  
*Computer design and make-up* V.V. Kolesnichenko  
Signed to the print 18.03.2026. Format 60x88/8.  
Offset printing. 14.25 sh. Circulation of 300 copies Order #  
Printed in the printing house POLY PRINT SERVICE.  
127015, Moscow, Butyrskaya str., 86

Moscow

### EDITOR-IN-CHIEF

**Boris I. Dolgushin** — Dr. Sci. Med., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Clinical and Experimental Radiology of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

### DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

**Boris Ya. Narkevich** — Dr. Sci. Tech., Professor, Scientific Consultant of the Radionuclide Diagnostic Department of the Institute of Clinical and Experimental Radiology of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Igor E. Tyurin** — Dr. Sci. Med., Professor, Head of the of the Radiology and Nuclear Medicine Department of the Russian Medical Academy of Post-Graduate Education of the Ministry of Health of Russia; Deputy Director of the Institute of Clinical and Experimental Radiology of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

### THE EXECUTIVE SECRETARY

**Maria G. Lapteva** — PhD Med., Radiologist of the Radiology Department of the Clinical and Diagnostic Center, Radiologist of the Research Center in the Field of Artificial Intelligence in Healthcare, Scientific Secretary of the Research Institute of Clinical and Experimental Radiology, the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

### TECHNICAL EDITOR

**Yulia A. Finogenova** — Researcher of the Laboratory of Radionuclide and Radiology Methods at Experimental Oncology of the Institute of Clinical and Experimental Radiology of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

### MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD

**Vladimir V. Akinfeev** — PhD Med., Head of the Angiography Department of State Scientific and P N.N. Alexandrov ractical Center for Oncology and Medical Radiology (Minsk, Belarus).

**Andrei V. Arablinskii** — Dr. Sci. Med, Professor of the Department of Radiology and Radiotherapy I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) (Moscow, Russia).

**Pavel V. Balakhnin** — PhD Med., Head of the Interventional Radiology Department GBUZ St. Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialized Types of Medical Care (oncology-oriented) (St. Petersburg, Russia).

**Alexei V. Borsukov** — Dr. Sci. Med., Professor, Director of the Basic Research Laboratory Diagnostic Research and Minimally Invasive Technologies of the Smolensk State Medical University of the Ministry of Health of Russia; Head of the City Department of Diagnostic and Minimally Invasive Technologies at Clinical Hospital No. 1 (Smolensk, Russia).

**Valery V. Breder** — Dr. Sci. Med., Lead Researcher of the Department of Clinical Biotechnology of the Institute of Clinical Oncology of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Yurii V. Buidenok** — Dr. Sci. Med., Professor, Lead Researcher of the Department of Interventional Radiology of the Institute of Clinical and Experimental Radiology of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Adolf A. Vainson** — Dr. Sci. Biol., Professor, Senior Scientific Consultant of the Laboratory of Radionuclide and Radiology Methods at Experimental Oncology of the Institute of Clinical and Experimental Radiology of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Munish Gairola** — Director, Radiation Oncology, Rajiv Gandhi Cancer Institute and Research Centre (New Delhi, India).

**Tatiana Yu. Danzanova** — Dr. Sci. Med., Doctor of the Diagnostic Ultrasound Department of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia; Professor of the Diagnostic Ultrasound Department of the Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Mikhail B. Dolgushin** — Dr. Sci. Med., Head of the Department of X-ray and Radionuclide Diagnostic Methods of Federal State Budgetary Institution Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies of the Federal Medical Biological Agency, Professor of the Radiology and Nuclear Medicine Department of the Russian Medical Academy of Post-Graduate Education of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Kalevi Kairemo** — Professor Department of Nuclear Medicine, The University of Texas MD Anderson Cancer Center (Houston, USA), Medical Doctor Department of Theragnostics, Docrates Cancer Center (Helsinki, Finland).

**Natalia V. Kochergina** — Dr. Sci. Med., Professor, Lead Researcher of the Radiology Department of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia. Professor of the Radiology and Nuclear Medicine Department of the Russian Medical Academy of Post-Graduate Education of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Valery V. Krylov** — Dr. Sci. Med., Director of the Institute of Nuclear Medicine of the A.F. Tsyb Medical Research Center, a branch of the Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center of Radiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Head of the Department of Radionuclide Therapy, Radiologist, Vice President of the International Public Organization “Society of Nuclear Medicine” (Obninsk, Russia).

**Nadir Küçük** — MSc, Chief Medical Physicist in Anadolu Medical Center (Gebze, Turkey).

**Georgios S. Limouris** — M.D., PhD (habil.), univ. Prof. Dr. med, nuclear medicine, scientific advisor National National and Kapodistrian University of Athens, School of Medicine, Nuclear Medicine Department, Army Share Fund Hospital of Athens (Athens, Greece).

**Alexei A. Lipengolts** — PhD Phys.-Math., Lead Researcher of the Laboratory of Radionuclide and Radiology Methods at Experimental Oncology of the Institute of Clinical and Experimental Radiology of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Andrei V. Mishchenko** — Dr. Sci. Med., Professor, Chief Physician of the Clinic of the Russian Medical Academy of Post-Graduate Education of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Alexei V. Nazarenko** — PhD Med., Head of the Radiotherapy Department, Moscow Clinical Scientific Center named after A.S. Loginov (Moscow, Russia).

**Oleg I. Okhotnikov** — Dr. Sci. Med., Professor of the Diagnostic Radiology and Radiotherapy Department of the Kursk State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Kursk, Russia).

**Andrei A. Stanghevskii** — Dr. Sci. Med., Professor, Deputy Director of FSBI A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of Russia (St. Petersburg, Russia).

**Oksana P. Trofimova** — Dr. Sci. Med., Lead Researcher of the Radiotherapy Department of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

#### EDITORIAL REVIEW BOARD

**Thomas Beyer** — PhD Med., MBA Center for Medical Physics and Biomedical Engineering Medical University of Vienna (Vienna, Austria).

**Julia N. Vinogradova** — Dr. Sci. Med., Lead Researcher, Head of the Department of Radiologic and Combined Methods of Treatment, FSBI A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of Russia (St. Petersburg, Russia).

**Maria V. Vishnyakova** — Dr. Sci. Med., Professor, Head of the Radiological Department, Chief of the Radiology Department of M.F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical Research Institute, Chief Specialist in Diagnostic Radiology of the Ministry of Health of the Moscow Region (Moscow, Russia).

**Elena Yu. Grigoryeva** — Dr. Sci. Biol., Professor, Head of the Laboratory of Radionuclide and Radiation Technologies in Experimental Oncology of the Institute of Clinical and Experimental Radiology of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Andrei D. Kaprin** — Dr. Sci. Med., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Doctor of the Russian Federation, General Director of the FSBI NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow, Russia).

**Andrey V. Karman** — MD, PhD, Head of the Radiation Diagnostics Group, Diagnostic Laboratory, N.N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus (Minsk, Belarus).

**Irina I. Minaylo** — MD, PhD, Associate Professor, Head of the Radiation Therapy Laboratory, N.N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus (Minsk, Belarus).

**Nikolay V. Nudnov** — Dr. Sci. Med., Professor, Deputy Director for Scientific Work of the FSBI Russian Scientific Center of Roentgenradiology of the Ministry of Health of Russia; Professor of the Radiology and Nuclear Medicine Department of the Russian Medical Academy of Post-Graduate Education of the Ministry of Health of Russia; Professor of Oncology and Radiology Department of RUDN University (Moscow, Russia).

**Vladimir Yu. Pogrebnyakov** — Dr. Sci. Med., Professor, head of the office of the Interventional Radiology Department of the St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution GKOD (St. Petersburg, Russia).

**Rienmüller Rainer** — Dr. Sci. Med., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of General Diagnostic Radiology of the Medical University Graz (Graz, Austria).

**Valery V. Sinayko** — MD, PhD, Head of the PET Department, N.N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus (Minsk, Belarus).

**Galina T. Sinyukova** — Dr. Sci. Med., Professor, Lead Researcher of the Diagnostic Ultrasound Department of the FSBI N.N. Blokhin NMRCO of the Ministry of Health of Russia (Moscow).

**Victor S. Skuridin** — Dr. Sci. Tech., Professor, Head of Laboratory No.31 of the Nuclear Reactor of Tomsk Polytechnic University, Educational and Scientific Center Research Nuclear Reactor, Head of the Production Department of Radiopharmaceuticals National Research Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russia).

**Sergey Yu. Taskaev** — Dr. Phys.-Math., Lead Researcher of G. G. Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia).

**Vladimir N. Troyan** — Dr. Sci. Med., Professor, Head of the Center for Radiological Diagnostics, Chief Radiologist of the N.N. Burdenko Main Military Clinical Hospital of the Ministry of Defense of the Russian Federation (Moscow, Russia).

**Vladimir I. Chernov** — Dr. Sci. Med., Professor, Corresponding Member of RAS, Deputy Director for Science and Innovation, Head of Nuclear Medicine Department, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia).

**Pavel F. Chernoglaz** — Head of the X-ray Surgery Department, RNPC of Pediatric Surgery (Minsk, Belarus).

**Evgeny L. Choynzonov** — Dr. Sci. Med., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of Cancer Research Institute of Tomsk National Research Medical Center, Head of the Department of Head and Neck Tumors of Cancer Research Institute, Head of Oncology Department of Siberian State Medical University (Tomsk, Russia).

**CONTENTS****RADIOTHERAPY**

Zhanna V. Bryantseva, Sergey N. Novikov, Irina A. Akulova, Petr V. Krivorotko, Tengiz T. Tabagua, Pavel I. Krzhivitskiy, Alina A. Khoroshavina, Nadezhda S. Popova

**Comparative Analysis of Oncological Efficacy and Cosmetic Outcomes of Accelerated Partial Breast Irradiation Techniques: Multicatheter Interstitial Brachytherapy and Conformal External Beam Radiotherapy . . . . . 9**

Alina A. Khoroshavina, Sergey N. Novikov, Pavel I. Krzhivitskiy, Lyudmila A. Zhukova, Nadezhda S. Popova, Zhanna V. Bryantseva, Irina A. Akulova, Petr V. Krivorotko, Sergey V. Kanaev

**Mammoscintigraphy in Patients with Aggressive Biological Subtypes of Breast Cancer: Assessment of Response to Neoadjuvant Chemotherapy . . . . . 16**

**NUCLEAR MEDICINE**

Egor V. Belkin, Pavel E. Tulin, Armine M. Badeyan, Omar B. Abu-Khaidar, Victor V. Solomyanyy, Alexander V. Filimonov

**PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI and <sup>18</sup>F-FDG in the Detection of Distant Metastases of Gastric Cancer . . . . . 16**

Ekaterina A. Nikolaeva, Alexander S. Krylov, Alexey A. Ryzhkov, Sergey N. Prokhorov

**Standardized Method for Quantitative Assessment of the Efficacy of Bone-Targeted Radionuclide Therapy with Radium-223 Chloride in Patients with Prostate Cancer . . . . . 24**

Alina A. Khoroshavina, Sergey N. Novikov, Pavel I. Krzhivitskiy, Lyudmila A. Zhukova, Nadezhda S. Popova, Zhanna V. Bryantseva, Irina A. Akulova, Petr V. Krivorotko, Sergey V. Kanaev

**Mammoscintigraphy in Patients with Aggressive Biological Subtypes of Breast Cancer: Assessment of Response to Neoadjuvant Chemotherapy . . . . . 33**

**DIAGNOSTIC RADIOLOGY**

Sergey S. Karpov, Evgeny V. Kondratyev, Andrei A. Ustalov, Sofiya A. Shmeleva, Vitaliy M. Tarnopolsky

**Radiomics-Based Machine Learning Model for Differential Diagnosis of Pancreatic Cystic Neoplasms . . . . . 43**

Aleksander B. Lukyanchenko, Xenia A. Romanova, Pavel S. Kropotov, Elina B. Kodzoeva, Ivan S. Stilidi

**Castleman's Disease: General Information and Clinical Cases . . . . . 53**

Natalia A. Chekina, Alexey B. Afanasyev, Adhamjon B. Abduraimov, Artem K. Andronov

**Radiation Research Methods with Contrast Enhancement in the Diagnosis of Breast Cancer: Literature Review . . . . . 60**

**COMBINED METHODS OF DIAGNOSTICS AND TREATMENT**

Anton O. Tagil, Aleksey V. Borsukov

**Diagnostic Yield of Ultrasound-Guided Vacuum Fine-Needle Aspiration Biopsy Using Small-Diameter Needles in Tumor Lesions of the Liver, Pancreas, and Lymph Nodes: a Clinical-Experimental Study . . . . . 69**

**RADIATION SAFETY**

Aleksandr A. Garmash, Yuriy V. Buydenok, Egor Yu. Vasyuk, Irina M. Lebedenko, Mihail G. Naidenov, Boris I. Dolgushin, Igor E. Tyurin, Vladislav E. Bugaev, Pavel V. Kononets, Eduard R. Virshke, Elena N. Kozak, Gyulya I. Akhverdieva, Mariya G. Lapteva, Aleksandra V. Zakurdaeva

**Assessment of Staff Dose Loads During Computer Tomography-Guided Biopsy. . . . . 77**

**CLINICAL CASES**

Marina E. Azhishcheva, Irina G. Frolova, Evgeniy O. Rodionov, Sergey V. Miller, Olga V. Cheremisina, Dmitriy M. Loos, Stanislav A. Tabakaev, Ekaterina E. Bober, Polina V. Surkova

**Solitary Fibrous Tumor of the Pleura with Low Malignant Potential (Review and Clinical Observation) . . . . . 90**

Ilyas F. Zalyalov, Khadishat T. Galaeva

**Stereotactic Body Radiation Therapy of Primary Tumor for Inoperable Non-Metastatic Differentiated Thyroid Carcinoma: a Case-Report . . . . . 97**

Pavel E. Tulin, Tamara A. Dengina, Viktor V. Solomyany, Aleksandr V. Filimonov, Denis I. Nevzorov, Boris I. Dolgushin

**Comparison of PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 and <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 in vivo for inflammatory and oncological diseases. Clinical cases. . . . . 103**

**THE CHRONICLE**

**Results of the IX All-Russian Scientific and Educational Congress with International Participation «Oncoradiology, Radiation Diagnostics and Therapy» . . . . . 83**

**NECROLOGUE**

**In Memory of Richard Ippolitovich Gabunia 109**

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОСМЕТИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ УСКОРЕННОГО ЧАСТИЧНОГО ОБЛУЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОДОЗНОЙ БРАХИТЕРАПИИ И ДИСТАНЦИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Брянцева Ж.В., Новиков С.Н., Акулова И.А., Криворотко П.В., Табагуа Т.Т.,  
Крживицкий П.И., Хорошавина А.А., Попова Н.С.

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н. Н. Петрова Минздрава России;  
Россия, Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68, 197758

✉ Жанна Викторовна Брянцева, zhanna-dr@mail.ru, +79119095525

### РЕФЕРАТ

**Введение:** Ускоренное парциальное облучение молочной железы (УПОМЖ) является стандартом лучевого лечения больных ранним раком молочной железы (РМЖ). При проведении УПОМЖ применяются различные методы подведения дозы, но наиболее часто используется конформная дистанционная лучевая терапия (ДЛТ) или внутритканевая брахитерапия источником  $^{192}\text{Ir}$  высокой мощности дозы (ВДБТ).

**Цель исследования:** Сравнить показатели онкологической эффективности (выживаемость без рецидива в ипсилатеральной молочной железе (БРВ-ИМЖ) и безрецидивной выживаемости (БРВ)) и косметические результаты у больных РМЖ после органосохраняющих операций и послеоперационной УПОМЖ методом ВДБТ или ДЛТ.

**Материалы и методы:** В период с 2016 по 2022 гг. у 183 больных РМЖ  $\text{pT}_{1-2}\text{N}_0\text{M}_0$  после органосохраняющей операции проводилось УПОМЖ на область ложа удаленной опухоли. В группе УПОМЖ-ДЛТ ( $n = 85$ ) облучение проводилось в режиме 10 фракций по 3,85 Гр (суммарная эквивалентная доза (СЭД) — 52 Гр ( $\alpha/\beta = 3$ )). В группе УПОМЖ-ВДБТ ( $n = 98$ ) — 8 фракций по 4 Гр в течение 4 дней, 2 фракции в день с интервалом более 6 часов (СЭД 50 Гр ( $\alpha/\beta = 3$ )). Все пациентки соответствовали критериям GEC-ESTRO для проведения УПОМЖ. Для оценки косметических результатов через 3 и 5 лет наблюдения проведен стандартизированный телефонный опрос с использованием шести вопросов опросника BREAST-Q. Ответы суммировались в баллы (от 6 до 18) и распределялись по категориям: «отличный», «хороший», «удовлетворительный» и «неудовлетворительный» результат.

**Результаты:** Медиана наблюдения составила 45 месяцев в группе УПОМЖ-ДЛТ и 70 месяцев в группе УПОМЖ-ВДБТ. Трехлетняя БРВ-ИМЖ была равна 100 % в обеих группах. Трехлетняя БРВ составила 97,6 % в группе УПОМЖ-ДЛТ и 98,0 % УПОМЖ-ВДБТ ( $p = 1,0$ ). В группе УПОМЖ-ВДБТ пятилетние БРВ-ИМЖ достигла 95,1 % и БРВ — 93,9 %.

Оценка косметических результатов через 3 года показала, что в группе УПОМЖ-ДЛТ «отличный» результат зафиксирован у 49 из 54 пациенток (90,7 %), в то время как в группе ВДБТ все 53 опрошенные пациентки (100 %) оценили результат как «отличный» ( $p = 0,059$ ). Через 5 лет «отличный» результат в группе УПОМЖ-ВДБТ сохранился у всех пациенток.

**Выводы:** Оба метода УПОМЖ (ВДБТ и ДЛТ) демонстрируют сопоставимую высокую эффективность в отношении локального контроля на трехлетнем сроке наблюдения. При этом УПОМЖ методом ВДБТ демонстрирует тенденцию к более благоприятным долгосрочным косметическим результатам в сравнении с УПОМЖ-ДЛТ.

**Ключевые слова:** рак молочной железы, брахитерапия, парциальная лучевая терапия

**Для цитирования:** Брянцева Ж.В., Новиков С.Н., Акулова И.А., Криворотко П.В., Табагуа Т.Т., Крживицкий П.И., Хорошавина А.А., Попова Н.С. Сравнительный анализ онкологической эффективности и косметических результатов ускоренного частичного облучения больных раком молочной железы с помощью высокодозной брахитерапии и дистанционной лучевой терапии. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):9-15.  
<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-9-15>

## COMPARATIVE ANALYSIS OF ONCOLOGICAL EFFICACY AND COSMETIC OUTCOMES OF ACCELERATED PARTIAL BREAST IRRADIATION TECHNIQUES: MULTICATHETER INTERSTITIAL BRACHYTHERAPY AND CONFORMAL EXTERNAL BEAM RADIOTHERAPY

Zhanna V. Bryantseva, Sergey N. Novikov, Irina A. Akulova, Petr V. Krivorotko,  
Tengiz T. Tabagua, Pavel I. Krzhivitskiy, Alina A. Khoroshavina, Nadezhda S. Popova

N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, Russia, Saint Petersburg, Pesochny, 68 Leningradskaya St., 197758.

✉ Zhanna Viktorovna Bryantseva, zhanna-dr@mail.ru, +79119095525

### ABSTRACT

Accelerated partial breast irradiation (APBI) is a standard radiotherapy approach for patients with early-stage breast cancer. Various techniques can be employed to deliver APBI, with external beam radiotherapy (EBRT) and interstitial high-dose-rate brachytherapy (HDR-BT) using an Ir-192 source being the most commonly used in clinical practice.

**Purpose:** To compare the oncological efficacy and cosmetic outcomes in breast cancer patients treated with postoperative APBI using either HDR-BT or EBRT. The primary efficacy endpoints were ipsilateral breast tumor recurrence-free survival (IBTR-FS) and recurrence-free survival (RFS).

**Materials and Methods:** Between 2016 and 2022, 183 patients with  $\text{pT}_{1-2}\text{N}_0\text{M}_0$  breast cancer underwent APBI to the tumor bed after breast-conserving surgery. In the APBI-EBRT group ( $n = 85$ ), irradiation was delivered in 10 fractions of 3.85 Gy (total equivalent dose ( $\alpha/\beta = 3$ ) — 52 Gy). In the APBI-HDR-BT group ( $n = 98$ ), we delivered 8 fractions of 4 Gy over 4 days (two fractions per day with >6-hour intervals, total equivalent dose ( $\alpha/\beta = 3$ ) — 50 Gy). All patients met the GEC-ESTRO criteria for APBI. Cosmetic outcomes were assessed

at 3 and 5 years post-treatment via a standardized telephone interview using six items from the BREAST-Q questionnaire. Responses were summed into a score (range: 6–18) and categorized as ‘excellent’, ‘good’, ‘satisfactory’, or ‘unsatisfactory’.

**Results:** The median follow-up was 45 months in the APBI-EBRT group and 70 months in the APBI-HDR-BT group. The 3-year IBTR-FS was 100 % in both groups. The 3-year RFS was 97.6 % in the APBI-EBRT group and 98.0 % in the APBI-HDR-BT group ( $p = 1.0$ ). In the APBI-HDR-BT group, the 5-year IBTR-FS and RFS rates were 95.1 % and 93.9 %, respectively.

The 3-year cosmetic assessment revealed an ‘excellent’ result in 49 of 54 patients (90.7 %) in the APBI-EBRT group, while all 53 patients (100 %) in the APBI-HDR-BT group reported an ‘excellent’ result ( $p = 0.059$ ). At the 5-year assessment, an ‘excellent’ cosmetic outcome was maintained in all patients in the APBI-HDR-BT group.

**Conclusion:** Both APBI techniques (HDR-BT and EBRT) demonstrated comparably high efficacy in terms of local control after 3-year of follow-up. However, APBI delivered with HDR-BT showed a trend towards more favorable long-term cosmetic outcomes compared to APBI delivered with EBRT.

**Key words:** breast cancer, brachytherapy, accelerated partial breast irradiation

**For citation:** Bryantseva Zh.V., Novikov S.N., Akulova I.A., Krivorotko P.V., Tabagua T.T., Krzhivitskiy P.I., Khoroshavina A.A., Popova N.S. Comparative Analysis of Oncological Efficacy and Cosmetic Outcomes of Accelerated Partial Breast Irradiation Techniques: Multicatheter Interstitial Brachytherapy and Conformal External Beam Radiotherapy. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):9-15. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-9-15>

## Введение

Ускоренное парциальное облучение молочной железы (УПОМЖ) за последние два десятилетия прошло путь от экспериментального подхода к стандартному варианту лечения больных люминальными подтипами раннего рака молочной железы (РМЖ). Данные крупных рандомизированных исследований III фазы и мета-анализов свидетельствуют о сопоставимых показателях локального контроля и токсичности при УПОМЖ в сравнении с облучением всей молочной железы [1–6].

В клинической практике применяются различные методы проведения УПОМЖ: внутритканевая брахитерапия (многокатетерная и баллонная), интраоперационная лучевая терапия и 3D-конформная дистанционная лучевая терапия (ДЛТ). В настоящее время в широкой клинической практике наиболее часто УПОМЖ выполняется с помощью ДЛТ и внутритканевой брахитерапии высокой мощности дозы (ВДБТ). Основными достоинствами этих технологий проведения УПОМЖ являются: сокращение длительности лечения (с 3–5 недель до 1–5 дней), улучшение косметических результатов по сравнению с облучением всей молочной железы за счет уменьшения объема облучаемых тканей и снижения лучевой нагрузки на критические органы (сердце, коронарные сосуды, ипсилатеральное легкое, кожу и подкожную клетчатку) [1, 2, 6].

Несмотря на сопоставимую частоту локальных рецидивов при УПОМЖ по протоколам ВДБТ и ДЛТ, в литературе имеются сообщения о различиях в косметических результатах при использовании этих технологий УПОМЖ [1, 3, 4, 7]. Выполненное нами сравнение дозиметрических планов при УПОМЖ с ВДБТ и ДЛТ выявило значимое снижение доз на оставшиеся ткани молочной железы и окружающие критические органы (сердце, коронарные

сосуды, ипсилатеральное легкое, кожу и подкожную клетчатку) при использовании ВДБТ [8]. Это позволяет предположить, что оптимальное распределение дозы при УПОМЖ методом брахитерапии является предпосылкой для получения хороших косметических результатов.

В отечественной литературе публикации, посвященные УПОМЖ, встречаются крайне редко, а сравнительный анализ методик ВДБТ и ДЛТ не проводился. В связи с этим с 2017 г. в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова инициировано проспективное исследование по изучению применения УПОМЖ с помощью ВДБТ и ДЛТ (одобрено протоколом локального этического комитета №4 от 10.02.2022). В данной публикации представлен анализ показателей трёхлетней и пятилетней эффективности (локального контроля, безрецидивной выживаемости) и безопасности (косметические результаты по данным самооценки) при различных методиках проведения УПОМЖ.

## Материалы и методы

В период с 2016 по 2022 гг. в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова проведено проспективное исследование, включившее 183 больных ранним инвазивным РМЖ (стадии  $pT_{1-2}N_0M_0$ ), которым была выполнена органосохраняющая операция с интраоперационной маркировкой ложа опухоли рентгеноконтрастными клипсами. Всем пациенткам проведено адьювантное УПОМЖ. В зависимости от методов облучения пациенток разделили на две группы: группу УПОМЖ-ДЛТ ( $n = 85$ ), где применяли дистанционную лучевую терапию, и группу УПОМЖ-ВДБТ ( $n = 98$ ), в которой лечение проводили методом внутритканевой брахитерапии источниками  $^{192}\text{Ir}$  высокой мощности дозы. Все пациентки соответствовали критериям GEC-ESTRO для парциального облучения молочной железы [9].

**Таблица 1. Клинико-демографические характеристики пациенток****Clinical and demographic characteristics of the patients**

	УПОМЖ-ДЛТ, 85 пациенток		УПОМЖ-ВДБТ, 98 пациенток		
	n	%	n	%	
Возраст, медиана	62				
≤50	4	4,7	8	8,2	
>50 до ≤60	33	38,8	36	36,7	
>60 до ≤70	33	38,8	43	43,9	
>70	15	17,7	11	11,2	
Стадия заболевания					
Ia	72	84,7	88	89,9	
IIa (pT <sub>2</sub> N <sub>0</sub> )	13	15,3	10	10,1	
Подтип опухоли					
Люминальный А	55	64,7	85	86,7	
Люминальный В	29	34,1	11	11,2	
Люминальный В HER2+	1	1,2	2	2,1	
Степень дифференцировки опухоли					
G1	20	23,5	37	37,8	
G2	56	65,9	56	57,1	
G3	9	10,6	5	5,1	
Системное лечение					
НАГТ	да	1	1,2	3	3,1
	нет	84	98,8	95	96,9
АПХТ	да	4	4,7	6	6,1
	нет	81	95,3	92	93,9
АГТ	да	85	100	98	100
	нет	0	0	0	0

**Примечание:** НАГТ — неoadъювантная гормонотерапия; АПХТ — адъювантная полихимиотерапия; АГТ — адъювантная гормонотерапия

**Note:** НАГТ — neoadjuvant hormone therapy; АПХТ — adjuvant polychemotherapy; АГТ — adjuvant hormone therapy

Подробные клинические, морфологические и демографические характеристики больных обеих групп, включенных в сравнительный анализ, представлены в табл. 1.

В группе УПОМЖ-ДЛТ (n = 85) клинический объем облучения (Clinical Target Volume / CTV) опре-

делялся с использованием равномерного отступа во всех трех направлениях в 1 см от хирургических клипс, установленных в ложе удаленной опухоли, с отступом до поверхности кожи в 3 мм (рис. 1). Планируемый объем облучения (Planning Target Volume / PTV) формировался путем добавления второго равномерного отступа во всех трех направлениях в 1 см к CTV. Основными ограничениями при формировании PTV был отступ не более 3 мм от поверхности кожи, также допускалось включение в объем PTV по глубине не более 4 мм ипсилатерального легкого. В качестве органов риска оконтуривались ипсилатеральная и контралатеральная молочные железы, ипсилатеральное и контралатеральное легкие, сердце и коронарные сосуды. Облучение выполнялось на линейных ускорителях в режиме 3D конформной ДЛТ или модулированной по интенсивности лучевой терапии тормозным излучением 6–10 МВ. Суммарная биологически эквивалентная доза ( $\alpha/\beta = 3$ ) составляла 52 Гр и подводилась за 10 фракций по 3,85 Гр. Облучение дважды в день получили 14 (16,5 %) больных, в оставшихся 71 (83,5 %) случае, ДЛТ проводилась 1 раз в сутки в течение 10 дней.

В группе УПОМЖ-ВДБТ (n = 98) облучение осуществлялось по ранее описанному протоколу [10], который представлен следующими основными этапами: пациентке обязательно выполнялась интраоперационная маркировка ложа удаленной опухоли рентгеноконтрастными клипсами во время органосохраняющей операции. Далее, при топометрическом КТ-исследовании в положении пациентки лёжа на спине, определялось расположение внутритканевых меток. На следующем этапе производилась имплантация интрастатов в шахматном порядке с шагом около 1,5 см, при необходимости с КТ-контролем. После установки интрастатов проводилась топометрическая КТ, данные которой передавались в систему трёхмерного планирования Oncentra Brachy (Elekta) для

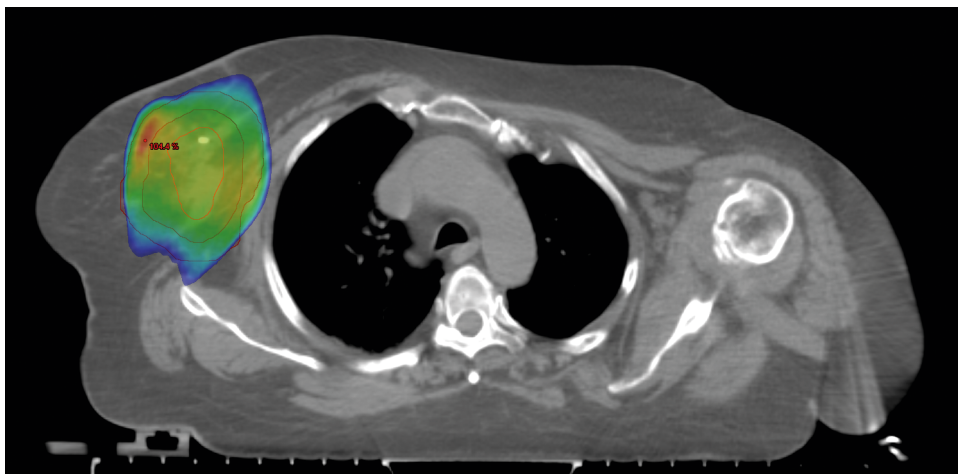


Рис. 1. Дозиметрический план, созданный для проведения УПОМЖ по методике конформного дистанционного облучения на линейном ускорителе

Fig. 1. Dosimetric plan for APBI with external beam radiotherapy

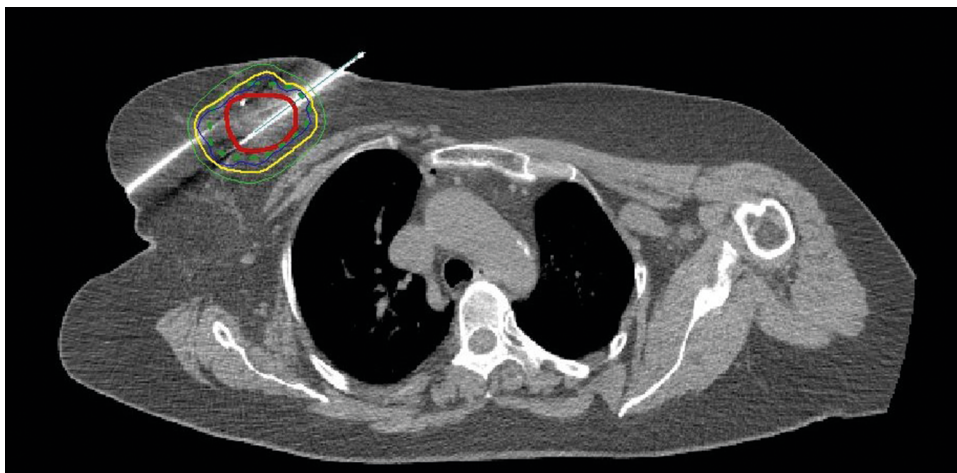


Рис. 2. Дозиметрический план, созданный для проведения УПОМЖ по методике внутритканевой брахитерапии высокой мощности дозы

Fig. 2. Dosimetric plan for APBI with high-dose-rate interstitial brachytherapy

оконтурирования клинического объёма и индивидуального дозиметрического планирования. Клинический объём облучения определялся аналогично группе УПОМЖ-ДЛТ — с использованием равномерного трехмерного отступа в 1 см от хирургических клипс и отступом не менее 3 мм в глубину от кожи (рис. 2). Планируемый объём облучения не применялся ввиду жесткой фиксации молочной железы интрастатами и отсутствием смещения мишени во время сеанса облучения. Перечень оконтуриваемых органов риска совпал с таковым в группе УПОМЖ-ДЛТ. При проведении УПОМЖ-ВДБТ использовался следующий режим фракционирования: 8 фракций по 4 Гр в течение 4 дней, 2 фракции в день с интервалом более 6 часов, до суммарной биологически эквивалентной дозы 50 Гр ( $\alpha/\beta = 3$ ).

В группе из 85 пациенток, которым проводилось УПОМЖ-ДЛТ, медиана возраста составила 62 года [Q1-Q3: 57; 67]; в группе УПОМЖ-ВДБТ (98 больных) медиана возраста была сопоставима — 61 год [Q1-Q3: 57; 66]. Большинство пациенток в обеих группах имели опухоль размером до 2 см, однако в группе УПОМЖ-ВДБТ их доля была несколько выше — 89,9 % против 84,7 % в группе УПОМЖ-ДЛТ. Существенное различие между группами наблюдалось в частоте люминального РМЖ подтипа А: в группе УПОМЖ-ДЛТ он был диагностирован у 64,7 % пациенток, а в группе УПОМЖ-ВДБТ — у 86,7 %. Все пациентки в послеоперационном периоде получали гормонотерапию. Адъювантная химиотерапия применялась редко, но несколько чаще в группе УПОМЖ-ВДБТ — 6,1 % против 4,7 % в группе УПОМЖ-ДЛТ.

При оценке косметических результатов лечения применялась субъективная оценка косметического результата пациентками при стандартизованном телефонном опросе больных, которым проводилось УПОМЖ с помощью ВДБТ или ДЛТ. В качестве инструмента оценки были использованы шесть вопросов опросника BREAST-Q (версия 2.0),

заимствованных из валидированного модуля «Оценка состояния лучевой терапии». Данные вопросы направлены на оценку состояния облученной молочной железы и формулируются следующим образом:

- 1) Кожа облученной груди выглядит иначе?
- 2) Есть ли метки на коже груди, вызванные облучением?
- 3) Кожа облученной груди сухая?
- 4) Есть ли боль при прикосновении?
- 5) Кожа облученной груди ощущается неестественно толстой при прикосновении к ней?
- 6) На коже облученной груди появляется раздражение от одежды, которую Вы носите?

Пациентки ответили на каждый вопрос об изменениях молочной железы в виде полуколичественной оценки степени выраженности изменений, определенных в баллах: 1 балл — «Совсем нет»; 2 балла — «Немного»; 3 балла — «Сильно». Поскольку в данном анализе применялась не полная версия опросника, а целевой набор вопросов о последствиях лучевой терапии, официальный алгоритм перевода «сырых» баллов в шкалу от 0 до 100 не использовался. Для целей данного исследования была разработана упрощенная суммарная шкала. Общий балл рассчитывался как сумма ответов на шесть вопросов и мог находиться в диапазоне от 6 (отсутствие жалоб) до 18 (максимальная выраженность всех оцениваемых симптомов). Для клинической интерпретации суммарный балл был категоризован следующим образом: 6–8 баллов: «Отличный» результат (минимальные изменения); 9–11 баллов: «Хороший» результат (умеренные изменения); 12–14 баллов: «Удовлетворительный» результат (заметные изменения); 15–18 баллов: «Неудовлетворительный» результат (выраженные изменения). Важно отметить, что категория «Отличный» результат присваивалась только при

условии, что ни по одному из шести пунктов пациента не давала ответ «Сильно» (3 балла).

### Статистический анализ

Первичными конечными точками были 3- и 5-летняя выживаемость без рецидива в ипсилатеральной молочной железе (БРВ-ИМЖ), которая определялась как время от окончания лучевой терапии до времени установления морфологически подтвержденного рецидива в ипсилатеральной молочной железе. Вторичная конечная точка — 3- и 5-летняя безрецидивная выживаемость (БРВ), определялась как время от окончания лучевой терапии до времени установления морфологически подтвержденного рецидива заболевания или смерти. Для сравнения категориальных переменных использовали критерий  $\chi^2$  или точный критерий Фишера. Статистическую значимость определяли при  $p < 0,05$ . Анализ данных выполнялся с помощью пакета статистической программы SPSS 26.0.

### Результаты

С 2016 по 2022 гг. у 183 больных ранним РМЖ после органосохраняющей операции на молочной железе проведена послеоперационная лучевая терапия в объеме УПОМЖ методом ДЛТ или ВДБТ.

У 85 больных из группы УПОМЖ-ДЛТ медиана наблюдения составила 45 месяцев [Q1-Q3: 38; 56]. Трехлетняя БРВ-ИМЖ составила 100 %, трехлетняя БРВ — 97,6 %. В одном случае зафиксирован регионарный рецидив и у одной больной — генерализация заболевания в виде метастатического поражения костей. Оценка пятилетних результатов не проводилась из-за малого числа пациенток с наблюдением более 60 мес. (17 женщин).

В группе больных, которым выполнялось УПОМЖ-ВДБТ, медиана наблюдения составила 70 месяцев [Q1-Q3: 43; 83]. В группе УПОМЖ-ВДБТ трехлетняя БРВ-ИМЖ также достигла 100 %. Среди 61 пациентки с наблюдением более 60 мес. пятилетняя БРВ-ИМЖ составила 95,1 %. За весь период наблюдения диагностировано 3 ипсилатеральных рецидива в молочной железе (через 44, 84 и 85 мес. после завершения лучевого лечения). За весь период наблюдения прогрессирование заболевания зафиксировано у 6 женщин, одна из них скончалась от РМЖ. Трехлетняя и пятилетняя общая БРВ составила 98,0 % и 93,9 % соответственно.

Таким образом, обе группы продемонстрировали сопоставимую эффективность в отношении локального контроля над заболеванием — трехлетняя БРВ-ИМЖ составила 100 % как в группе ДЛТ, так и в группе ВДБТ. Показатели трехлетней БРВ также были сопоставимы между двумя группами УПОМЖ,  $p = 1,0$  (97,6 % и 98,0 %). Для сравнения

пятилетних результатов (БРВ-ИМЖ и БРВ) между группами необходимо более длительное наблюдение в группе УПОМЖ-ДЛТ.

С целью изучения удовлетворенности больных проведенным лечением нами был проведен телефонный опрос пациенток, которым проводилось УПОМЖ. Полные ответы на все 6 вопросов опросника BREAST-Q (версия 2.0), получены у 107 пациенток (54 — группа ДЛТ, 53 — группа ВДБТ). Учитывая разный период наблюдения в группах ДЛТ и ВДБТ, проведен сравнительный анализ удовлетворенности косметическим результатом через 3 года после окончания облучения. Кроме того, в группе УПОМЖ-ВДБТ выполнен пятилетний анализ косметических результатов.

В группе УПОМЖ-ДЛТ 54 женщины ответили на шесть вопросов, что позволило оценить трехлетнюю оценку удовлетворенности косметическим результатом: 35 пациенток (64,8 %) суммарно дали ответ в 6 баллов, 10 (18,5 %) — в 7 и 4 (7,4 %) больных — в 8 баллов. Таким образом, 49 пациенток оценили косметический результат после УПОМЖ-ДЛТ в диапазоне от 6 до 8 баллов, что соответствует показателю «отличный». Оставшиеся 5 (9,3 %) женщин оценили косметический результат, как «удовлетворительный», т.к. при ответе на один из вопросов дали оценку 3 балла.

У 53 больных, которым выполнялось УПОМЖ-ВДБТ, проведена трехлетняя и пятилетняя оценка удовлетворенности косметическим результатом. При ответе на шесть вопросов 39 пациенток (73,6 %) суммарно оценили косметический результат в 6 баллов, 11 (20,8 %) и 3 (5,7 %) больных — в 7 и 8 баллов соответственно. Таким образом, все 53 пациентки оценили косметический результат после УПОМЖ в диапазоне от 6 до 8 баллов, что соответствует показателю «отличный». При пятилетней оценке косметических результатов «отличный» косметический результат сохранялся у всех 53 опрошенных женщин.

Таким образом, при сравнительном анализе трехлетних косметических результатов определяется отчетливая тенденция к увеличению количества женщин с «удовлетворительной» оценкой косметических результатов при проведении УПОМЖ с помощью ДЛТ ( $p = 0,059$ ). В то время как у женщин, которым УПОМЖ выполнялось с помощью ВДБТ, «отличный» косметический результат отмечался у всех женщин на пятилетнем отрезке наблюдения.

### Обсуждение

Основной задачей сравнительного анализа была оценка частоты локальных рецидивов после УПОМЖ, выполненной по методикам внутритканевой брахитерапии высокой мощности дозы или дис-

танционной лучевой терапии. Сроки наблюдения составили 45 месяцев для группы ДЛТ и 70 месяцев для группы ВДБТ, что позволило оценить трёхлетние показатели эффективности в обеих группах и пятилетние показатели — только в группе ВДБТ.

В течение первых трёх лет наблюдения локальные рецидивы не были отмечены ни в одной из исследуемых групп. На пятилетнем сроке наблюдения в группе ВДБТ было диагностировано 3 случая локального рецидива (БРВ-ИМЖ 95,1 %). Трёхлетняя общая БРВ составила 98,0 % в группе ВДБТ и 97,6 % в группе ДЛТ ( $p = 1,0$ ). Прямое сравнение пятилетних показателей (БРВ-ИМЖ и БРВ) между группами в настоящее время невозможно, так как для этого требовалось более длительное наблюдение за когортой УПОМЖ-ДЛТ.

Полученные данные согласуются с результатами крупных рандомизированных исследований. В проспективном многоцентровом исследовании Strnad V et al частота локальных рецидивов через 3 и 5 лет наблюдения после частичного облучения молочной железы с помощью ВДБТ составила 0,6 % и 1,44 % соответственно [1].

В исследовании Coles et al в группе больных, которым проведено УПОМЖ-ДЛТ, трёхлетняя частота рецидивов равнялась 0,3 % [3]. В исследовании RAPID после проведения УПОМЖ-ДЛТ частота локального рецидива РМЖ достигла 1,4 % за 3 года и 2,3 % после 5 лет наблюдения [7].

Мета-анализ Shah et al [5] также не выявил статистически значимых различий в 5-летней частоте локальных рецидивов после УПОМЖ между ВДБТ (2,2 %) и ДЛТ (1,7 %). Таким образом, показатели локального контроля в нашем исследовании соответствуют опубликованным данным.

Дополнительно, в рамках настоящего исследования, 108 пациенток ответили на шесть вопросов опросника BREAST-Q (версия 2.0). На основе полученных данных была оценена удовлетворенность косметическим результатом после УПОМЖ. Сравнительный анализ показал относительное преимущество метода ВДБТ: все пациентки этой группы оценили результат как «отличный», тогда как в группе ДЛТ такую оценку дали 90,7 % больных ( $p = 0,059$ ). Эти данные свидетельствуют о тенденции к достижению более благоприятных косметических результатов в долгосрочной перспективе при использовании ВДБТ по сравнению с ДЛТ.

В исследовании Meduri et al, где применялся аналогичный режим фракционирования дозы (3,85 Гр, 10 фракций), был отмечен достоверно худший косметический результат через 3 года в группе УПОМЖ-ДЛТ по сравнению с облучением всей молочной железы (12,7 % против 9,2 %;  $p = 0,009$ ) [2]. Авторы связывают этот факт с тем, что все паци-

ентки в их исследовании получали лечение дважды в день. В нашем исследовании из 5 больных, которые показали неудовлетворительную оценку (3 балла) полученному косметическому результату, меньше половины (2 пациентки) получали лечение в режиме двух фракций облучения за день.

Напротив, в исследовании Polgár et al [11] продемонстрировано, что через 5 лет после УПОМЖ-ВДБТ из 541 больной РМЖ у 498 женщин (92 %) отмечались отличные или хорошие косметические результаты, несмотря на применявшийся режим двукратного облучения в день.

В настоящее время трудно дать однозначное объяснение причин, лежащих в основе различных косметических результатов у больных, получавших УПОМЖ с помощью ВДБТ или ДЛТ. Однако выполненный нами ранее сравнительный анализ дозиметрических планов показал, что при ВДБТ, по сравнению с ДЛТ, достигается достоверное выраженное снижение объема облучения оставшихся здоровых тканей оперированной молочной железы, средней дозы на молочной железе, а также лучевой нагрузки на кожу и подкожную клетчатку [8]. Можно предположить, что именно эти факторы могли существенно повлиять на косметический результат лечения.

## Заключение

Таким образом, проведенный анализ указывает на то, что у больных ранним РМЖ использование УПОМЖ с помощью ВДБТ или ДЛТ и является эффективным вариантом послеоперационной лучевой терапии с сопоставимыми показателями локального контроля. При этом УПОМЖ, выполненное с помощью ВДБТ, демонстрирует тенденцию к более благоприятным долгосрочным косметическим результатам в сравнении с УПОМЖ-ДЛТ.

## Список литературы / References

1. Strnad V, Polgár C, Ott OJ, et al. Accelerated partial breast irradiation using sole interstitial multicatheter brachytherapy compared with whole-breast irradiation with boost for early breast cancer: 10-year results of a GEC-ESTRO randomised, phase 3, non-inferiority trial. *Lancet Oncol.* 2023;24(3):262-72. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(23\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(23)00018-9)
2. Meduri B, Baldissera A, Iotti C, et al. Cosmetic Results and Side Effects of Accelerated Partial-Breast Irradiation Versus Whole-Breast Irradiation for Low-Risk Invasive Carcinoma of the Breast: The Randomized Phase III IRMA Trial. *J Clin Oncol.* 2023;41(12):2201-10. <https://doi.org/10.1200/JCO.22.01485>
3. Coles CE, Griffin CL, Kirby AM, et al. Partial-breast radiotherapy after breast conservation surgery for patients with early breast cancer (UK IMPORT LOW trial): 5-year results from a multicentre, randomised, controlled, phase 3, non-inferiority trial. *Lancet.* 2017;390(10099):1048-60. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31145-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31145-5)
4. Vicini FA, Cecchini RS, White JR, et al. Long-term primary results of accelerated partial breast irradiation after breast-conserving surgery for early-stage breast cancer: a randomised, phase 3, equivalence trial. *Lancet.* 2019;394(10215):2155-64. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32514-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32514-0)

5. Shah C, Jia X, Hobbs BP, et al. Outcomes with Partial Breast Irradiation vs. Whole Breast Irradiation: a Meta-Analysis. *Ann Surg Oncol*. 2021;28(9):4985-94. <https://doi.org/10.1245/s10434-020-09447-w>
6. Goldberg M, Bridhikitti J, Khan AJ, McGale P, Whelan TJ. A Meta-Analysis of Trials of Partial Breast Irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2023;115(1):60-72. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2022.09.062>
7. Whelan TJ, Julian JA, Berrang TS, et al. External beam accelerated partial breast irradiation versus whole breast irradiation after breast conserving surgery in women with ductal carcinoma in situ and node-negative breast cancer (RAPID): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2019;394(10215):2165-72. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32515-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32515-2)
8. Брянцева ЖВ, Акулова ИА, Яганова ТС и др. Сравнительный анализ дозиметрических планов при ускоренном частичном облучении больных раком молочной железы методом высокодозной брахитерапии и дистанционной лучевой терапии. *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2024;7(3):34-40. Bryantseva ZhV, Akulova IA, Yaganova TS, et al. Dosimetric Comparison of Accelerated Partial Breast Irradiation Techniques: Multicatheter Interstitial Brachytherapy and Conformal External Beam Radiotherapy. *Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2024;7(3):34-40. (In Russ.). <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2024-7-3-34-40>
9. Polgár C, Van Limbergen E, Pötter R, et al. Patient selection for accelerated partial-breast irradiation (APBI) after breast-conserving surgery: recommendations of the Groupe Européen de Curiethérapie-European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (GEC-ESTRO) breast cancer working group based on clinical evidence (2009). *Radiother Oncol*. 2010;94(3):264-73. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2010.01.014>
10. Брянцева Ж.В., Акулова И.А., Новиков С.Н., и др. Внутритканевая брахитерапия источниками высокой мощности дозы в лечении больных раком молочной железы. *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2019;2(4):26-34. Bryantseva ZhV, Akulova IA, Novikov SN, et al. High Dose Rate Brachytherapy in Treatment of Breast Cancer Patients. *Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2019;2(4):26-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2019-2-4-26-34>
11. Polgár C, Ott OJ, Hildebrandt G, et al. Late side-effects and cosmetic results of accelerated partial breast irradiation with interstitial brachytherapy versus whole-breast irradiation after breast-conserving surgery for low-risk invasive and in-situ carcinoma of the female breast: 5-year results of a randomised, controlled, phase 3 trial. *Lancet Oncol*. 2017;18(2):259-68. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30011-6](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30011-6)

#### Author information

Zhanna V. Bryantseva, <https://orcid.org/0000-0002-9189-6417>.  
Sergey N. Novikov, <https://orcid.org/0000-0002-7185-1967>.  
Irina A. Akulova, <https://orcid.org/0000-0003-0018-7197>.  
Petr V. Krivorotko, <https://orcid.org/0000-0002-4898-9159>.  
Tengiz T. Tabagua, <https://orcid.org/0000-0003-1471-9473>.  
Pavel I. Krzhivitskiy, <https://orcid.org/0000-0002-6864-6348>.  
Alina A. Khoroshavina, <https://orcid.org/0000-0001-9732-7920>.  
Nadezhda S. Popova, <https://orcid.org/0000-0002-3130-3624>

#### Вклад авторов

Ж.В. Брянцева: разработка дизайна исследования; обзор публикаций по теме статьи; получение данных для анализа; анализ полученных данных; статистическая обработка данных, написание текста рукописи.  
С.Н. Новиков: разработка дизайна исследования; анализ полученных данных; написание текста рукописи; редактирование статьи.  
И.А. Акулова: получение данных для анализа, анализ полученных данных; статистическая обработка данных.  
П.В. Криворотко: разработка дизайна исследования; редактирование статьи.  
Т.Т. Табагуа: получение данных для анализа; анализ полученных данных; статистическая обработка данных.  
П.И. Крживицкий, А.А. Хорошавина: получение данных для анализа, анализ полученных данных, редактирование статьи.  
Н.С. Попова: обзор публикаций по теме статьи.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета получено.

**Информированное согласие.** Пациенты подписали информированное согласие на публикацию данных.

**Поступила:** 20.12.2025.

**Принята к публикации:** 30.01.2026.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

#### Authors' contributions

Zh.V. Bryantseva: research design; literature review; data acquisition; data analysis; statistical analysis; manuscript drafting.  
S.N. Novikov: research design; data analysis; manuscript drafting; manuscript revision.  
I.A. Akulova: data acquisition; data analysis; statistical analysis.  
P.V. Krivorotko: research design; manuscript revision.  
T.T. Tabagua: data acquisition; data analysis; statistical analysis.  
P.I. Krzhivitskiy, A.A. Khoroshavina: data acquisition; data analysis; manuscript revision.  
N.S. Popova: literature review.

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** Not declared.

**Ethical compliance.** Ethical committee approval was received.

**Informed consent.** The patients signed informed consent for the publication of the data.

**Received:** 20.12.2025.

**Accepted for publication:** 30.01.2026.

**Published online:** 26.03.2026.

## ПЭТ/КТ С <sup>68</sup>Ga-FAPI И <sup>18</sup>F-FDG В ОЦЕНКЕ ОТДАЛЕННОГО МЕТАСТАТИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ ПРИ РАКЕ ЖЕЛУДКА

Белкин Е.В.<sup>1</sup>✉, Тулин П.Е.<sup>1</sup>, Бадаян А.М.<sup>2</sup>, Абу-Хайдар О.Б.<sup>1</sup>, Соломяный В.В.<sup>1</sup>, Филимонов А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России; Россия, 115478 Москва, Каширское шоссе, 24

<sup>2</sup> Центр производства радиоизотопов Минздрава Армении; Армения, Ереван, улица Алабяна, 38/7

✉ Белкин Егор Владимирович, [ega.belkin@yandex.ru](mailto:ega.belkin@yandex.ru)

### РЕФЕРАТ

**Цель:** Определить диагностическую эффективность ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI в M-стадировании рака желудка.

**Материалы и методы:** В исследование включены 57 пациентов с верифицированным раком желудка. Всем пациентам проведены ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI и ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG. Сравнивалась диагностическая точность ПЭТ/КТ с обоими РФЛП по параметрам чувствительности и специфичности в отношении выявления отдаленного метастатического поражения. Оценка данных проводилась на основании гистологически верифицированного заболевания и данных клинического наблюдения / дообследования.

**Результаты:** 57 пациентов прошли ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI и ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG. У 5 пациентов (8.7 %) схема лечения была изменена с радикального на паллиативное на основании результатов ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI. ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI выявила отдалённые метастазы у 29 пациентов (50.8 %), при использовании <sup>18</sup>F-FDG отдаленные метастазы обнаружены у 18 пациентов (31.5 %). Чувствительность ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI в выявлении отдалённых метастазов составила 100 %, а специфичность — 85,7 %, тогда как для <sup>18</sup>F-FDG эти показатели составили 62 % и 90 % соответственно.

**Заключение:** ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI является более эффективным методом диагностики в выявлении отдаленных метастазов рака желудка, чем ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости использования ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI в клинической практике для более точной диагностики и выбора тактики лечения при раке желудка.

**Ключевые слова:** ПЭТ, позитронная эмиссионная томография, <sup>68</sup>Ga-FAPI, <sup>18</sup>F-FDG, рак желудка

**Для цитирования:** Белкин Е.В., Тулин П.Е., Бадаян А.М., Абу-Хайдар О.Б., Соломяный В.В., Филимонов А.В. ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI и <sup>18</sup>F-FDG в оценке отдаленного метастатического поражения при раке желудка. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):16-23.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-16-23>

## PET/CT WITH <sup>68</sup>Ga-FAPI AND <sup>18</sup>F-FDG IN THE DETECTION OF DISTANT METASTASES OF GASTRIC CANCER

Egor V. Belkin<sup>1</sup>✉, Pavel E. Tulin<sup>1</sup>, Armine M. Badeyan<sup>2</sup>,  
Omar B. Abu-Khaidar<sup>1</sup>, Victor V. Solomyanyy<sup>1</sup>, Alexander V. Filimonov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology; 24 Kashirskoye Highway, Moscow, Russia 115478

<sup>2</sup> Radioisotope Production Centre: 38/7, Alabyana str., Yerevan, Armenia

✉ Egor V. Belkin, e-mail: [ega.belkin@yandex.ru](mailto:ega.belkin@yandex.ru)

### ABSTRACT

**Purpose:** To determine the diagnostic effectiveness of PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI in the detection and staging of metastases in patients with gastric cancer.

**Material and methods:** The study included 57 patients with histologically confirmed gastric cancer. All patients underwent PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI and PET/CT with <sup>18</sup>F-FDG. The diagnostic accuracy of the methods was compared based on sensitivity and specificity parameters in detecting distant metastatic lesions. Data assessment was conducted based on histologically verified disease and clinical follow-up data.

**Results:** 57 patients underwent both <sup>68</sup>Ga-FAPI PET/CT and <sup>18</sup>F-FDG PET/CT. In 5 patients (8.7 %), the treatment plan was changed from radical to palliative based on the <sup>68</sup>Ga-FAPI PET/CT results. <sup>68</sup>Ga-FAPI PET/CT detected distant metastases in 29 patients (50.8 %), while with <sup>18</sup>F-FDG, distant metastases were detected in 18 patients (31.5 %). The sensitivity of <sup>68</sup>Ga-FAPI PET/CT in detecting distant metastases was 100 %, with a specificity of 85.7 %, whereas for <sup>18</sup>F-FDG, these values were 62 % and 90 %, respectively.

**Conclusion:** PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI is a more effective diagnostic method for detecting distant metastases of gastric cancer than PET/CT with <sup>18</sup>F-FDG. The obtained results indicate the need to use PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI in clinical practice for more accurate diagnosis and treatment strategy selection in gastric cancer.

**Key words:** PET, positron emission tomography, <sup>68</sup>Ga-FAPI, <sup>18</sup>F-Fluorodeoxyglucose, gastric cancer

**For citation:** Belkin E.V., Tulin P.E., Badeyan A.M., Filimonov A.V., Abu-Khaidar O.B., Solomyanyy V.V. PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI and <sup>18</sup>F-FDG in the Detection of Distant Metastases of Gastric Cancer. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):16-23. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-16-23>

## Введение

Согласно данным GLOBOCAN (2022), рак желудка (РЖ) находится на пятом месте в структуре онкологической заболеваемости и смертности. Ежегодно диагностируется приблизительно один миллион новых случаев РЖ. Наибольшая распространенность РЖ характерна для регионов Восточной Азии, Восточной Европы и Южной Америки. При этом мужчины заболевают в два раза чаще, чем женщины. Агрессивный характер болезни и ее частое выявление на поздних стадиях обуславливают высокий уровень летальности, который в 2022 г. составил более 660 тыс. смертельных исходов [1].

За последние десятилетия отмечается снижение заболеваемости и смертности, что связано с улучшением условий жизни, уменьшением распространенности инфекции *Helicobacter pylori*, а также внедрением скрининговых программ в регионах с высокой частотой РЖ [2–5]. Вместе с тем, повышение уровня заболеваемости среди молодого поколения (до 50 лет) в экономически развитых странах свидетельствует об изменении спектра факторов риска, что определяет важность акцента на стратегиях досимптомного выявления и превентивных мероприятиях [6]. Современные научные представления всё больше свидетельствуют о критической важности досимптомного выявления заболеваний, поскольку установлено, что именно временной фактор в диагностике имеет первостепенное значение для оптимизации прогноза и уменьшения летальности.

Алгоритм диагностики рака желудка является комплексным. На первом этапе, в соответствии с рекомендациями RUSSCO (2024), выполняется эзофагогастродуоденоскопия (ЭГДС) с обязательной мультифокальной биопсией не менее чем с 6–8 участков. Целью этого вмешательства служит точное определение локализации опухолевого процесса и его морфологическая верификация. Благодаря своей высокой диагностической ценности, ЭГДС остается «золотым стандартом», позволяя визуализировать размеры и макроскопический тип опухоли, а также спрогнозировать риск развития осложнений [7].

Для выбора оптимального хирургического доступа и определения объема резекции рекомендуется проведение рентгенографии пищевода, желудка и двенадцатиперстной кишки. Это особенно важно при инвазии опухоли в указанные органы и/или при наличии симптомов опухолевого стеноза/перфорации [8]. Тем не менее, проведение рентгенографии на ранних стадиях рака желудка не рекомендуется в связи с низкой диагностической ценностью этого метода [9].

Компьютерная томография (КТ) служит стандартным методом лучевой диагностики при раке желудка. С целью комплексной оценки характеристик первичной опухоли и степени распространенности метастатического процесса выполняют сканирование органов грудной клетки, брюшной полости, забрюшинного пространства и малого таза, обязательным условием которого является использование перорального и внутривенного контрастного усиления.

Наиболее частыми локализациями гематогенных метастазов рака желудка являются печень, надпочечники, легкие, кости и яичники. При выявлении подозрительных очагов по данным КТ рекомендуется их пункционная биопсия под ультразвуковым наведением. Вместе с тем, данная процедура не выполняется при доказанном генерализованном процессе. Ее проведение показано в ситуациях обнаружения солитарного очага, когда подтверждение его метастатической природы изменяет стадию заболевания, переводя его из категории локального в диссеминированный [10]. По данным нескольких мета-анализов, диагностическая эффективность КТ в M-стадировании РЖ переменчива: чувствительность — 33 %, специфичность — 99 %. Такие широкие диапазоны показателей эффективности КТ связаны с затруднением дифференцировки пораженных и гиперплазированных регионарных лимфатических узлов, а также с ограничением в выявлении метастатического поражения лимфатических узлов без изменения их формы и размеров [11, 12].

Позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ) с <sup>18</sup>F-ФДГ, в диагностике рака желудка носит ограниченный характер. Метод не используется для первичного выявления и оценки основной опухоли и не рекомендуется при однозначно установленной стадии M<sub>1</sub>, а также на стадии T<sub>1</sub>, характеризующейся низким метастатическим потенциалом. Однако проведение ПЭТ/КТ возможно при подозрении на отдаленные метастазы в тех случаях, когда их подтверждение существенно меняет тактику лечения [8, 13, 14]. По данным нескольких исследований, значения чувствительности и специфичности ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG в M-стадировании РЖ составляют 28–33 % и 95–97 % соответственно [11, 15]. Ограничения применения ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG при РЖ связаны не только с недостаточно высокой доступностью метода, но и с повышенным накоплением <sup>18</sup>F-FDG в стенках желудка, что чаще всего обусловлено наличием воспалительных изменений [16]. Однако наиболее важным фактором, ограничивающим ПЭТ-диагностику РЖ с <sup>18</sup>F-FDG, является зависимость уровня накопления <sup>18</sup>F-FDG

от гистологической характеристики РЖ. Так, перстневидноклеточный рак, обладающий низкой целлюлярностью и слабовыраженной экспрессией транспортера глюкозы GLUT1, накапливает  $^{18}\text{F}$ -FDG с меньшей интенсивностью, чем опухоли кишечного типа (гистологическая классификация инвазивного рака желудка по Лаурену, 1965 г.) [17].

В настоящей работе для стратификации опухолей использована классификация рака желудка по Лаурену (кишечный, диффузный, смешанный и неопределенный типы), поскольку она широко применяется в клинко-радиологических исследованиях и имеет наибольшее значение при интерпретации данных ПЭТ/КТ. Известно, что метаболическая активность опухолей и уровень накопления  $^{18}\text{F}$ -ФДГ в значительной степени коррелируют с морфологическими особенностями и степенью клеточной когезии, что отражается именно в классификации по Лаурену: диффузный тип, как правило представленный дискогезивной (в том числе перстневидноклеточной) карциномой, характеризуется низкой плотностью опухолевых клеток и повышенным содержанием муцина, что ассоциируется с более низким уровнем накопления РФЛП; напротив, кишечный тип чаще соответствует высоко- или умеренно дифференцированной аденокарциноме с формированием железистых структур и демонстрирует более выраженную ФДГ-avidность.

Другие гистологические варианты рака желудка, включая аденокарциномы различной степени дифференцировки, дискогезивную карциному, железисто-плоскоклеточные и нейроэндокринные опухоли, в рамках данной работы отдельно не анализировались, поскольку большинство из них может быть сопоставлено с типами по Лаурену с точки зрения морфологической организации опухоли и ожидаемых особенностей метаболизма глюкозы при ПЭТ/КТ. Таким образом, использование классификации по Лаурену позволило сосредоточиться на клинически значимых различиях в визуализации опухолей без избыточного дробления подгрупп при ограниченном объеме выборки.

Вышеуказанные ограничения сужают диагностические возможности ПЭТ/КТ с  $^{18}\text{F}$ -FDG в диагностике РЖ. Развитие ПЭТ-диагностики в этой области связано с созданием новых туморотропных РФЛП. Перспективным считается  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi, который является генераторным (нециклотронным) радиофармпрепаратом.  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi обладает тропностью к трансмембранной молекуле FAP (fibroblast activation protein), расположенной в мембране опухоли-ассоциированных фибробластов. Данные фибробласты являются основным компонентом микроокружения опухолевых клеток большинства стромальных опухолей и обладают широким набором функций, способных как сдерживать опухолевый рост, так и усиливать опухолевую активность. Таким образом, накопление  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi в опухоли не зависит напрямую от гистогенеза, а связано с формированием фибробластами белка FAP [18].

В настоящее время существуют единичные публикации, основанные на исследованиях с ограниченной выборкой пациентов с РЖ. Несмотря на относительно небольшой объем накопленных данных, в них демонстрируется, что  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi обладает существенными преимуществами в сравнении с  $^{18}\text{F}$ -FDG, среди которых — менее интенсивное накопление в очагах воспаления и оптимальная эффективность визуализации как диффузного, так и кишечного типов рака желудка [19–22].

Настоящая работа представляет собой одно из наиболее крупных исследований в мире, посвященных оценке отдаленных метастазов у больных с диагнозом рак желудка, и первым исследованием в России, включающем сравнение ПЭТ/КТ с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi и  $^{18}\text{F}$ -FDG в контексте указанной проблемы.

Настоящая работа представляет собой одно из наиболее крупных исследований в мире, посвященных оценке отдаленных метастазов у больных с диагнозом рак желудка, и первым исследованием в России, включающем сравнение ПЭТ/КТ с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi и  $^{18}\text{F}$ -FDG в контексте указанной проблемы.

## Материалы и методы

В исследование были включены 57 пациентов (33 мужчин, 24 женщин) с диагнозом рака желудка, в возрасте от 27 до 80 лет. Все пациенты проходили ПЭТ/КТ-исследование с двумя радиофармпрепаратами:  $^{18}\text{F}$ -FDG и  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi в период с сентября 2022 г. по октябрь 2025 г. в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина МЗ РФ.

Распределение пациентов по гистологическому типу опухолей было следующим:

- диффузный тип — 14 пациентов;
- кишечный тип — 17 пациентов;
- смешанный тип — 14 пациентов;
- неопределенный тип — 12 пациентов.

Критерии включения в исследование:

- гистологически подтвержденный диагноз рак желудка;
- отсутствие предшествующего хирургического и/или химиотерапевтического лечения;
- отсутствие противопоказаний к проведению ПЭТ/КТ;
- выполнение двух ПЭТ/КТ-исследований (с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi и  $^{18}\text{F}$ -FDG) с интервалом менее 7 дней.

Сканирование осуществлялось на ПЭТ/КТ-сканере Biograph mCT (Siemens, Германия).

ПЭТ/КТ с  $^{18}\text{F}$ -FDG выполнялась через 60 мин после внутривенного введения РФЛП, от темени до коленных суставов, верхние конечности подняты вверх, продолжительность сканирования 3 мин на одну «кровать». Средняя вводимая активность вычислялась из расчета 5 МБк на 1 кг массы тела. Подготовка к исследованию включала безуглевод-

ную диету за сутки до исследования, прием пищи не ранее чем за 6 ч до времени исследования, отсутствие физических нагрузок в день исследования. Всем пациентам перед исследованием измеряли уровень глюкозы.

ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI выполнялась без специальной подготовки пациента, вводимая активность составила 2,5 МБк/кг массы тела пациента, исследование проводили через 60 мин после введения РФЛП, область и длительность сканирования были аналогичными применяемым параметрам сканирования для <sup>18</sup>F-FDG.

Интервал между двумя ПЭТ/КТ-исследованиями для каждого пациента не превышал 7 дней.

После реконструкции данных ПЭТ и КТ, анализ изображений осуществлялся двумя специалистами (врачом-рентгенологом и врачом-радиологом) на рабочих станциях Syngo via (Siemens, Германия). Интерпретация результатов ПЭТ/КТ-сканирования осуществлялась путем визуальной оценки формы и размеров, а также измерения показателя стандартизованного уровня накопления  $SUV_{max-bw}$ .

Статистический анализ выполнялся с использованием программного обеспечения SPSS (версия 27.0; IBM Inc.). Непрерывные переменные представлены в виде среднего значения  $\pm$  стандартное отклонение (SD). Категориальные переменные выражены в виде количества и процента. Количество положительных очагов сравнивалось с использованием критерия  $\chi^2$ , а для оценки различий значений  $SUV_{max}$  между двумя группами применялся t-критерий Стьюдента. Значение  $p$  менее 0,05 считалось статистически значимым.

Признаком метастатического поражения по данным ПЭТ/КТ считалось наличие патологического накопления <sup>68</sup>Ga-FAPI и/или <sup>18</sup>F-FDG. При отсутствии изменения формы и/или увеличения размеров наличие очага патологического накопления РФЛП рассматривалось как более точный критерий метастатического поражения. Изменение/увеличение размеров при отсутствии патологического накопления РФЛП рассматривалось как метастатическое поражение (КТ-критерии).

Методами, подтверждающими или опровергающими результаты ПЭТ/КТ, являлись:

- Гистологическая верификация (при локализации патологического очага, не доступного для морфологической верификации, за референсный стандарт принимали совпадение данных ПЭТ с результатами других методов лучевой диагностики (УЗИ, КТ, МРТ с контрастированием, ангиографии, остеосцинтиграфии) в совокупности с динамикой клинико-диагностических показателей. Для диагностической лапароскопии референсным стандартом положительного

результата были результаты биопсии макроскопически подозрительных образований, а ложноотрицательными результатами считались метастазы в брюшине, обнаруженные во время гастрэктомии или в течение 6 месяцев после первоначально отрицательного результата диагностической лапароскопии. Также ложноотрицательным результатом считали отсутствие гиперфиксации РФЛП в зоне структурных изменений, подтверждённых альтернативными лучевыми или морфологическими методами.

- Положительная или отрицательная динамика при соответствии с идентичными динамическими изменениями в первичной опухоли и в других опухолевых очагах.

## Результаты

У всех 57 (100 %) пациентов первичная опухоль была выявлена с использованием <sup>68</sup>Ga-FAPI, тогда как при применении <sup>18</sup>F-FDG опухоль визуализировалась только у 38 (66,6 %) пациентов.

Отдаленное метастатическое поражение по данным ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI было выявлено у 29 (50,8 %) пациентов, среди которых у 7 (12,2 %) был установлен кишечный тип рака желудка, 9 (15,7 %) — диффузный, 8 (14 %) — неопределённый, 5 (8,7 %) — смешанный. При ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG отдаленные метастазы обнаружены у 18 (31,5 %) пациентов: 7 (12,2 %) с кишечным типом, 6 (10,5 %) с диффузным, 3 (5,2 %) со смешанным и 2 (3,5 %) с неопределённым типом опухоли (табл. 1).

Метастатическое поражение отдаленных лимфатических узлов по данным ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI было выявлено у 21 пациента, среди которых у 7 (12,2 %) было поражение забрюшинных парааортальных лимфатических узлов, 8 (14 %) — тазовых, 2 (3,5 %) — внутригрудных и 4 (7 %) — надключичных. В то же время при ПЭТ/КТ-исследовании с <sup>18</sup>F-FDG метастазы в отдаленных лимфатических узлах были обнаружены у 12 пациентов: 4 (7 %) с поражением забрюшинных парааортальных лимфатических узлов, 3 (5,2 %) — тазовых, 2 (3,5 %) — внутригрудных и 3 (5,2 %) — надключичных (рис. 1).

По данным ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI из 57 пациентов у 7 (12,2 %) были выявлены и подтверждены метастазы по брюшине, тогда как при ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG они обнаружены только у 1 (1,7 %) пациента (рис. 2). Подобные находки позволили в 5 (8,7 %) из этих случаев скорректировать стадию, благодаря чему пациенты были переведены на химиотерапевтическое лечение.

При анализе выявления отдалённых метастазов в костях ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI позволила выявить поражение у 6 (10,5 %) пациентов, тогда как ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG только у 2 (3,5 %) пациентов (рис. 3).

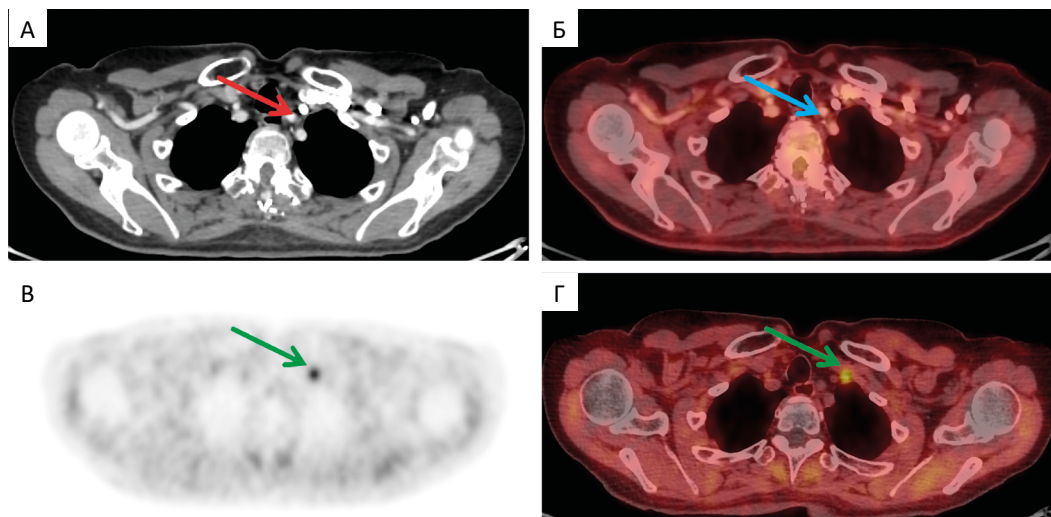


Рис. 1. По данным КТ (А — аксиальная проекция) в левой надключичной области определяется одиночный, неувеличенный, плоский лимфатический узел (красная стрелка). По данным ПЭТ/КТ с  $^{18}\text{F}$ -FDG (Б — аксиальная проекция, синяя стрелка) патологическое накопление РФЛП не определяется. При ПЭТ/КТ-исследовании с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi (В, Г — аксиальные проекции) патологическое накопление РФЛП отмечается в одиночном надключичном лимфатическом узле слева (зеленые стрелки). В других исследованных отделах очаги патологического накопления РФЛП не были выявлены

Fig. 1. According to CT (A — axial view), a solitary, non-enlarged, flat lymph node is visualized in the left supraclavicular region (red arrow). According to  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT (Б — axial view, blue arrow), no pathological radiopharmaceutical uptake is detected. On  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi PET/CT examination (В, Г — axial views), pathological uptake is observed in the solitary supraclavicular lymph node (green arrows). In the other examined areas, no foci of pathological radiopharmaceutical uptake were detected

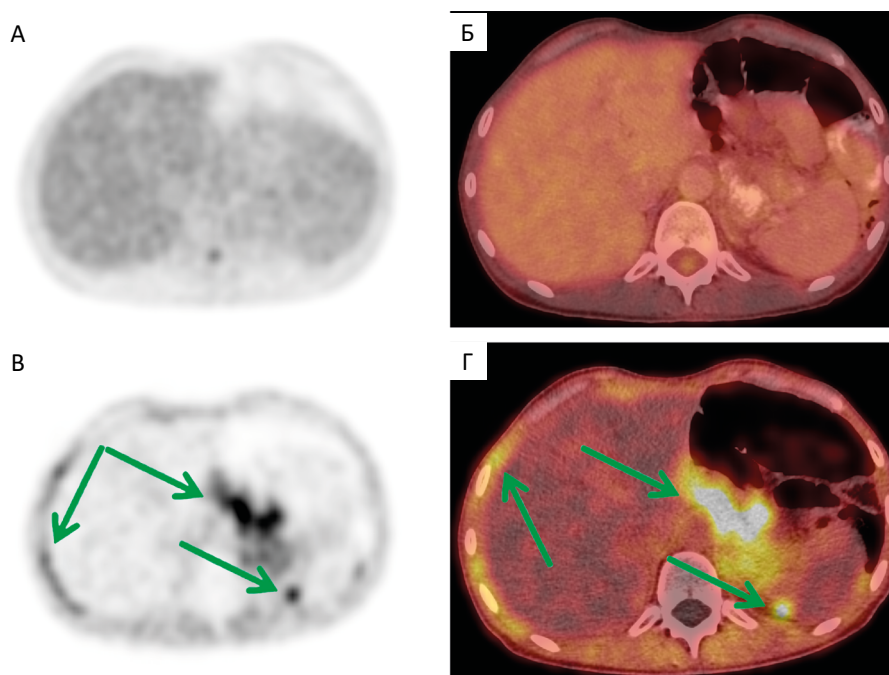


Рис. 2. По данным ПЭТ/КТ с  $^{18}\text{F}$ -FDG (А, Б — аксиальные проекции) патологическое накопление РФЛП не определяется. При ПЭТ/КТ-исследовании с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi (В, Г — аксиальные проекции) определяются очаги патологического накопления по капсуле печени, капсуле селезенки, брюшине, в клетчатке брюшной полости (зеленые стрелки), что позволило пациенту перевести на химиотерапию вместо обычного наблюдения

Fig. 2. According to  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT (А, Б — axial views), no pathological radiopharmaceutical uptake is detected. On  $^{68}\text{Ga}$ -FAPi PET/CT examination (В, Г — axial views), foci of pathological uptake are identified along the liver capsule, splenic capsule, peritoneum, and in the abdominal adipose tissue (green arrows). This finding led to the patient being switched to chemotherapy instead of routine observation

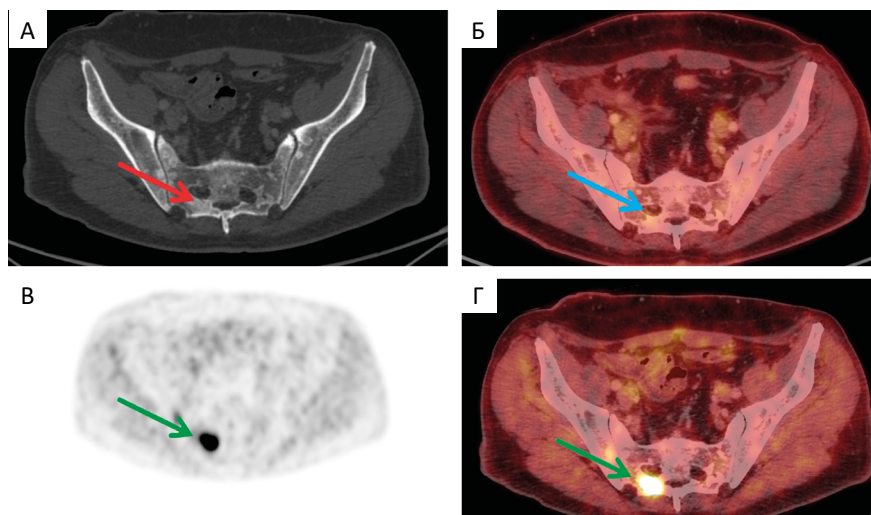


Рис. 3. По данным КТ (А — аксиальная проекция) в костях таза определяются множественные бластические метастазы (красная стрелка). По данным ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG (Б — аксиальная проекция, синяя стрелка) патологическое накопление РФЛП не определяется. При ПЭТ/КТ-исследовании с <sup>68</sup>Ga-FAPI (В, Г — аксиальные проекции) определяется патологическое накопления РФЛП в указанных костных очагах (зеленые стрелки)

Fig. 3. According to CT (A — axial view), multiple blastic metastases are identified in the pelvic bones (red arrow). Based on <sup>18</sup>F-FDG PET/CT (Б — axial view, blue arrow), no pathological radiopharmaceutical uptake is detected. On the <sup>68</sup>Ga-FAPI PET/CT examination (В, Г — axial views), pathological radiopharmaceutical uptake is observed in the aforementioned bone lesions (green arrows)

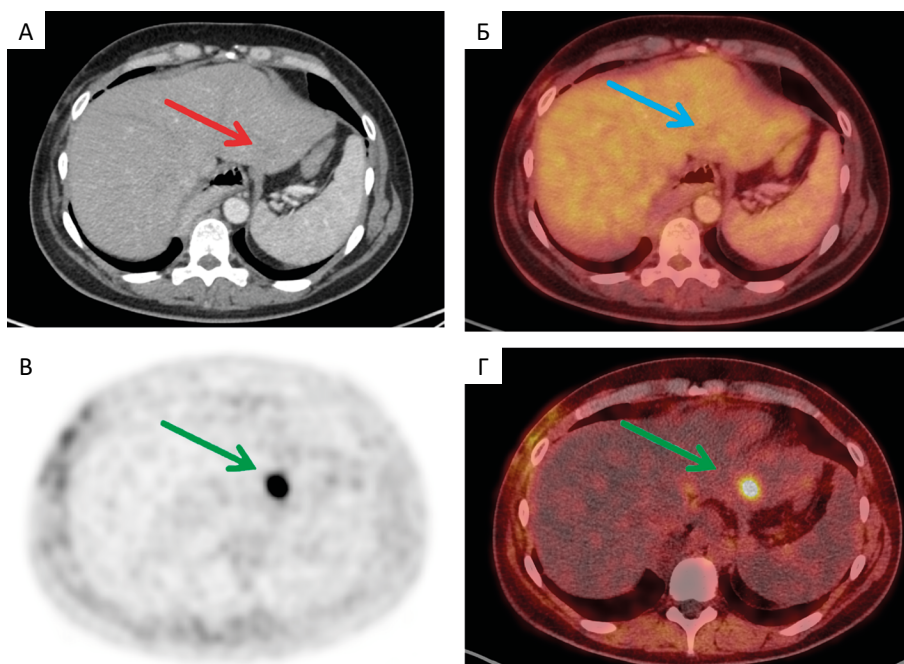


Рис. 4. По данным КТ (А — аксиальная проекция) в левой доле печени отмечается одиночное гиподенсное образование с неровным, нечетким контуром (А — красная стрелка). По данным ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG (Б — аксиальная проекция, синяя стрелка) патологическое накопление РФЛП не определяется. При ПЭТ/КТ-исследовании с <sup>68</sup>Ga-FAPI (В, Г — аксиальные проекции) патологическое накопление визуализируется в узловом образовании в S2 печени (зеленые стрелки)

Fig. 4. According to CT (A — axial view), a solitary hypodense lesion with irregular, indistinct borders is noted in the left lobe of the liver (red arrow). On <sup>18</sup>F-FDG PET/CT (Б — axial view, blue arrow), no pathological radiopharmaceutical uptake is detected. During the <sup>68</sup>Ga-FAPI PET/CT examination (В, Г — axial views), pathological uptake is visualized in the nodular lesion in segment S2 of the liver (green arrows)

При выявлении метастазов в паренхиматозных органах ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI также показала бóльшую эффективность: обнаружено 9 (15,7 %) ме-

тастатических очагов (4 в печени и 5 в лёгких) против 5 (8,7 %), выявленных при ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG (3 в печени и 2 в лёгких) (рис. 4).

**Таблица 1. Количество FAPI- и FDG-позитивных пациентов с отдаленными метастазами рака желудка**  
**Table 1. Number of FAPI- and FDG-positive patients with distant metastases from gastric cancer**

Область поражения	Количество пациентов	<sup>68</sup> Ga-FAPI	<sup>18</sup> F-FDG
Лимфатические узлы (М)	21 (36,8 %)	21 (36,8 %)	12 (21 %)
Брюшина	7 (12,2 %)	7 (12,2 %)	1 (1,7 %)
Кости	6 (10,5 %)	6 (10,5 %)	2 (3,5 %)
Лёгкие	5 (8,7 %)	5 (8,7 %)	2 (3,5 %)
Печень	4 (7 %)	4 (7 %)	3 (5,2 %)

Чувствительность и специфичность в определении М-стадирования для <sup>68</sup>Ga-FAPI составили 100 % и 85,7 % соответственно, для <sup>18</sup>F-FDG эти показатели составили 62 % и 90 % соответственно.

### Обсуждение

ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG, диагностические возможности которой во многом определяются уровнем гликолитической активности опухолевой ткани, занимает важное место в оценке распространённости рака желудка, включая стадирование, рестадирование и контроль проводимого лечения. Вместе с тем, чувствительность метода остаётся ограниченной при выявлении очагов небольших размеров, а также при диффузном и смешанном гистологических типах рака желудка по классификации Лаурена (1965 г.). Это связано со сниженной экспрессией транспортёров глюкозы GLUT1 и выраженным физиологическим накоплением РФЛП в стенке желудка, которое нередко обусловлено воспалительными изменениями [16, 17]. Вследствие этого диагностическая ценность ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG при оценке отдалённого метастатического поражения не всегда оказывается достаточной.

Стромальный компонент большинства злокачественных опухолей представлен клетками соединительной ткани, преимущественно опухоль-ассоциированными фибробластами. Эти клетки участвуют в формировании опухолевого микроокружения, влияя на рост, инвазию и метастазирование, а в ряде случаев — на сдерживание опухолевой активности. Белок активации фибробластов (FAP), относящийся к трансмембранным гликопротеинам II типа семейства дипептидилпептидазы IV, характеризуется выраженной экспрессией в опухоль-ассоциированных фибробластах большинства эпителиальных карцином. Это позволяет использовать меченый <sup>68</sup>Ga ингибитор FAP (FAPI) для визуализации опухолевой стромы за счёт его накопления в фибробластах, формирующих основную массу микроокружения опухоли [18].

Наше исследование показало, что ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI обеспечивает лучшее выявление опухолевого процесса при раке желудка, включая не только первичный очаг, но и отдалённые метастазы. Отмечено, что у значительной части пациентов первичная опухоль не демонстрировала накопления <sup>18</sup>F-FDG (n = 19), тогда как при применении <sup>68</sup>Ga-FAPI регистрировалась выраженная фиксация РФЛП как в основной опухоли, так в отдаленных метастазах. Дополнительно выявленные отдалённые метастазы при ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI позволили сменить стадию заболевания у 5 пациентов (8,7 %). Также обращает на себя внимание высокое соотношение опухоль/фон, обусловленное низким физиологическим накоплением препарата в интактных тканях, что повышает контрастность изображений и, как следствие, точность диагностики.

### Заключение

ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI показала более высокую эффективность в оценке отдалённого метастатического поражения при раке желудка по сравнению с ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-FDG. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости использования ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI в клинической практике для более точной диагностики и выбора тактики лечения пациентов при раке желудка.

### Список литературы / References

1. Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin* 2024;74(3):229-63. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>.
2. Hooi JKY, Lai WY, Ng WK, et al. Global prevalence of Helicobacter pylori infection: systematic review and meta-analysis. *Gastroenterology* 2017;153(2):420-9. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2017.04.022>.
3. Kim H, Hwang Y, Sung H, et al. Effectiveness of gastric cancer screening on gastric cancer incidence and mortality in a community-based prospective cohort. *Cancer Res Treat*. 2018;50(2):582-89. <https://doi.org/10.4143/crt.2017.048>.
4. Hamashima C, Ogoshi K, Okamoto M, et al. A community-based, case-control study evaluating mortality reduction from gastric cancer by endoscopic screening in Japan. *PLoS One* 2013;8(11):e79088. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079088>.
5. Jun JK, Choi KS, Lee H-Y, et al. Effectiveness of the Korean national cancer screening program in reducing gastric cancer mortality. *Gas-*

- troenterology 2017;152(6):1319-28.e7. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2017.01.029>.
- Arnold M, Park JY, Camargo MC, et al. Is gastric cancer becoming a rare disease? A global assessment of predicted incidence trends to 2035. *Gut* 2020;69(5):823-9. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2019-320234>.
  - Бесова НС, Болотина ЛВ, Гамаюнов СВ и соавт. Рак желудка. Практические рекомендации RUSSCO, часть 1.1. Злокачественные опухоли. 2024;14(3s2):241-62.  
Besova NS, Bolotina LV, Gamayunov SV, et al. Gastric Cancer. Practical Guidelines RUSSCO, Part 1.1. Malignant Tumours 2024;14(3s2):241-262 (In Russ.). <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2024-14-3s2-1.1-13>.
  - Клинические рекомендации. Рак желудка. Клинические рекомендации Ассоциации онкологов России и Российского общества клинической онкологии. 2020. AOP (Internet). <https://oncology-association.ru>  
Clinical Guidelines. Gastric Cancer. Clinical Guidelines of the Association of Oncologists of Russia and the Russian Society of Clinical Oncology. 2020. AOR (Internet). <https://oncology-association.ru>.
  - Muto M, Saito S, Muto M, et al. Effect of adding X-ray examination to endoscopy in the assessment of the invasion depth of early gastric cancer. *Nihon Shokakibyō Gakkai Zasshi* 2019;116(6):506-14. <https://doi.org/10.11405/nisshoshi.116.506>.
  - Muro K, Van Cutsem E, Narita Y, et al. Pan-Asian adapted ESMO Clinical Practice Guidelines for the management of patients with metastatic gastric cancer: a JSMO-ESMO initiative endorsed by CSCO, KSMO, MOS, SSO and TOS. *Ann Oncol*. 2019;30(1):19-33. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdy502>.
  - Seo N, Lim JS, Cho A Radiologic Diagnosis (CT, MRI, & PET-CT). In: Noh, S, Hyung, W. (eds). *Surgery for Gastric Cancer*. Berlin: Springer. 2019: 67-86. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45583-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45583-8_4).
  - Wang Y, Liu W, Yu Y, et al. CT radiomics nomogram for the preoperative prediction of lymph node metastasis in gastric cancer. *Eur Radiol*. 2020;30(2):976-86. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06398-z>.
  - National Comprehensive Cancer Network, et al. NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology (NCCN Guide-lines®): Gastric. Cancer. Version 5.2024. [www.nccn.org](http://www.nccn.org).
  - Райс АБ, Федянин МЮ, Попов ДВ и др. Факторы, ассоциированные с эффективностью иммунотерапии в монорежиме, у пациентов с метастатическим раком желудка. *Хирургия и онкология* 2024;14(4):73-85.  
Rays AB, Fedyanin MYu, Popov DV, et al. Prognostic and predictive factors in patients with metastatic gastric cancer treated with immune checkpoint inhibitors. *Surgery and Oncology*. 2024;14(4):73-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/2949-5857-2024-14-4-73-85>
  - Emma G, Hylke B, Richard van Hillegersberg, et al. <sup>18</sup>F-Fludeoxyglucose-Positron Emission Tomography/Computed Tomography and Laparoscopy for Staging of Locally Advanced Gastric Cancer: A Multi-center Prospective Dutch Cohort Study (PLASTIC). *JAMA Surg*. 2021 Oct 27;156(12):e215340. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2021.5340>.
  - Kobayashi S, Ogura M, Suzawa N, et al. <sup>18</sup>F-FDG uptake in the stomach on screening PET/CT: value for predicting Helicobacter pylori infection and chronic atrophic gastritis. *BMC Med Imaging*. 2016;16(1):58. <https://doi.org/10.1186/s12880-016-0161-9>.
  - Yin C, Gao B, Yang J, et al. Glucose Transporter-1 (GLUT-1) Expression is Associated with Tumor Size and Poor Prognosis in Locally Advanced Gastric Cancer. *Med Sci Monit Basic Res* 2020;26:e920778. <https://doi.org/10.12659/MSMBR.920778>.
  - Hamson E J, Keane F M, Tholen S, et al. Understanding fibroblast activation protein (FAP): substrates, activities, expression and targeting for cancer therapy. *Proteomics Clin Appl*. 2014;8(5-6):454-63. <https://doi.org/10.1002/prca.201300095>.
  - Veldhuijzen van Zanten SEM, Pieterman KJ, Wijnhoven BPL, et al. FAPI PET versus FDG PET, CT or MRI for Staging Pancreatic-, Gastric- and Cholangiocarcinoma: Systematic Review and Head-to-Head Comparisons of Diagnostic Performances. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(8):1958. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12081958>.
  - Qin C, Shao F, Gai Y, et al. <sup>68</sup>Ga-DOTA-FAPI-04 PET/MR in the Evaluation of Gastric Carcinomas: Comparison with <sup>18</sup>F-FDG PET/CT. *J Nucl Med*. 2022;63(1):81-8. <https://doi.org/10.2967/jnumed.120.258467>.
  - Ruan D, Zhao L, Cai J, et al. Evaluation of FAPI PET imaging in gastric cancer: a systematic review and meta-analysis. *Theranostics*. 2023;13(13):4694-710. <https://doi.org/10.7150/thno.88335>.
  - Белкин ЕВ, Тулин ПЕ, Абу-Хайдар ОБ и др. ЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI и <sup>18</sup>F-FDG в оценке метастатического поражения регионарных лимфоузлов при раке желудка. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия 2025;8(1):29-35.  
Belkin EV, Tulin PE, Abu-Khaydar OB, et al. PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI and <sup>18</sup>F-FDG in the Detection of Metastases in Regional Lymph Nodes in Gastric Cancer. *Journal of oncology: diagnostic radiology and radiotherapy*. 2025;8(1):29-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-1-29-35>.

#### Information about the authors

Egor V. Belkin <https://orcid.org/0009-0009-0819-3891>

Pavel E. Tulin <https://orcid.org/0000-0001-7226-5129>

Armine M. Badeyan <https://orcid.org/0009-0000-4807-5608>

Alexander V. Filimonov <https://orcid.org/0009-0001-6694-9564>

Omar B. Abu-Khaydar <https://orcid.org/0000-0002-7045-0977>

Victor V. Solomyanny <https://orcid.org/0009-0007-6294-5826>

#### Вклад авторов

Е.В. Белкин: написание текста статьи, обзор публикаций по теме статьи, разработка дизайна статьи.

П.Е. Тулин: разработка дизайна статьи, консультация клинической составляющей исследования, редактирование.

А.М. Бадеян: консультация клинической составляющей исследования, редактирование.

О.Б. Абу-Хайдар: консультация клинической составляющей исследования, редактирование.

В.В. Соломяный: разработка дизайна статьи, редактирование.

А.В. Филимонов: разработка дизайна статьи, редактирование.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета не требовалось.

**Информированное согласие.** Все пациенты подписали информированное согласие на публикацию своих данных.

**Поступила:** 15.01.2026.

**Принята к публикации:** 14.02.2026.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

#### Authors' contributions

Egor V. Belkin: Writing the article text, reviewing publications on the article's topic, developing the article design.

Pavel E. Tulin: Developing the article design, consulting on the clinical aspect of the study, editing.

Armine M. Badeyan: Consulting on the clinical aspect of the study, editing.

Omar B. Abu-Khaydar: Consulting on the clinical aspect of the study, editing.

Victor V. Solomyanny: Developing the article design, editing.

Alexander V. Filimonov: Developing the article design, editing.

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** Not declared.

**Ethical compliance.** Ethical committee approval was not necessary.

**Informed consent.** All patients signed informed consent to participate in the study.

**Received:** 15.01.2026.

**Accepted for publication:** 14.02.2026.

**Published online:** 26.03.2026.

## МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСТНОНАПРАВЛЕННОЙ РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ РАДИЯ-223 ХЛОРИДОМ У БОЛЬНЫХ РАКОМ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Николаева Е.А.<sup>1</sup>✉, Крылов А.С.<sup>1</sup>, Рыжков А.Д.<sup>1,2</sup>, Прохоров С.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России; Россия, 115478, Москва, Каширское шоссе, 24

<sup>2</sup> Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России; Россия, 125993, Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1

✉ Екатерина Андреевна Николаева, nikoka1901@gmail.com, +7(916)362-74-56

### РЕФЕРАТ

**Введение:** Терапия радием-223 (<sup>223</sup>Ra) улучшает выживаемость у пациентов с метастатическим кастрационно-резистентным раком предстательной железы (мКРПЖ), но мониторинг ответа осложнен отсутствием классического ПСА-ответа. Необходимы стандартизированные методы оценки, основанные на визуализации.

**Цель:** Разработать и оценить комплексный диагностический алгоритм для количественного мониторинга эффективности терапии <sup>223</sup>Ra на основе данных ОФЭКТ/КТ и остеосцинтиграфии.

**Материалы и методы:** В проспективное одноцентровое исследование включено 114 пациентов с мКРПЖ, получивших от 2 до 6 введений <sup>223</sup>Ra. Всем пациентам выполнялись планарная остеосцинтиграфия с расчетом автоматизированного индекса костного сканирования (aBSI), количественная ОФЭКТ/КТ с расчетом стандартизированного показателя накопления (SUV<sub>max</sub>, SUV<sub>mean</sub>) и процента инъекционной дозы (%ID), ПЭТ/КТ с ПСМА-лигандами, оценка биохимических маркеров (ПСА, ЛДГ, ЩФ) и клинического статуса.

**Результаты:** У пациентов, завершивших полный курс (6 введений, n = 64), выявлено статистически значимое снижение всех количественных параметров: SUV<sub>max</sub> (с 51,9 ± 16,4 до 30,5 ± 11,2; p < 0,001), SUV<sub>mean</sub> (с 2,87 ± 0,63 до 2,43 ± 0,58; p = 0,021), %ID (с 12,4 ± 3,1 до 10,8 ± 2,6; p = 0,037), aBSI (с 2,15 ± 0,38 до 1,70 ± 0,31; p = 0,005), а также уровней ПСА, ЛДГ и ЩФ. Параметры визуализации достоверно коррелировали с уровнями ЩФ, болевым синдромом, функциональным статусом и развитием гематологической токсичности. Высокие исходные значения SUV<sub>mean</sub>, %ID и aBSI были ассоциированы с повышенным риском миелосупрессии.

**Выводы:** Количественные параметры ОФЭКТ/КТ (SUV<sub>max</sub>, SUV<sub>mean</sub>, %ID) и сцинтиграфии (aBSI) являются объективными маркерами эффективности терапии <sup>223</sup>Ra, отражающими динамику метаболической активности костных метастазов и позволяющими прогнозировать развитие гематологической токсичности. Комплексный мультипараметрический подход повышает точность оценки ответа на лечение.

**Ключевые слова:** рак предстательной железы, костные метастазы, радий-223, ОФЭКТ/КТ, остеосцинтиграфия, количественный анализ, стандартизированный показатель накопления, автоматизированный индекс костного сканирования

**Для цитирования:** Николаева Е.А., Крылов А.С., Рыжков А.Д., Прохоров С.Н. Метод количественной оценки эффективности костнонаправленной радионуклидной терапии радия-223 хлоридом у больных раком предстательной железы. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):24-32.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-24-32>

## STANDARDIZED METHOD FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE EFFICACY OF BONE-TARGETED RADIONUCLIDE THERAPY WITH RADIUM-223 CHLORIDE IN PATIENTS WITH PROSTATE CANCER

Ekaterina A. Nikolaeva<sup>1</sup>✉, Alexander S. Krylov<sup>1</sup>, Alexey A. Ryzhkov<sup>1,2</sup>, Sergey N. Prokhorov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology; 24 Kashirskoye Highway, Moscow, Russia 115478

<sup>2</sup> Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Barricadnaya str., 2/1, p. 1, Moscow, Russia 125993

✉ Ekaterina A. Nikolaeva, nikoka1901@gmail.com, +7(916)362-74-56

### ABSTRACT

**Introduction:** Radium-223 (<sup>223</sup>Ra) therapy improves survival in patients with metastatic castration-resistant prostate cancer (mCRPC), but response monitoring is challenging due to the lack of classic PSA response. Standardized assessment methods based on imaging are needed.

**Objective:** To develop and evaluate a comprehensive diagnostic algorithm for quantitative monitoring of the efficacy of <sup>223</sup>Ra therapy based on SPECT/CT and bone scintigraphy data.

**Materials and Methods:** A prospective single-center study included 114 mCRPC patients who received 2 to 6 injections of <sup>223</sup>Ra. All patients underwent planar bone scintigraphy with automated Bone Scan Index (aBSI) calculation, quantitative SPECT/CT with standardized uptake value (SUV<sub>max</sub>, SUV<sub>mean</sub>) and percent injected dose (%ID) calculation, PSMA-ligand PET/CT, assessment of biochemical markers (PSA, LDH, ALP) and clinical status.

**Results:** In patients who completed the full course (6 injections, n = 64), a statistically significant decrease in all quantitative parameters was revealed: SUV<sub>max</sub> (from 51.9 ± 16.4 to 30.5 ± 11.2; p < 0.001), SUV<sub>mean</sub> (from 2.87 ± 0.63 to 2.43 ± 0.58; p = 0.021), %ID (from 12.4 ± 3.1 to 10.8 ± 2.6; p = 0.037), aBSI (from 2.15 ± 0.38 to 1.70 ± 0.31; p = 0.005), as well as levels of PSA, LDH and ALP. Imaging parameters significantly correlated with ALP levels, pain syndrome, functional status, and the development of hematological toxicity. High baseline SUV<sub>mean</sub>, %ID, and aBSI values were associated with an increased risk of myelosuppression.

**Conclusion:** Quantitative SPECT/CT parameters (SUV<sub>max</sub>, SUV<sub>mean</sub>, %ID) and scintigraphy parameters (aBSI) are objective markers of the efficacy of <sup>223</sup>Ra therapy, reflecting the dynamics of the metabolic activity of bone metastases and allowing to predict the development of hematological toxicity. A comprehensive multiparameter approach improves the accuracy of treatment response assessment.

**Key words:** prostate cancer, bone metastases, radium-223, SPECT/CT, bone scintigraphy, quantitative analysis, standardized uptake value, automated Bone Scan Index

**For citation:** Nikolaeva E.A., Krylov A.S., Ryzhkov A.D., Prokhorov S.N. Standardized Method for Quantitative Assessment of the Efficacy of Bone-Targeted Radionuclide Therapy with Radium-223 Chloride in Patients with Prostate Cancer. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):24-32. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-24-32>

## Введение

Костные метастазы являются преобладающим клиническим проявлением у большинства пациентов с метастатическим кастрационно-резистентным раком предстательной железы (мКРППЖ) [1]. Развитие костных метастазов ассоциировано с высоким риском возникновения скелетных осложнений и хронического болевого синдрома, что в совокупности приводит к значительному снижению качества жизни и сокращению общей выживаемости [2].

В качестве таргетной терапии для данной категории пациентов был разработан радиофармпрепарат хлорид радия-223 ( $^{223}\text{Ra}$ ), испускающий альфа-частицы. Его применение одобрено для лечения мКРППЖ с симптоматическими костными метастазами и при отсутствии диагностированных висцеральных метастазов [3]. Основанием для регистрации послужили результаты международного рандомизированного двойного слепого исследования III фазы ALSYMPCA, в котором участвовали пациенты с мКРППЖ и симптоматическим костным поражением, независимо от предшествующего получения химиотерапии. Ключевым выводом исследования стало достоверное увеличение медианы общей выживаемости в группе  $^{223}\text{Ra}$  на фоне оптимальной поддерживающей терапии по сравнению с плацебо (14,9 против 11,3 месяцев; отношение рисков 0,70; 95 % доверительный интервал (ДИ) 0,58–0,83;  $p < 0,001$ ) [3]. При этом терапия продемонстрировала благоприятный профиль переносимости [4] и значимо отсрочила время до наступления первых скелетных событий, а также способствовала улучшению показателей качества жизни, связанного со здоровьем [5, 6].

Одной из актуальных задач при применении  $^{223}\text{Ra}$  является мониторинг ответа на лечение для обоснования продолжения терапии. Стандартная оценка эффективности у пациентов с мКРППЖ включает комплексный анализ динамики уровня простат-специфического антигена (ПСА), данных радиологической визуализации, результатов остеосцинтиграфии и клинического статуса пациента [7]. Однако характерной особенностью терапии  $^{223}\text{Ra}$  является редкое достижение классического ПСА-ответа, несмотря на явное преимущество в выживаемости [3]. Это противоречие подчеркивает необходимость поиска и валидации альтернатив-

ных биомаркеров и инструментов для оценки эффективности лечения.

Согласно данным математического моделирования,  $^{223}\text{Ra}$  воздействует не на все костные метастазы [8], что актуализирует задачу изучения его биораспределения. Прямая визуализация распределения препарата для целей дозиметрии затруднена в связи со слабой гамма-эмиссией [9], что определяет потребность в разработке косвенных методов оценки. Показано, что поглощение бисфосфонатов коррелирует с накоплением  $^{223}\text{Ra}$  [10]. В связи с этим перспективным направлением представляется персональная дозиметрия на основе остеотропного радиофармпрепарата  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -фосфотех, учитывая, что остеосцинтиграфия по-прежнему широко используется для визуализации остеобластических метастазов при мКРППЖ благодаря своей доступности и стандартизации.

Актуальной задачей является разработка точных методов мониторинга терапии. Перспективным направлением представляется использование количественных методов визуализации, таких как ОФЭКТ/КТ с расчетом стандартизированного уровня накопления (SUV) и планарная сцинтиграфия с определением автоматизированного индекса костного сканирования (aBSI). Внедрение количественных методов повышает объективность исследований за счет стандартизированных числовых показателей и снижает зависимость от субъективного фактора, как мы показали в наших предыдущих исследованиях [11–13].

В связи с вышеизложенным, для проведения одноцентрового исследования предлагается комплексный диагностический алгоритм, включающий: планарную остеосцинтиграфию с расчетом aBSI; количественную ОФЭКТ/КТ; ПЭТ/КТ с радиофармпрепаратом, таргетным к простатспецифическому мембранному антигену (ПСМА); динамическую оценку биохимических маркеров (ПСА, ЛДГ, ЩФ); мониторинг клинического статуса пациента и выраженности болевого синдрома.

## Материалы и методы

В проспективное одноцентровое исследование включено 114 пациентов с метастатическим кастрационно-резистентным раком предстательной железы (мКРППЖ), получивших от 2 до 6 введений системной радионуклидной терапии (РНТ) хлоридом радия-223 ( $^{223}\text{Ra}$ ) в период

с сентября 2021 г. по март 2025 г. До января 2025 г. применялся «Ксофиго» («Байер АГ», Германия), с января — «Радия хлорид,  $^{223}\text{Ra}$ » (ООО «Простор Фарма», Россия). Не было получено новых сигналов безопасности при использовании отечественного препарата. Пациенты, получавшие и тот, и другой препарат в течение курса, не отметили никаких изменений в своем самочувствии.

Проведение исследования одобрено этическим комитетом НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России (выписка из протокола от 27.10.2022). От всех участников было получено письменное информированное согласие на проведение диагностических и терапевтических процедур и на обработку персональных данных.

### Критерии включения

1. Соответствие утвержденным показаниям для терапии  $^{223}\text{Ra}$ .
2. Наличие сканирования скелета (включая количественную ОФЭКТ/КТ), выполненного не более чем за 1 месяц до начала терапии и через 1 месяц после завершения 6-го введения (для завершивших полный курс).
3. Наличие ПЭТ/КТ с ПСМА-лигандами ( $^{18}\text{F}$ ПСМА-1007 или  $^{68}\text{Ga}$ ПСМА-11), выполненной не более чем за 1 месяц до начала терапии.
4. Получение не менее 2 введений  $^{223}\text{Ra}$ .
5. Отсутствие одновременной терапии абиратерона ацетатом или химиотерапии.
6. Получение остеомодифицирующей терапии (бисфосфонаты/деносумаб) 1 раз в 28 дней через 2–7 дней после введения  $^{223}\text{Ra}$  (при отсутствии противопоказаний).
7. Получение андрогендепривационной терапии (АДТ) (при отсутствии предшествующей билатеральной орхидэктомии).
8. Проведение ежемесячного мониторинга: общий анализ крови (ОАК), биохимический анализ крови (включая ПСА, ЛДГ, ЩФ), оценка клинического статуса и выраженности болевого синдрома.

Пациенты были разделены на две когорты: завершившие полный курс терапии (6 введений) и не завершившие (2–5 введений).

### Методы исследования

ПЭТ/КТ с ПСМА-лигандами ( $^{18}\text{F}$ )/( $^{68}\text{Ga}$ ) выполнялась для оценки исходной распространенности заболевания и отбора пациентов. Исследование проводилось согласно стандартным клиническим протоколам центра. Терапия  $^{223}\text{Ra}$  проводилась в соответствии с утвержденной инструкцией: 6 введений с интервалом 4 недели, активностью 55 кБк/кг массы тела. Ежемесячно перед каждым введением: ОАК, биохимический анализ крови (ПСА, ЛДГ, ЩФ). Гематологическая токсичность оцени-

валась по СТСАЕ v4.03 (цитопения  $\geq 2$  степени считалась клинически значимой). Функциональный статус оценивался ежемесячно по шкалам ECOG и Карновского. Болевой синдром оценивался по десятибалльной визуально-аналоговой шкале (ВАШ). Регистрировалась потребность и изменения в анальгетической терапии.

Остеосцинтиграфия (ОСГ) с  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -фосфотехом проводилась не ранее чем за 30 дней до первого введения  $^{223}\text{Ra}$  и через 25–42 дня после последнего введения (для завершивших 6 введений). Средняя вводимая активность  $532 \pm 56$  МБк. Исследование проводилось через 3 часа после инъекции РФП. Скорость движения стола 15 см/мин, матрица  $1028 \times 256$ , передняя и задняя проекции всего тела. Эффективная доза 1,8–3,6 мЗв. Гибридная гамма-камера Discovery 670 DR (GE Healthcare), предварительно откалиброванная согласно регламенту. Автоматизированный индекс сканирования костей (aBSI) рассчитывался с использованием программного пакета EXINI aBSI (интегрирован в рабочую станцию Xeleris V, GE Healthcare) на основе планарных изображений.

Непосредственно после планарной скintiграфии проводилась ОФЭКТ/КТ. Область: от плечевых суставов до середины бедер. Параметры ОФЭКТ: 32 шага, 10 с/шаг, матрица  $128 \times 128$ . Параметры низкодозной КТ: напряжение 120 кВ, ток 80 мА. Эффективная доза 3,4–3,7 мЗв. Реконструкция ОФЭКТ проводилась с использованием итеративного алгоритма, коррекция изображений ОФЭКТ с использованием алгоритма Evolution (GE Healthcare). Совмещение ОФЭКТ- и КТ-изображений на рабочей станции Xeleris 4.1 (GE Healthcare). Для последующего количественного анализа выполнялась автоматическая сегментация костного скелета с использованием данных КТ (порог +200 HU) с помощью ПО Q.Volumetrix (GE Healthcare). Вручную удалялись изображения внескелетных кальцинов. Количественные параметры рассчитывались в пределах всего сегментированного объема скелета:

1.  $\text{SUV}_{\text{max}}$  — максимальное стандартизированное значение накопления РФП в наиболее активном очаге.
2.  $\text{SUV}_{\text{mean}}$  — среднее стандартизированное значение накопления РФП в патологических очагах.
3. %ID — процент от введенной активности РФП, накопившийся в костной ткани.

Все исследования визуализации (ПЭТ/КТ, планарная ОСГ, ОФЭКТ/КТ) оценивались независимо двумя опытными специалистами в области ядерной медицины.

### Статистический анализ

Статистическая обработка данных проводилась с использованием специализированного программ-

ного обеспечения (StatTech v. 4.8.0, ООО «Статтех», Россия). Уровень значимости установлен на  $p < 0,05$ . Нормальность распределения проверяли критерием Шапиро—Уилки ( $n < 50$ ) или Колмогорова—Смирнова ( $n \geq 50$ ). Данные с нормальным распределением представлены как  $M \pm SD$  и 95 % ДИ, с ненормальным — как  $Me [Q1-Q3]$ . Категориальные переменные описаны как  $n$  (%).

Для сравнения групп применяли:  $t$ -критерий Стьюдента (две группы, нормальное распределение),  $U$ -критерий Манна—Уитни (ненормальное распределение), однофакторный ANOVA с тестами Тьюки или Геймса—Хауэлла (три и более групп, нормальное распределение), критерий Краскела—Уоллиса с поправкой Данна (ненормальное распределение). Сравнение процентных долей проводили с использованием  $\chi^2$ -критерия Пирсона с поправкой Холма.

Корреляционный анализ выполняли с коэффициентом Пирсона (нормальное распределение) или Спирмена (ненормальное распределение). Для многомерного анализа использовали множественную линейную регрессию.

## Результаты

### Когорта пациентов, завершивших полный курс терапии ( $n = 64$ )

Средний возраст на момент начала терапии  $^{223}\text{Ra}$  составил  $68,8 \pm 7,1$  лет (диапазон 50–81 лет). 40 пациентов (62,5 %) имели костные метастазы на момент постановки диагноза РПЖ.

Среднее время от постановки диагноза до развития костных метастазов 20,3 мес. (95 % ДИ 0,00–34,2; диапазон 0–198,8 мес.).

Среднее время от постановки диагноза до начала РНТ  $^{223}\text{Ra}$  65,5 мес. (95 % ДИ 35,1–95,9; диапазон 9,1–188 мес.).

Андрогенная блокада: 50 пациентов (78,1 %) получали АДТ, у 14 (21,9 %) была предшествующая билатеральная орхидэктомия.

Остеомодифицирующая терапия: 60 пациентов (93,8 %). У 4 пациентов (6,2 %) отмечался остеонекроз нижней челюсти.

Ингибиторы андрогенного сигнала нового поколения (энзалутамид) получали 4 пациента (на протяжении всего курса РНТ).

Терапия переносилась удовлетворительно. Не зарегистрировано случаев гематологической токсичности степени  $\geq 3$  по СТСАЕ v4.03. Наиболее частые нежелательные явления: тошнота, диарея, слабость, усиление болевого синдрома.

На момент начала терапии болевым синдромом отмечали 55 пациентов (85,9 %). После терапии снижение болевого синдрома отметили 32 пациента (50,0 %), из них значительное снижение ( $\geq 3$  балла по ВАШ) — 16 пациентов, снижение на 2 балла —

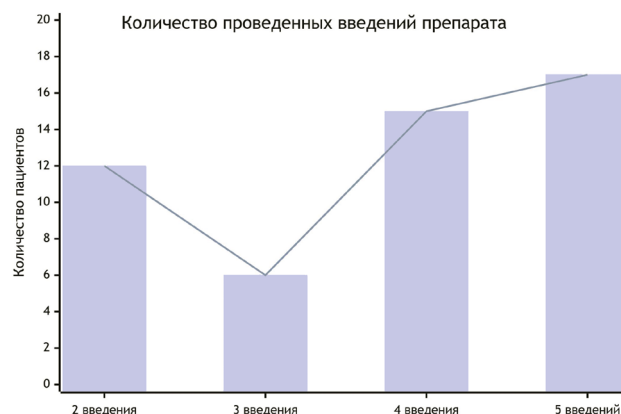


Рис. 1. Распределение пациентов, не закончивших терапию  $^{223}\text{Ra}$ , по количеству введений (по горизонтальной оси — количество введений, по вертикальной — количество пациентов)

Fig. 1. Distribution of patients who did not complete  $^{223}\text{Ra}$  therapy by the number of injections (on the horizontal axis — the number of injections, on the vertical — the number of patients)

13 пациентов. Усиление боли отметили 9 пациентов (14,1 %). До терапии: 36 пациентов (56,3 %) не требовали анальгезии, 10 (15,6 %) получали опиоиды, 18 (28,1 %) — неопиоидные анальгетики (НПВС, спазмолитики). Во время/после терапии: 14 пациентов (21,9 %) снизили потребление анальгетиков (4 пациента отказались от опиоидов). Усиление боли у 7 пациентов (10,9 %) потребовало усиления анальгезии (2 — опиоиды, 5 — НПВС).

### Когорта пациентов, не завершивших полный курс терапии ( $n = 50$ )

Средний возраст  $69,5 \pm 8,0$  лет (диапазон 52–86 лет). Распределение по количеству полученных введений представлено на рис. 1. 28 пациентов (56,0 %) имели костные метастазы на момент постановки диагноза РПЖ.

Среднее время от постановки диагноза до развития костных метастазов: 30,6 мес. (95 % ДИ 0,00–55,7; диапазон 0–195,7 мес.).

Среднее время от постановки диагноза до начала РНТ  $^{223}\text{Ra}$ : 59,2 мес. (95 % ДИ 24,2–79,4; диапазон 13,8–218,3 мес.).

Причины прекращения терапии:

- Прогрессирование заболевания (48 %) определялось появлением более 2 новых костных очагов или экстраоссальных метастазов на промежуточной ПЭТ/КТ (проводилась при ВУПСА менее 3 мес. в течение двух циклов) или клиническому ухудшению (ЕСОГ 3).
- Неудовлетворительные гематологические показатели (30 %): последующие введения отменялись при уровне  $\text{Hb} < 80$  г/л,  $\text{PLT} < 50 \times 10^9$ /л,  $\text{АЧН} < 1 \times 10^9$ /л или отсутствии восстановления

**Таблица 1. Лабораторные показатели**  
**Table 1. Laboratory parameters**

Показатели		PSA 1, Me	PSA 2, Me	Наклон кривой роста ПСА, нг/мл/мес., Me	LDH 1, Me	LDH 2, Me	ALP 1, Me	ALP 2, Me	Hb1, Me	Hb2, Me
Количество введений	2-5	71,0	85,0	0,32	356,0	261,5	168,5	166,0	121,5	106,5
	6	30,4	40,7	0,12	229,0	229,0	117,0	101,0	131,0	119,0
<i>p</i>		0,001*	< 0,001*	< 0,001*	< 0,001*	0,039*	0,007*	0,003*	0,011*	0,053

Примечание: \* *p* < 0,05; Индекс «1» и «2» — значения показателя перед 1-м и 2-м введениями

Note: \* *p* < 0,05; Index “1” and “2” are the values of the indicator before the 1st and 2nd introductions

показателей к 8-й неделе после предыдущего введения.

- Смерть (12 %): 6 пациентов умерли в промежутке между курсами.
- Другие причины (10 %): обострение сердечно-сосудистых заболеваний (n = 2), экстренное хирургическое вмешательство (n = 1), лечение патологического перелома (n = 1), выявление другого новообразования (n = 1).

Снижение показателей периферической крови (гематологическая токсичность) регистрировалось преимущественно у тех пациентов, у которых еще до начала лечения была диагностирована выраженная недостаточность функции костного мозга. Это состояние было вызвано обширным метастатическим поражением костей, визуализированным с помощью ПЭТ/КТ с ПСМА или остеосцинтиграфии, которое привело к массовому вытеснению и подавлению нормального кроветворения. Следовательно, нельзя утверждать, что данная цитопения была полностью следствием миелосупрессивного действия <sup>223</sup>Ra; ее основной причиной следует считать исходную, связанную с болезнью, несостоятельность красного костного мозга.

АДТ получали 38 пациентов (76,0 %), кроме 12 (24,0 %), которые перенесли предшествующую билатеральную орхидэктомия. Остеомодифицирующая терапия была у 47 пациентов (94,0 %) кроме 3 пациентов (6,0 %), у которых был выявлен остеонекроз нижней челюсти.

На момент начала терапии болевой синдром отмечали 44 пациента (88,0 %). Снижение боли на фоне терапии отметили 22 пациента (44,0 %). Усиление боли отметили 13 пациентов (26,0 %). До терапии 18 пациентов (36,0 %) не требовали анальгезии, 18 (36,0 %) получали опиоиды, 14 (28,0 %) — неопиоидные анальгетики. Снизил потребление анальгетиков 9 пациентов (18,0 %).

Как показывает табл. 1, сравнительный анализ двух групп пациентов (получивших 2–5 и 6 введений препарата) выявил статистически значимые различия по большинству исходных показателей. Группа, завершившая полный курс терапии (6 введений), изначально характеризовалась достоверно более низкими уровнями ПСА, ЛДГ и ЩФ, а так-

же более высокими показателями гемоглобина и меньшей скоростью роста ПСА до начала лечения. Напротив, группа, получившая меньшее количество введений (2–5), имела значительно более высокие исходные уровни опухолевых маркеров и более агрессивный характер течения заболевания.

После проведенного курса терапии у пациентов, получивших 6 введений, наблюдалась статистически значимая положительная динамика по всем ключевым визуализационным и биохимическим параметрам (рис. 2, табл. 2). *SUV*<sub>max</sub> снизился после терапии у 81 % пациентов; *SUV*<sub>mean</sub> снизился у 57,1 %, %ID — у 52,5 %, а aBSI снизился у 59,3 % пациентов.

Наиболее выраженное снижение зафиксировано у показателя, что свидетельствует о значительном уменьшении метаболической активности опухолевых очагов. Тенденция к снижению отмечается также и для остальных количественных показателей уровня накопления остеотропного РФП.

Уровень ПСА, напротив, значимо повысился, что может быть обусловлено феноменом «вспышки» либо прогрессированием заболевания у части пациентов. Концентрация ЩФ имеет тенденцию к снижению, однако это изменение не достигло статистической значимости.

**Таблица 2. Динамика визуализационных и биохимических параметров (у получивших 6 введений)**  
**Dynamics of imaging and biochemical parameters (for those who received 6 injections)**

Показатель Indicator	До лечения Before therapy	После лечения After therapy	<i>p</i> -значение <i>p</i> -value
<i>SUV</i> <sub>max</sub>	57,93 ± 33,95	32,75 ± 14,30	<0,0001
<i>SUV</i> <sub>mean</sub>	3,51 ± 2,06	3,19 ± 2,12	0,18
% ID	16,54 ± 11,84	16,11 ± 12,71	0,74
aBSI	3,59 ± 3,65	3,45 ± 4,03	0,60
PSA (ng/ml)	76,69 ± 211,51	168,97 ± 407,97	0,0014
LDH (U/L)	245,12 ± 77,99	274,87 ± 132,98	0,27
ALP (U/L)	164,25 ± 110,03	140,63 ± 168,67	0,21

Проведенный анализ, включающий всех пациентов, продемонстрировал комплексные взаимосвязи между параметрами количественной ОФЭКТ/КТ, остеосцинтиграфии, биохимическими марке-

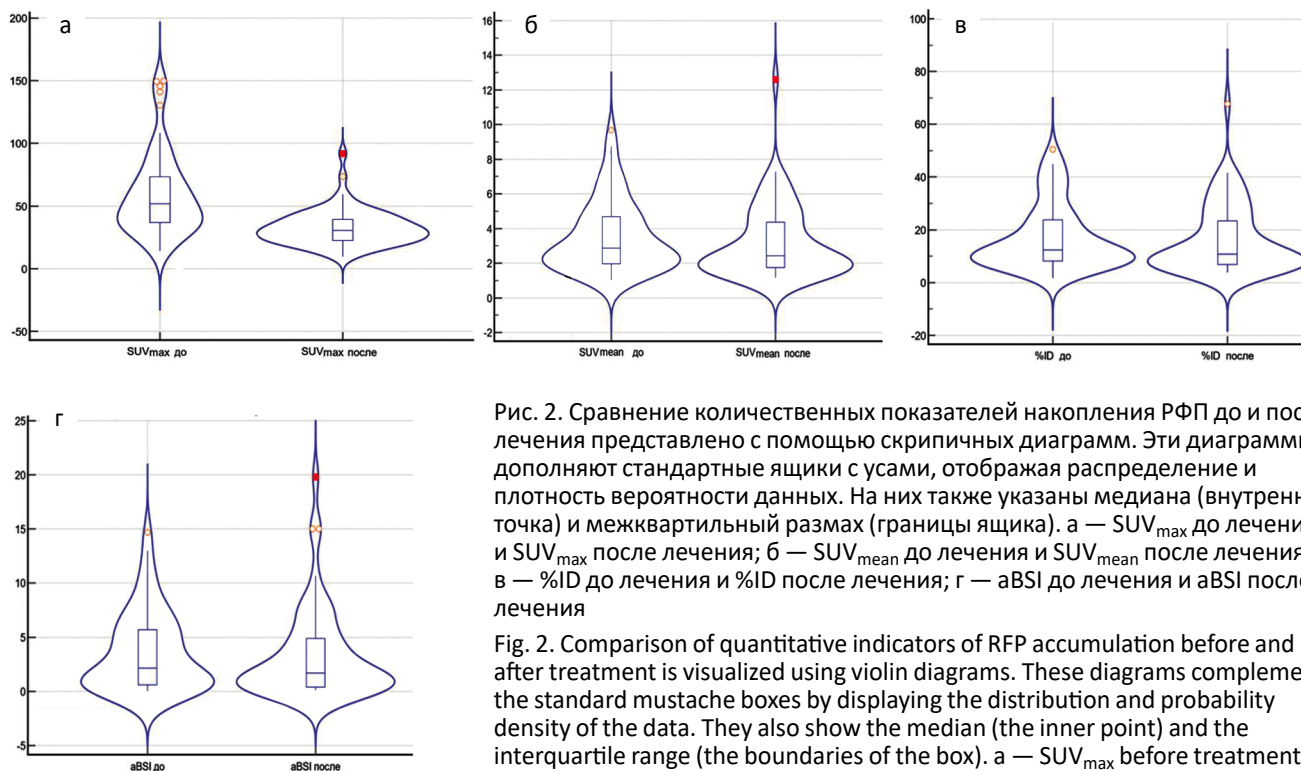


Рис. 2. Сравнение количественных показателей накопления РФП до и после лечения представлено с помощью скрипичных диаграмм. Эти диаграммы дополняют стандартные ящики с усами, отображая распределение и плотность вероятности данных. На них также указаны медиана (внутренняя точка) и межквартильный размах (границы ящика). а —  $SUV_{max}$  до лечения и  $SUV_{max}$  после лечения; б —  $SUV_{mean}$  до лечения и  $SUV_{mean}$  после лечения; в — %ID до лечения и %ID после лечения; г — aBSI до лечения и aBSI после лечения

Fig. 2. Comparison of quantitative indicators of RFP accumulation before and after treatment is visualized using violin diagrams. These diagrams complement the standard mustache boxes by displaying the distribution and probability density of the data. They also show the median (the inner point) and the interquartile range (the boundaries of the box). а —  $SUV_{max}$  before treatment and  $SUV_{max}$  after treatment; б —  $SUV_{mean}$  before treatment and  $SUV_{mean}$  after treatment; в — %ID before treatment and %ID after treatment; г — aBSI before treatment and aBSI after treatment

рами и клиническим состоянием до и во время терапии  $^{223}\text{Ra}$ . Исходный показатель ID% статистически значимо ассоциировался с функциональным статусом пациентов. Значения ID% до лечения достоверно различались в зависимости от показателя по шкале ECOG1 ( $p = 0,003$ ), возрастая с медианой 8,23 [6,77–10,22] при 0 баллах до 16,00 [12,90–31,50] при 2 баллах, а также от показателей по шкале Карновского до лечения ( $p < 0,001$ ) и перед вторым введением ( $p = 0,015$ ). Аналогично для  $SUV_{mean}$  медиана составила 2,28 при ECOG1 0 баллов и 3,57 при 2 баллах ( $p = 0,030$ ) (рис. 3).

Параметры ОФЭКТ/КТ, оцененные после лечения (у получивших 6 введений), такие как  $SUV_{max}$  и  $SUV_{mean}$ , также показали значимые различия в зависимости от шкалы Карновского до лечения ( $p = 0,036$  и  $p = 0,033$  соответственно). Кроме того, была выявлена связь между параметрами визуализации и болевым синдромом: ID% до лечения значимо различался в зависимости от интенсивности боли по ВАШ до ( $p = 0,028$ ) и вида обезболивающей терапии ( $p = 0,010$ ), как и показатели aBSI до и после лечения ( $p = 0,005$  и  $p = 0,025$ ) и  $SUV_{mean}$  после лечения ( $p = 0,044$ ).

Что касается связи с лабораторными маркерами опухолевой нагрузки, параметры визуализации продемонстрировали выраженные корреляции. Значение  $SUV_{mean}$  до лечения имело прямые корреляции умеренной силы с уровнями ПСА, ЛДГ и

ЩФ ( $\rho$  от 0,326 до 0,400,  $p < 0,01$ ). Параметр ID% до лечения был тесно связан с уровнем ЩФ ( $\rho = 0,512$ ,  $p < 0,001$ ). Наиболее сильные корреляции с ЩФ продемонстрировал показатель aBSI до лечения ( $\rho = 0,541$ ,  $p < 0,001$ ) (рис. 4). Наблюдалась слабая обратная корреляция между  $SUV_{max}$  после лечения и процентом изменения ПСА ( $\rho = -0,292$ ,  $p = 0,020$ ). Параметры  $SUV_{mean}$  и ID% после лечения не были значимыми предикторами динамики ПСА, однако проявляли обратную корреляцию с динамикой ЛДГ ( $\rho = -0,289$ ,  $p = 0,042$  и  $\rho = -0,393$ ,  $p = 0,005$ , соответственно) и сохраняли сильные прямые корреляции с абсолютными значениями ЩФ. Параметр aBSI после терапии также продолжал сильно коррелировать с уровнями ЩФ ( $\rho = 0,530$ ,  $p < 0,001$ ).

Важным аспектом исследования явилась оценка связи параметров визуализации с динамикой гематологических показателей. Медиана  $SUV_{mean}$  до лечения была достоверно выше в группе пациентов со снижением гемоглобина (Hb) по сравнению с группой без динамики (3,31 [2,36–5,17] против 2,27 [1,72–3,71],  $p = 0,012$ ) и значимо возрастала в зависимости от степени токсичности по Hb ( $p < 0,001$ ). Аналогично, ID% до лечения был значимо выше у пациентов с более выраженной анемией ( $p < 0,001$ ), увеличиваясь с 8,77 [7,30–13,00] при степени 0 до 26,20 [12,80–31,30] при степени 2. Показатель aBSI до лечения также был ассоциирован со снижением Hb ( $p = 0,033$ ). После лечения параметры  $SUV_{mean}$

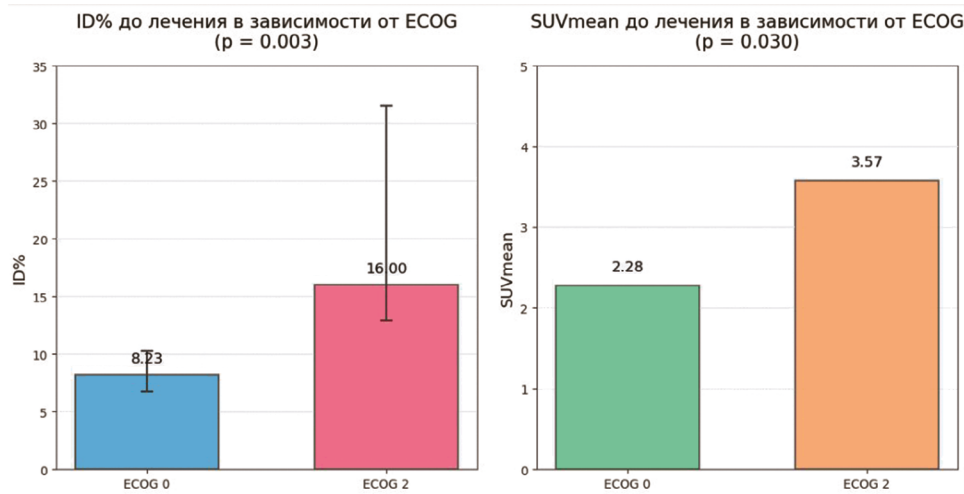


Рис. 3. Взаимосвязь параметров количественной ОФЭКТ/КТ с функциональным статусом по шкале ECOG до терапии <sup>223</sup>Ra

Fig. 3. Interrelation of parameters quantitative SPECT/CT with ECOG functional status before <sup>223</sup>Ra therapy

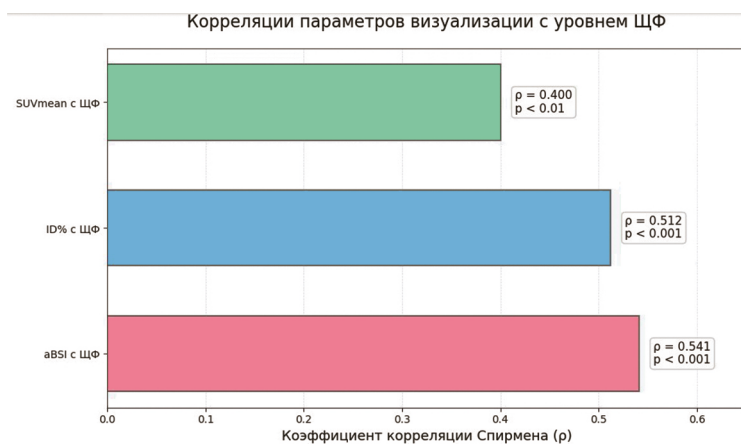


Рис. 4. Корреляционная связь между параметрами количественной ОФЭКТ/КТ и уровнем щелочной фосфатазы (ЩФ) до начала терапии <sup>223</sup>Ra

Fig. 4. Correlation between parameters quantitative SPECT/CT and alkaline phosphatase (ALP) levels before initiation of <sup>223</sup>Ra therapy

и ID% сохранили свою дискриминационную способность в отношении прогнозирования снижения гематологических показателей. Наибольшие значения SUV<sub>mean</sub> и ID% после терапии были ассоциированы с более низкими значениями Hb ( $p < 0,001$  для обоих параметров). Кроме того, оба параметра показали умеренную прогностическую способность в отношении развития тромбоцитопении 1 степени, с оптимальными пороговыми значениями 3,16 для SUV<sub>mean</sub> (чувствительность 62,5 %, специфичность 65,5 %) и 14,00 для ID% (чувствительность 62,5 %, специфичность 63,0 %). Параметр aBSI после терапии также был значимо выше у пациентов с токсичностью по Hb 1 степени ( $p = 0,036$ ).

Таким образом, параметры количественной ОФЭКТ/КТ и сцинтиграфии тесно связаны с функциональным статусом, болевым синдромом, уровнем костной опухолевой нагрузки и, что наиболее существенно, с развитием гематологической токсичности на фоне терапии радием-223, при этом SUV<sub>max</sub> после лечения демонстрирует потенциал в качестве предиктора биохимического ответа.

## Обсуждение

Результаты исследования подтверждают клиническую ценность количественных параметров визуализации — SUV<sub>max</sub>, SUV<sub>mean</sub>, ID% (при ОФЭКТ/КТ) и aBSI (при сцинтиграфии) для мониторинга терапии <sup>223</sup>Ra у пациентов с мКРППЖ. Выявленные тесные корреляции этих параметров с уровнями ЩФ свидетельствуют о том, что они объективно отражают объем и метаболическую активность остеобластических метастазов. Это ключевой аспект для таргетной терапии, направленной на костные поражения. Важно отметить, что количественные показатели значимо коррелируют не только с ЩФ, но и с клиническими параметрами, такими как интенсивность болевого синдрома и потребность в анальгетиках. Снижение уровня ЩФ и болевого синдрома в настоящее время рассматриваются как наиболее точные и воспроизводимые предикторы увеличения выживаемости на фоне лечения <sup>223</sup>Ra [14].

Важным результатом является связь между высокими исходными значениями SUV<sub>mean</sub>, ID% и aBSI и развитием гематологических нарушений. Это позволяет рассматривать количественную

визуализацию в качестве инструмента для предиктивной оценки риска миелосупрессии, что открывает возможности для персонализации терапии и своевременного проведения профилактических мероприятий.

Кроме того, в подгруппе пациентов, не завершивших полный курс терапии, были зафиксированы более высокие исходные уровни ЛДГ, ПСА и ЩФ, что указывает на неблагоприятный прогноз и потенциально меньшую эффективность лечения. Данное наблюдение подчеркивает необходимость ранней стратификации пациентов.

Также обращает на себя внимание тот факт, что у пациентов с более высоким исходным накоплением РФП в метастатических очагах наблюдался более выраженный положительный клинический ответ после курса  $^{223}\text{Ra}$ , что подтверждает роль визуализационных параметров в качестве предикторов эффективности.

Особое значение имеет оценка параметра aBSI, продемонстрировавшего тесную связь с выраженностью болевого синдрома и функциональным статусом. Это позволяет использовать его не только как индикатор объема костных метастазов, но и как интегральный показатель влияния заболевания на качество жизни. В нашем исследовании снижение aBSI сопровождалось улучшением клинических показателей и уменьшением потребности в анальгетиках, что подтверждает клиническую значимость данного параметра.

Следует подчеркнуть, что точность оценки исходной распространенности процесса и, как следствие, адекватность отбора кандидатов для терапии  $^{223}\text{Ra}$ , критически зависят от данных ПСМА-ПЭТ/КТ. Этот метод позволяет исключить пациентов с висцеральными метастазами и значительным лимфогенным распространением.

Несмотря на значительный опыт применения  $^{223}\text{Ra}$ , все еще нет единого мнения о месте этой терапии в алгоритме лечения пациентов с костными метастазами РПЖ [15, 16]. Чтобы найти оптимальный метод, нужны новые, более тщательные исследования, которые исключат посторонние факторы, влияющие на результат.

Важно отметить, что клинические, лабораторные и визуализационные предикторы общей выживаемости у пациентов с мКРРПЖ, получавших терапию  $^{223}\text{Ra}$ , в большинстве случаев отличаются от таковых у пациентов, перенесших ПСМА-таргетную радиолигандную терапию [17]. С патофизиологической точки зрения это расхождение, вероятно, отражает различие биологических механизмов и терапевтических мишеней. В то время как  $^{223}\text{Ra}$  оказывает действие только в зонах повышенного костного метаболизма, ПСМА-таргетная РНТ доставляет радиолиганды в любые ткани, экспресси-

рующие ПСМА. С клинической точки зрения, понимание этих различий необходимо для оптимизации отбора пациентов и персонализации лечения.

Таким образом, данное исследование демонстрирует важность комплексного подхода к оценке эффективности терапии  $^{223}\text{Ra}$ , включающего визуализационные, лабораторные и клинические параметры. Интеграция количественных методов ОФЭКТ/КТ и сцинтиграфии в рутинную практику открывает возможности для персонализации терапии, оптимизации мониторинга, повышения объективности оценки ответа и улучшения взаимодействия между специалистами ядерной медицины, онкологами и урологами.

## Выводы

1. Количественные параметры ОФЭКТ/КТ ( $\text{SUV}_{\text{max}}$ ,  $\text{SUV}_{\text{mean}}$ , %ID) и сцинтиграфии (aBSI) являются объективными маркерами эффективности костнонаправленной РНТ и отражают динамику метаболической активности костных метастазов.

2. Функциональное состояние пациента, оцениваемое по шкалам ECOG и Карновского, достоверно связано с биохимическими и количественными показателями, а также с выраженностью болевого синдрома. Динамика этих шкал должна включаться в стандартизированный мониторинг хода терапии.

3. ПЭТ/КТ с ПСМА-лигандами является необходимым методом для отбора пациентов, поскольку позволяет выявлять внекостные метастазы, для исключения пациентов с висцеральным распространением, для которых  $^{223}\text{Ra}$  не рекомендован. По завершении терапии проведение ПЭТ/КТ с ПСМА позволяет оценить истинную распространенность заболевания, однако не в полной мере подходит для оценки эффективности терапии  $^{223}\text{Ra}$ .

4. Комплексный мультипараметрический подход, включающий лабораторные, визуализационные и клинические критерии, позволяет более точно оценивать эффективность терапии, прогнозировать исход лечения и формировать индивидуализированные лечебные стратегии для пациентов с мКРРПЖ.

## Список литературы / References

1. Bubendorf L, Schöpfer A, Wagner U, et al. Metastatic patterns of prostate cancer: an autopsy study of 1589 patients. *Hum Pathol.* 2003;31:578-83. <https://doi.org/10.1053/hp.2000.6698>
2. Boopathi E, Birbe R, Shoye SA, et al. Bone health management in the continuum of prostate cancer disease. *Cancers.* 2022;14:4305. <https://doi.org/10.3390/cancers14174305>.
3. Parker C, Nilsson S, Heinrich D, et al. Alpha emitter radium-223 and survival in metastatic prostate cancer. *N Engl J Med.* 2013;369:213-23. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1213755>.
4. Parker CC, Coleman RE, Sartor O, et al. Three-year safety of radium-223 dichloride in patients with castration-resistant prostate cancer and symptomatic bone metastases from phase 3 randomized alphasradin in symptomatic prostate cancer trial. *Eur Urol.* 2018;73:427-35. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2017.06.021>.

5. Nilsson S, Cislo P, Sartor O, et al. Patient-reported quality-of-life analysis of radium-223 dichloride from the phase III ALSYMPCA study. *Ann Oncol.* 2016;27:868-74. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdw065>.
6. Sartor O, Coleman R, Nilsson S, et al. Effect of radium-223 dichloride on symptomatic skeletal events in patients with castration-resistant prostate cancer and bone metastases: results from a phase 3, double-blind, randomised trial. *Lancet Oncol.* 2014;15:738-46. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(14\)70183-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(14)70183-4).
7. Gillissen S, Attard G, Beer TM, et al. Management of patients with advanced prostate cancer: report of the Advanced Prostate Cancer Consensus Conference 2019. *Eur Urol.* 2020;77:508-47. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2020.01.012>.
8. Moreira HMR, Guerra Liberal FDC, et al. Mechanistic Modeling of Radium-223 Treatment of Bone Metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2019;103(5):1221-30. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2018.12.015>.
9. Hindorf C, Chittenden S, Aksnes AK, Parker C, Flux GD. Quantitative imaging of <sup>223</sup>Ra-chloride (Alpharadin) for targeted alpha-emitting radionuclide therapy of bone metastases. *Nucl Med Commun.* 2012;33(7):726-32. <https://doi.org/10.1097/MNM.0b013e328353b66e>.
10. Pacilio M, Ventroni G, De Vincentis G, et al. Dosimetry of bone metastases in targeted radionuclide therapy with alpha-emitting (<sup>223</sup>Ra)-dichloride. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2016;43(1):21-33. <https://doi.org/10.1007/s00259-015-3150-2>.
11. Николаева ЕА, Крылов АС, Рыжков АД и др. Количественная оценка методом ОФЭКТ/КТ эффективности радионуклидной терапии хлоридом радия-223 костных метастазов при метастатическом кастрационно-резистентном раке предстательной железы. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2022;5(3):29-42.  
Nikolaeva EA, Krylov AS, Ryzhkov AD, et al. Quantitative assessment by SPECT/CT of the efficacy of radionuclide therapy with radium-223 chloride for bone metastases in metastatic castration-resistant prostate cancer. *Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy.* 2022;5(3):29-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2022-5-3-29-42>
12. Николаева ЕА, Крылов АС, Рыжков АД и др. Количественная однофотонная эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с компьютерной томографией, в оценке эффективности терапии дихлоридом радия-223. Онкоурология. 2024;20(2):74-86.  
Nikolaeva EA, Krylov AS, Ryzhkov AD, et al. Quantitative single-photon emission computed tomography/computed tomography in the evaluation of the efficacy of radium-223 dichloride therapy. *Oncourlogy.* 2024;20(2):74-86. (In Russ.).
13. Николаева ЕА, Крылов АС, Рыжков АД, Прохоров С.Н. Количественная оценка эффективности терапии хлоридом радия-223 по данным остеосцинтиграфии. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2025;8(1):36-43.  
Nikolaeva EA, Krylov AS, Ryzhkov AD, Prokhorov SN. Quantitative assessment of the efficacy of radium-223 chloride therapy based on bone scintigraphy data. *Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy.* 2025;8(1):36-43. (In Russ.).
14. O'Sullivan JM, Heinrich D, Castro E, et al. Alkaline phosphatase decline and pain response as predictors of overall survival benefit in patients treated with radium-223: a post hoc analysis of the REASSURE study. *Br J Cancer.* 2025;132(4):354-60. <https://doi.org/10.1038/s41416-024-02927-w>.
15. Alverbratt C, Sandin F, Kolmbäck V, et al. Radium-223 use and survival by line of treatment in metastatic castration-resistant prostate cancer: a nationwide population-based register study. *Acta Oncol.* 2025;64:1391-403. <https://doi.org/10.2340/1651-226X.2025.43794>.
16. De Feo MS, Filippi L, Bauckneht M, et al. Large Italian Multicenter Study on Prognostic Value of Baseline Variables in mCRPC Patients Treated with <sup>223</sup>RaCl<sub>2</sub>: Ten Years of Clinical Experience. *Diagnostics (Basel).* 2025;15(3):339. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15030339>.
17. Herrmann K, Gafita A, de Bono JS, et al. Multivariable Models of Outcomes with [<sup>177</sup>Lu]Lu-PSMA-617: Analysis of the Phase 3 VISION Trial. *EclinicalMedicine.* 2024;77:102862. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2024.102862>.

#### Information about the authors

Ekaterina A. Nikolaeva, <https://orcid.org/0000-0002-7954-2560>  
Alexander S. Krylov, <https://orcid.org/0000-0002-8476-7879>  
Alexey A. Ryzhkov, <https://orcid.org/0000-0002-9571-801X>  
Sergey N. Prokhorov, <https://orcid.org/0000-0002-8668-0945>

#### Вклад авторов

Николаева Е.А., Крылов А.С.: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, анализ полученных данных, написание текста статьи, редактирование финальной версии рукописи; Рыжков А.Д., Прохоров С.Н.: получение данных для анализа, анализ полученных данных, написание текста статьи.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета получено.

**Информированное согласие.** Пациенты подписали информированное согласие на публикацию данных.

**Поступила:** 05.12.2025.

**Принята к публикации:** 19.01.2026.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

#### Authors' contributions

Nikolaeva E.A., Krylov A.S.: development of study design, obtaining data for analysis, analysis of the data obtained, writing the text of the article, editing the final version of the manuscript; Ryzhkov A.D., Prokhorov S.N.: obtaining data for analysis, analysis of the data obtained, writing the text of the article.

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** Not declared.

**Ethical compliance.** Approved by the ethical committee.

**Informed consent.** The patients signed informed consent for the publication of the data.

**Received:** 05.12.2025.

**Accepted for publication:** 19.01.2026.

**Published online:** 26.03.2026.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАММОСЦИНТИГРАФИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕОАДЪЮВАНТНОЙ ХИМИОТЕРАПИИ У БОЛЬНЫХ АГРЕССИВНЫМИ БИОЛОГИЧЕСКИМИ ПОДТИПАМИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Хорошавина А.А., Новиков С.Н., Крживицкий П.И., Жукова Л.А., Попова Н.С.,  
Брянцева Ж.В., Акулова И.А., Криворотко П.В., Канаев С.В.

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова Минздрава России;  
Россия, 197758, г. Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68

✉ Хорошавина Алина Алексеевна, horoshavina-lina-yan@yandex.ru, +79293341121

### РЕФЕРАТ

**Цель:** Определить возможности использования маммосцинтиграфии (МСГ) с радиофармпрепаратом  $^{99m}\text{Tc}$ -метокси-изобутил-изонитрил ( $^{99m}\text{Tc}$ -МИБИ) для оценки эффективности неoadъювантной химиотерапии (НАХТ) рака молочной железы (РМЖ) у пациенток с трижды негативным и HER2 позитивным биологическими подтипами.

**Материалы и методы:** В исследование ретроспективно были включены 93 больные с морфологически верифицированным трижды негативным и HER2 позитивным раком молочной железы, которые получали неoadъювантную химиотерапию в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова в период с 2011 по 2018 гг. Маммосцинтиграфия была выполнена до начала лечения, после 2–3 и/или после 4–6 циклов НАХТ. Полученные данные были сопоставлены с результатами морфологического исследования операционного материала с установлением степени патоморфологического ответа опухоли по классификации Miller-Payne.

**Результаты:** В целом, чувствительность и специфичность маммосцинтиграфии при диагностике полного ответа опухоли после завершения НАХТ были равны 83 % и 92 % соответственно. У больных с трижды негативным и HER2 положительным РМЖ чувствительность и специфичность составили 87 % и 92 %; 78 % и 91 % соответственно. При достижении полного скнтиграфического ответа (V степень) после проведения 2–3 циклов НАХТ специфичность и точность положительных заключений маммосцинтиграфии достигли 100 % для обоих изученных подтипов РМЖ.

**Выводы:** Полученные результаты указывают на высокие диагностические возможности маммосцинтиграфии в определении полного патоморфологического регресса опухоли после завершения НАХТ.

**Ключевые слова:** маммосцинтиграфия, неoadъювантная химиотерапия, рак молочной железы, трижды негативный, HER2 позитивный

**Для цитирования:** Хорошавина А.А., Новиков С.Н., Крживицкий П.И., Жукова Л.А., Попова Н.С., Брянцева Ж.В., Акулова И.А., Криворотко П.В., Канаев С.В. Использование маммосцинтиграфии для оценки эффективности неoadъювантной химиотерапии у больных агрессивными биологическими подтипами рака молочной железы. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):33-42.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-33-42>

## MAMMOSCINTIGRAPHY IN PATIENTS WITH AGGRESSIVE BIOLOGICAL SUBTYPES OF BREAST CANCER: ASSESSMENT OF RESPONSE TO NEOADJUVANT CHEMOTHERAPY

Alina A. Khoroshavina, Sergey N. Novikov, Pavel I. Krzhivitskiy, Lyudmila A. Zhukova, Nadezhda S. Popova,  
Zhanna V. Bryantseva, Irina A. Akulova, Petr V. Krivorotko, Sergey V. Kanaev

N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; 68 Leningradskaya St., Pesochny settlement, St. Petersburg, 197758, Russia

✉ Alina Alekseevna Khoroshavina, horoshavina-lina-yan@yandex.ru, +79293341121

### ABSTRACT

**Purpose:** To determine the diagnostic performance of mammoscintigraphy (SMG) with the  $^{99m}\text{Tc}$ -methoxy-isobutyl-isonitrile ( $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI) when used for assessment of the response to neoadjuvant chemotherapy (NACT) in patients with triple-negative and HER2-positive breast cancer (BC).

**Materials and methods:** This retrospective study included 93 patients with morphologically verified triple-negative and HER2-positive breast cancer who received NACT between 2011 and 2018. Mammoscintigraphy was performed before treatment, after 2–3 and/or after 4–6 cycles of NACT. Diagnostic conclusions of SMG were compared with the results of morphological examination after surgical treatment at the end of NACT. The degree of pathological response to NACT was evaluated according to the Miller-Payne classification.

**Results:** Overall, the sensitivity and specificity of SMG in predicting of complete pathologic tumor response after the completion of NACT were 83 % and 92 %, respectively. In patients with triple-negative and HER2-positive BC, sensitivity and specificity were 87 % and 92 %; 78 % and 91 %, respectively. When a complete scintigraphic response (grade V) was achieved after 2–3 cycles of NACT, the specificity and positive predictive value of SMG reached 100 % for both aggressive BC subtypes.

**Conclusions:** The obtained results indicate the high diagnostic potential of SMG in predicting complete pathological tumor response to the NACT. Exceptional specificity and positive predictive value of SMG in the middle of the NACT make it promising tool in selection of BC patients for surgery de-escalation/elimination

**Keywords:** mammoscintigraphy, neoadjuvant chemotherapy, breast cancer, surgery de-escalation

**For citation:** Khoroshavina A.A., Novikov S.N., Krzhivitskiy P.I., Zhukova L.A., Popova N.S., Bryantseva Zh.V., Akulova I.A., Krivorotko P.V., Kanaev S.V. Mammoscintigraphy in Patients with Aggressive Biological Subtypes of Breast Cancer: Assessment of Response to Neoadjuvant Chemotherapy. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):33-42. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-33-42>

**Таблица 1. Информативность различных методов диагностики ответа опухоли молочной железы на неоадьювантную химиотерапию****Table 1. Diagnostic performance various methods used for prediction of breast tumor response to neoadjuvant chemotherapy**

Автор	Год	Вид исследования	Число больных	Se, %	Sp, %	PVP, %	PVN, %
Baumgartner A, et al [6]	2018	УЗИ	124	60,8	78,0	—	—
Park J, et al [7]	2018	УЗИ	50	22,2	95,2	50,0	85,1
Park J, et al [7]	2018	МГ	50	44,7	97,6	85,7	93,2
Park J, et al [7]	2018	МРТ	50	77,8	97,6	87,5	95,3
Kim S, et al [20]	2019	МРТ	114	83,3	60,0	—	—
Hunt KN, et al [23]	2019	МРТ	90	82,8	69,4	81,4	71,4
Mghanga FP, et al [8]	2013	ПЭТ/КТ	745	80,5	78,8	79,8	79,5

**Примечание:** Se — чувствительность; Sp — специфичность; PVP — положительная прогностическая ценность; PVN — отрицательная прогностическая ценность

**Note:** Se — sensitivity; Sp — specificity; PPV — positive predictive value; NPV — negative predictive value

## Введение

Быстрое развитие молекулярной биологии привело к созданию эффективного персонализированного подхода в онкологии, основанного на выявлении индивидуальных молекулярно-биологических характеристик злокачественной опухоли. Применение неоадьювантной химиотерапии (НАХТ), дополненной современной таргетной терапией и/или иммунотерапией, привело к существенному улучшению результатов лечения больных раком молочной железы (РМЖ). Сегодня у больных с агрессивными трижды негативным (TN) и HER2 позитивным (HER2+) подтипами РМЖ проведение современных схем НАХТ более чем в половине случаев (55–80 %) позволяет добиться полного патоморфологического ответа (pCR) как первичной опухоли, так и пораженных лимфатических узлов (категории  $ypN_0/Tis\ ypN_0$ ) [1, 2]. При этом установлено, что в случае достижения pCR у больных существенно снижается риск прогрессирования заболевания, увеличивается общая выживаемость и шансы на проведение менее инвазивных органосохраняющих оперативных вмешательств как на молочной железе, так и в подмышечной зоне [3].

Более того, в последние годы у больных РМЖ с достигнутым полным ответом все чаще предпринимаются попытки дальнейшей деэскалации и отказа от хирургического этапа лечения, который в большей степени становится ориентированным на подтверждение статуса pCR [4]. Одним из вариантов для установления pCR после завершения НАХТ является вакуум-аспирационная биопсия (ВАБ) ложа опухоли [1, 5]. Однако ограниченный объем удаленных тканей ложа опухоли, сложность в навигации после проведения НАХТ, пространственная неоднородность остаточной опухолевой ткани и затруднение морфологического анализа приводят к рискам ложноположительных результатов. По этой причине клинически важной задачей является поиск эффективных инструментальных методов неин-

вазивной диагностики полного регресса опухоли, которые помогут уменьшить риск неправильной оценки ответа опухоли при ВАБ и создадут условия для более обоснованного отказа от хирургического этапа лечения у больных РМЖ, достигнувших полного клинического ответа.

К сожалению, изучение диагностических возможностей таких инструментальных методов исследования как МРТ, УЗИ и ПЭТ-КТ с  $^{18}F$ -ФДГ указывает на высокий риск получения ложноположительных заключений при выявлении pCR у больных РМЖ после проведения НАХТ — МРТ, УЗИ или ПЭТ/КТ признаки полного ответа опухоли при наличии остаточных опухолевых клеток по данным морфологии [6–9]. Показатели информативности различных методов диагностики полного ответа опухоли молочной железы на неоадьювантную химиотерапию представлены в табл. 1.

В этой связи изучение диагностических возможностей маммосцинтиграфии (МСГ) с использованием доступного туморотропного РФП чрезвычайно актуально. Так, уже в начале XXI века были представлены исследования, показавшие перспективность использования методов радионуклидной визуализации РМЖ с помощью туморотропного препарата  $^{99m}Tc$ -метокси-изобутил-изонитрил ( $^{99m}Tc$ -МИБИ) в оценке ответа опухоли на проведенную НАХТ [10–13]. Представленные результаты этих исследований имели ряд существенных недостатков, ограничивающих возможности их клинического применения: отсутствие четких диагностических критериев полного ответа, разнородность групп, представленных больными с различными биологическими подтипами РМЖ. В то же время важным, в том числе для деэскалации хирургического лечения, является вопрос о возможностях использования маммосцинтиграфии для диагностики полного ответа агрессивных подтипов РМЖ на проводимую НАХТ [14, 15].

В связи с этим, нами был проведен ретроспективный анализ возможностей использования

маммосцинтиграфии в диагностике pCR у больных TN и HER2+ РМЖ. При этом оценку информативности метода в диагностике полного ответа проводили с помощью различных диагностических критериев после 2–3 циклов НАХТ, а также после завершения лекарственного лечения.

## Материалы и методы

В ретроспективное исследование включены данные 93 больных РМЖ с трижды негативным и HER2 позитивным молекулярно-биологическими подтипами, получивших неoadъювантную химиотерапию в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова с 2011 по 2018 годы. Средний возраст пациентов составил  $49,7 \pm 11,2$  лет. Обязательным критерием включения в исследование был морфологически верифицированный диагноз РМЖ, при этом гистологическое и иммуногистохимическое (ИГХ) исследования проводились до начала терапии и после хирургического лечения. Биологические свойства и подтипы опухоли определялись ИГХ методом: экспрессия рецепторов к эстрогену (ER) и прогестерону (PR), статус белка HER2+, индекс пролиферативной активности Ki-67. В исследование были включены больные с наиболее агрессивными молекулярно-биологическими подтипами РМЖ: трижды негативным (отсутствие экспрессии рецепторов ER, PR и HER2) и HER2 положительным не люминальным (отсутствие рецепторов ER и PR и гиперэкспрессия HER2). Трижды негативный и HER2 положительный РМЖ был выявлен у 68 (73,1 %) и 25 (26,9 %) больных соответственно.

Распространенность злокачественной опухоли оценивали согласно международной классификации по системе TNM, а также по общепринятому стадированию опухолевого процесса. В исследуемой нами группе IIA и IIB стадии были выявлены у 24 (26,7 %) и 18 (20,0 %) больных соответственно, IIIA стадия — у 24 (26,7 %), IIIB — у 19 (21,1 %), IIIC и IV стадии — у 4 (4,4 %) и 1 (1,1 %) женщин соответственно. Больных с I стадией опухолевого процесса в исследованной группе выявлено не было.

До начала неoadъювантной химиотерапии маммосцинтиграфия была выполнена у всех 93 больных, вошедших в анализ. Из них у 54 женщин маммосцинтиграфия была выполнена после 2–3 и после 4–6 циклов НАХТ, у 19 человек — только после 2–3 циклов НАХТ и у оставшихся 20 больных — только после 4–6 циклов НАХТ. Всем пациенткам внутривенно в вену одной из стоп вводили 740 МБк туморотропного радиофармпрепарата (РФП)  $^{99m}\text{Tc}$ -МИБИ ( $^{99m}\text{Tc}$ -технетрил, Диамед, Москва).

Планарную сцинтиграфию молочных желез проводили через 10–15 минут после введения РФП на эмиссионном компьютерном томографе Forte (Philips), с двумя детекторами, снабженными

низкоэнергетическими коллиматорами общего назначения. Во всех случаях сканирование осуществлялось в планарном режиме в передней и в боковой проекциях. При исследовании молочных желез в передней проекции пациентка располагалась лежа на спине, детекторы — горизонтально, вплотную к молочным железам. При сканировании в боковой проекции положение пациентки лежа на животе, детекторы располагались вертикально (под углом 90 и 270 градусов). Для исключения наложения изображений молочных желез друг на друга между ними была помещена специальная подушка со свинцовым вкладышем. При невозможности выполнения исследования на животе проводили сцинтиграфию каждой молочной железы в боковой проекции.

Анализ и обработку результатов проведенной маммосцинтиграфии проводили согласно основным принципам оценки сцинтиграфических изображений молочных желез, которые были изложены нами ранее [15, 16]. Оценка полученных сцинтиграмм осуществлялась на специализированной рабочей станции двумя врачами-радиологами. Критериями оценки являлись наличие или отсутствие очагов патологической гиперфиксации РФП в молочных железах и интенсивность накопления РФП. Для оценки эффективности противоопухолевой терапии была проведена визуальная оценка динамики маммосцинтиграфических изображений, по результатам которой больным присваивалась одна из следующих степеней:

- I степень (прогрессирование): увеличение сцинтиграфических размеров очага патологической гиперфиксации РФП и/или увеличение уровня накопления РФП;
- II степень (стабилизация): отсутствие выраженной динамики маммосцинтиграфической картины;
- III степень (частичный ответ): уменьшение размеров очага патологической гиперфиксации РФП и/или снижение накопления РФП;
- IV степень (выраженный регресс): сохранение незначительно повышенного накопления РФП в проекции первичного очага;
- V степень (полный регресс) отсутствие очагов патологической гиперфиксации РФП.

Полученные при маммосцинтиграфии данные сравнивали с результатами морфологического исследования операционного материала после хирургического лечения с установлением степени патоморфологического ответа опухоли по классификации Miller-Payne («золотой стандарт»). В классификации выделяли 5 степеней лечебного патоморфоза:

- I степень — малозаметные изменения отдельных опухолевых клеток, без уменьшения их количества;

- II степень — незначительное уменьшение числа опухолевых клеток (< 30 %);
- III степень — снижение количества опухолевых клеток от 30 % до 90 %;
- IV степень — выраженное снижение опухолевых клеток более чем на 90 %;
- V степень — отсутствие опухолевых клеток в ложе первичной опухоли.

При статистической обработке полученных данных формирование базы данных, обработка и графическое представление полученных результатов осуществлялось в программе Microsoft Excel. Данные возраста больных в выборке были проверены на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка, при этом распределение не отличалось от нормального ( $p > 0,05$ ). Таким образом, в качестве описательных статистик были рассчитаны среднее значение и стандартное отклонение.

Для определения возможностей использования МСГ в оценке ответа опухоли молочной железы на проведение НАХТ были рассчитаны стандартные показатели информативности метода: чувствительность, специфичность, точность, положительная и отрицательная прогностическая ценность, а также доверительные интервалы для каждого из показателей.

Истинно-положительным результатом считалось отсутствие очагов патологической гиперфиксации РФП при МСГ (V степень) или незначительное остаточное накопление РФП в проекции первичного очага при сканировании через 2–3 цикла НАХТ (IV степень) в сочетании с полным патоморфологическим регрессом опухоли по данным гистологического исследования. При истинно-отрицательном результате полный регресс опухоли не был достигнут ни по данным МСГ, ни по данным морфологического исследования операционного материала (в молочной железе сохранялась патологическая гиперфиксация РФП на сцинтиграммах, что сопровождалось наличием опухолевых клеток при патоморфологическом исследовании). В случае обнаружения в операционном материале резидуальной опухоли при сцинтиграфической картине полного ответа, ее результат признавался ложноположи-

тельным. Ложноотрицательным результатом считалось наличие патологической гиперфиксации РФП в молочной железе при отсутствии морфологических признаков остаточной опухолевой ткани после завершения НАХТ.

Для каждого показателя был рассчитан доверительный интервал (ДИ), который с заданным уровнем достоверности указывает диапазон значений, в котором находится статистический показатель в генеральной совокупности. Доверительные интервалы были рассчитаны с 95 % уровнем достоверности.

### Результаты

Из 93 изученных нами больных у 73 (78,5 %) была выполнена МСГ после 2–3 циклов НАХТ, при этом лишь в одном случае (1,4 %) была выявлена сцинтиграфическая картина прогрессирования. У большинства пациенток по данным МСГ был установлен частичный ответ или стабилизация опухолевого процесса: 33 (45,2 %) и 19 (26,0 %) случаев соответственно. При проведении МСГ после 2–3 циклов НАХТ за полный ответ были приняты IV и V степени сцинтиграфического регресса, которые были выявлены у 11 (15,1 %) и 9 (12,3 %) больных соответственно.

После 4–6 циклов НАХТ МСГ была проведена у 74 (79,6 %) больных. Ни у одной из обследованных в этой группе не было выявлено сцинтиграфической картины прогрессирования. По данным МСГ стабилизация была установлена в 16 (21,6 %) случаях, частичный ответ в 19 (25,7 %) и выраженный ответ в 16 (21,6 %) случаях. После окончания неoadъювантного лечения полный ответ устанавливался только при достижении V степени сцинтиграфического регресса, которая была диагностирована у 23 пациенток (31,1 %).

Результаты оценки эффективности неoadъювантной противоопухолевой терапии с помощью маммосцинтиграфии представлены на диаграммах (рис. 1).

По данным гистологического исследования операционного материала, полный патоморфологический регресс опухоли был выявлен у 31 (33,3 %)

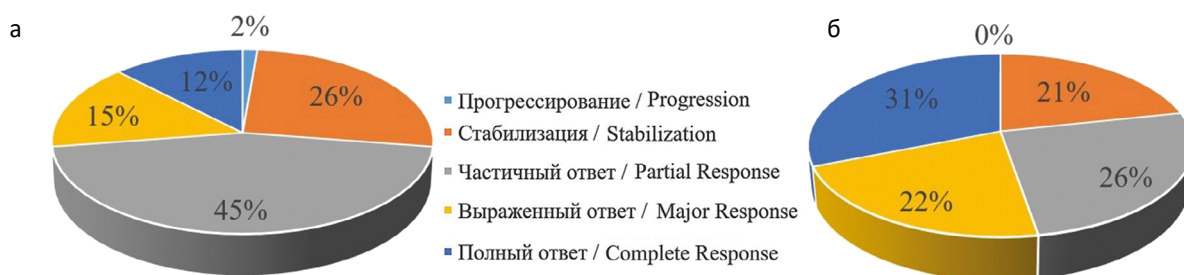


Рис. 1. Ответ опухоли по данным маммосцинтиграфии: а — после 2–3 циклов неoadъювантной химиотерапии; б — после 4–6 циклов неoadъювантной химиотерапии

Fig. 1. Tumor response according to mammoscintigraphy: а — after 2–3 cycles of neoadjuvant chemotherapy; б — after 4–6 cycles of neoadjuvant chemotherapy

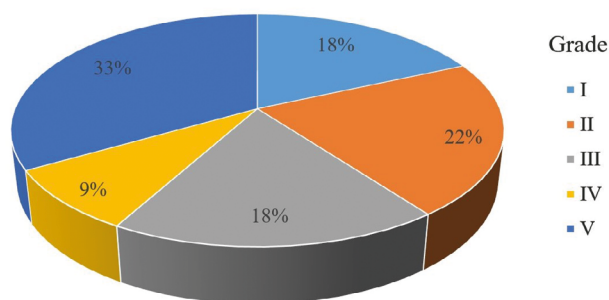


Рис. 2. Степень лечебного патоморфоза по классификации Miller-Payne у больных раком молочной железы после завершения неoadъювантной химиотерапии (n = 93)

Fig. 2. Breast cancer pathologic response to neoadjuvant chemotherapy according to the Miller-Payne classification (n = 93)

больной. Выраженность патоморфологического ответа опухоли в соответствии с полуколичественной классификацией Miller-Payne представлена на диаграмме (рис. 2).

При сопоставлении полученных результатов МСГ, проведенной после 2–3 циклов НАХТ, с результатами морфологического исследования операционного материала после завершения НАХТ, 15 случаев были истинно-положительными (20,6 %), 45 — истинно-отрицательными (61,6 %), 5 — ложноположительными (6,9 %) и 8 — ложноотрицательными (10,9 %).

При проведении МСГ после окончания неoadъювантной химиотерапии и сопоставлении полученных результатов с данными морфологического исследования, 20 случаев было истинно-положительными (27,0 %), 46 — истинно-отрицательными (62,2 %), 4 — ложноположительными (5,4 %) и 4 — ложноотрицательными (5,4 %).

Для каждой группы исследований (после 2–3 и 4–6 циклов НАХТ) нами были рассчитаны показатели чувствительности, специфичности, точности, положительной и отрицательной прогностической ценности с 95 % ДИ (табл. 2).

Важно отметить, что у больных, имевших скинтиграфическую картину прогрессирования и стабилизации на ранних этапах НАХТ (1 и 19 случаев

из 73 соответственно) после окончания лечения ни в одном случае не был обнаружен полный патоморфологический регресс опухоли. Из 33 больных с частичным ответом по данным МСГ после 2–3 циклов НАХТ, лишь у 8 женщин после окончания неoadъювантной химиотерапии в гистологическом материале отсутствовали опухолевые клетки, что составило 24,2 %. Можно предположить, что проведение МСГ на ранних этапах лечения (после 2–3 циклов НАХТ) может помочь в прогнозировании патоморфологического ответа после окончания терапии и ставит вопрос о необходимости коррекции схемы лечения.

Поскольку молекулярно-биологические подтипы РМЖ существенно различаются по своим клиничко-морфологическим характеристикам, что имеет важное значение в определении тактики лечения и прогноза исходов заболевания, нами были изучены возможности использования МСГ для оценки эффективности противоопухолевой терапии у больных с двумя наиболее агрессивными биологическими подтипами РМЖ.

Среди больных, прошедших МСГ на ранних этапах неoadъювантного лечения, 53 женщины (72,6 %) имели трижды негативный и 20 (27,4 %) — HER2 положительный нелюминальный биологический подтип РМЖ. На рисунке представлена гистограмма, демонстрирующая ответ опухоли после 2–3 циклов НАХТ по данным МСГ у больных с различными биологическими подтипами РМЖ (рис. 3). В группах больных с HER2+ и трижды негативным биологическими подтипами РМЖ доля пациентов со скинтиграфической картиной полного ответа составила 40,0 % и 22,6 % соответственно.

После окончания НАХТ скинтиграфическое исследование молочных желез выполнено у 54 (73,0 %) больных с трижды негативным и 20 (27,0 %) — с HER2 положительным нелюминальным биологическим подтипом РМЖ. Гистограмма скинтиграфического ответа опухоли после окончания НАХТ у больных с различными биологическими подтипами РМЖ представлена на рисунке (рис. 4). В группах с HER2+ и трижды негативным подтипами РМЖ доля больных, имевших скинтиграфиче-

Таблица 2. Показатели информативности маммосцинтиграфии в оценке ответа опухоли на терапию  
Table 2. Diagnostic performance of mammoscintigraphy in predicting complete pathologic response to neoadjuvant chemotherapy

Показатель	Проведение МСГ после 2–3 циклов НАХТ	Проведение МСГ после 4–6 циклов НАХТ
Чувствительность (Se), % [95 % ДИ]	65,2 [53,8; 75,1]	83,3 [73,3; 90,1]
Специфичность (Sp), % [95 % ДИ]	90,0 [81,0; 95,0]	92,0 [83,6; 96,3]
Точность (Ac), % [95 % ДИ]	82,2 [71,9; 89,3]	89,2 [80,1; 94,4]
Положительная прогностическая ценность (PVP), % [95 % ДИ]	75,0 [64,0; 83,5]	83,3 [73,3; 90,1]
Отрицательная прогностическая ценность (PVN), % [95 % ДИ]	84,9 [75,0; 91,4]	92,0 [83,6; 96,3]

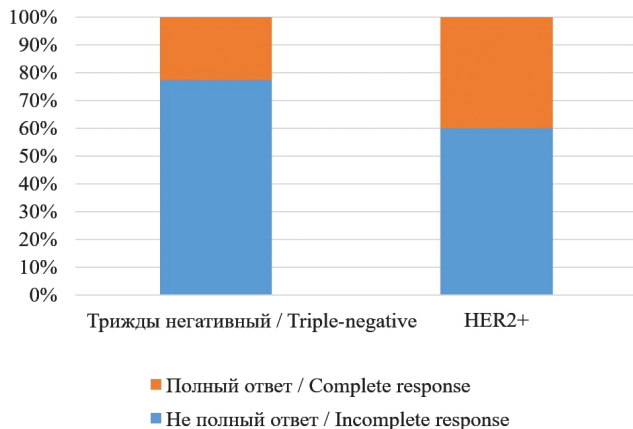


Рис. 3. Ответ опухоли после 2–3 циклов неoadъювантной химиотерапии по данным маммосцинтиграфии

Fig. 3. Tumor response after 2–3 cycles of neoadjuvant chemotherapy according to mammoscintigraphy data

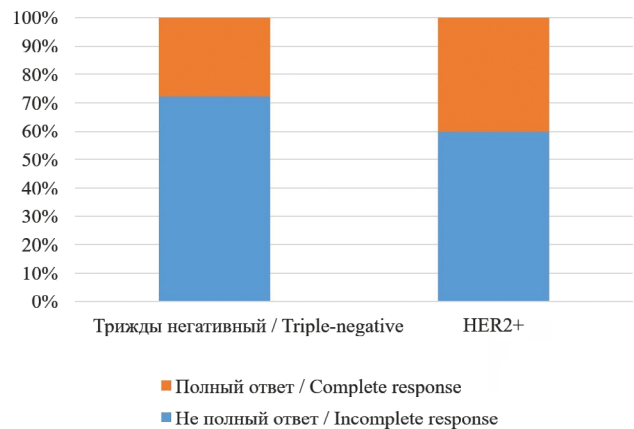


Рис. 4. Ответ опухоли после 4–6 циклов неoadъювантной химиотерапии по данным маммосцинтиграфии

Fig. 4. Tumor response after 4–6 cycles of neoadjuvant chemotherapy according to mammoscintigraphy

скую картину полного ответа, составила 40,0 % и 27,8 % соответственно.

Степень патоморфологического регресса опухоли в выборках с различными биологическими подтипами РМЖ представлена на гистограмме (рис. 5). Как видно из рисунка, доля больных с полным лечебным патоморфозом опухоли в группах с HER2+ и трижды негативным биологическими подтипами РМЖ составила 44,0 % и 29,4 % соответственно.

При сопоставлении полученных нами результатов МСГ с данными морфологического исследования удаленного материала, были рассчитаны показатели информативности метода в оценке эффективности неoadъювантной химиотерапии у пациенток с агрессивными биологическими подтипами РМЖ (табл. 3).

Как видно из представленных в табл. 3 данных, при проведении МСГ после 2–3 циклов НАХТ в тех случаях, когда за полный ответ были приняты IV и V степени скнтиграфического регресса опухоли, у больных TN и HER2+ РМЖ специфичность составила 92,1 % и 81,8 % соответственно, а положительная прогностическая ценность — 75 % в обеих

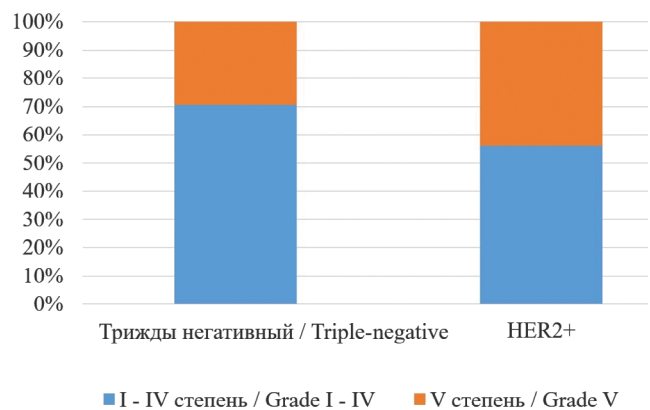


Рис. 5. Патоморфологический регресс опухоли по классификации Miller-Payne

Fig. 5. Pathomorphological tumor regression according to the Miller-Payne classification

группах. Однако, в случае принятия за полный ответ лишь V степени скнтиграфического ответа, мы наблюдали рост специфичности и положительной прогностической ценности результата до 100 %,

Таблица 3. Показатели информативности маммосцинтиграфии в оценке ответа опухоли на проведение неoadъювантной химиотерапии

Table 3. Informative value indices of mammoscintigraphy in assessing tumor response to neoadjuvant chemotherapy

Показатель	После 2–3 циклов НАХТ		После 4–6 циклов НАХТ	
	Трижды негативный	HER2+	Трижды негативный	HER2+
Чувствительность (Se), % [95 % ДИ]	60,0 [46,6; 72,1]	75,0 [52,6; 89,0]	86,7 [75,1; 93,3]	77,8 [56,0; 90,6]
Специфичность (Sp), % [95 % ДИ]	92,1 [81,7; 96,8]	81,8 [59,8; 93,2]	92,3 [82,1; 96,9]	90,9 [71,0; 97,6]
Точность (Ac), % [95 % ДИ]	83,0 [70,8; 90,8]	79,0 [56,7; 91,5]	90,7 [80,1; 96,0]	85,0 [64,0; 94,8]
Положительная прогностическая ценность (PVP), % [95 % ДИ]	75,0 [61,9; 84,7]	75,0 [52,6; 89,0]	81,3 [68,9; 89,5]	87,5 [66,9; 96,0]
Отрицательная прогностическая ценность (PVN), % [95 % ДИ]	85,4 [73,5; 92,5]	81,8 [59,8; 93,2]	94,7 [85,3; 98,2]	83,3 [62,1; 93,9]

**Таблица 4. Показатели информативности маммосцинтиграфии после 2–3 циклов неoadъювантной химиотерапии при V степени скинтиграфического ответа (полное исчезновение патологической фиксации радиофармпрепарата в очаге)**

**Table 4. Diagnostic performance of mammoscintigraphy after 2–3 cycles of neoadjuvant chemotherapy for grade V scintigraphic response (complete disappearance of pathological radiopharmaceutical uptake in the lesion)**

Показатель	Трижды негативный	HER2+
Чувствительность (Se), % [95 % ДИ]	33,3 [22,2; 46,8]	50,0 [29,5; 70,5]
Специфичность (Sp), % [95 % ДИ]	100,0 [93,2; 100,0]	100,0 [83,2; 100,0]
Точность (Ac), % [95 % ДИ]	81,1 [68,6; 89,4]	79,0 [56,7; 91,5]
Положительная прогностическая ценность (PVP), % [95 % ДИ]	100,0 [93,2; 100,0]	100,0 [83,2; 100,0]
Отрицательная прогностическая ценность (PVN), % [95 % ДИ]	79,2 [66,5; 87,9]	73,3 [50,9; 88,0]

при резком снижении чувствительности метода (табл. 4).

Таким образом, полное исчезновение патологической гиперфиксации РФП в первичном очаге после проведения 2–3 циклов НАХТ (V степень скинтиграфического ответа) является важным прогностическим признаком в предсказании полного патоморфологического регресса опухоли.

Пример полного скинтиграфического ответа первичной опухоли после 2 циклов НАХТ представлен на рис. 6.

На рисунке представлены результаты МСГ больной К., 31 год. ИГХ методом у больной установлен трижды негативный молекулярно-биологический подтип РМЖ (ER — 0 баллов, PR — 0 баллов, HER2 — 0 баллов, Ki67 — 80 %). До начала терапии (а) в верхненаружном квадранте правой молочной железы визуализируется очаг патологической ги-

перфиксации размерами 22×16 мм, индекс очаг/фон до 2,4. После 2 циклов НАХТ (6) препаратами митомицин медак + карбоплатин отмечается регресс ранее определяемого очага патологической гиперфиксации РФП, что соответствует полному скинтиграфическому ответу (V степень). Согласно гистологическому исследованию операционного материала, после окончания НАХТ был достигнут полный патоморфологический регресс опухоли (pCR), V степень лечебного патоморфоза по классификации Miller-Payne.

### Обсуждение

Внедрение в клиническую практику протоколов дескалации хирургического лечения у больных трижды негативным и HER2+ РМЖ с полным патоморфологическим ответом после завершения НАХТ ставит новые задачи перед инструментальными методами оценки динамики опухолевого процесса. При всем внимании, которое уделяется вопросам чувствительности и общей точности инструментальных методов диагностики полного ответа опухоли на проводимое лечение, особое значение приобретают такие показатели как специфичность предсказания полного патоморфологического ответа и прогностическая точность положительных заключений. Так, при высоких показателях специфичности и положительной прогностической ценности можно с уверенностью утверждать, что достигнут полный патоморфологический ответ.

Подтверждением клинической значимости решения этого вопроса является недавно опубликованные результаты проспективного многоцентрового скандинавского исследования TRAIN-3, в котором авторами изучается возможность использования данных МРТ молочных желез о степени выраженности ответа HER2+ РМЖ на проводимую НАХТ с целью последующей индивидуализации интенсивности и продолжительности лекарственного лечения [17]. Кроме того, при отборе больных трижды негативным и HER2+ РМЖ для дескалации хи-

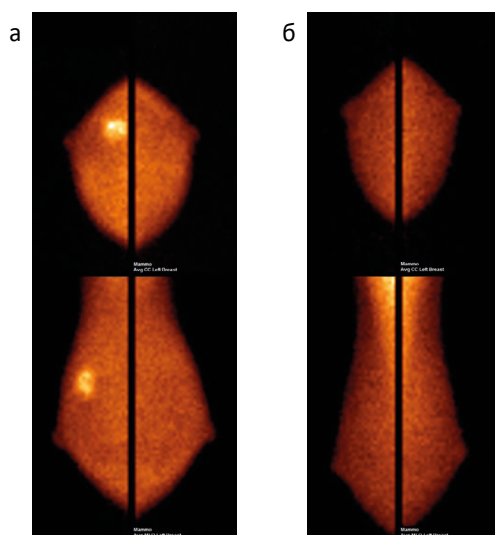


Рис. 6. Пример полного скинтиграфического ответа первичной опухоли: а — маммосцинтиграммы до начала терапии; б — маммосцинтиграммы после 2 циклов неoadъювантной химиотерапии

Fig. 6. Example of a complete scintigraphic response of primary tumor: а — mammoscintigrams before the start of therapy; б — mammoscintigrams after 2 cycles of neoadjuvant chemotherapy

рургического лечения активно исследуются возможности радионуклидных методов диагностики полного ответа на проведенную НАХТ [2, 12].

Полученные нами результаты указывают на высокие диагностические возможности маммосцинтиграфии в определении полного патоморфологического ответа опухоли после завершения НАХТ. Чувствительность и специфичность метода составили 83 % и 92 %, что соответствует результатам других исследователей [18–20].

По данным Kim et al [20], которые провели сравнительный анализ возможностей молекулярной визуализации (МВ) и МРТ в диагностике остаточной опухоли после НАХТ, чувствительность МВ при выявлении резидуальной опухоли в общей группе составила 70,2 %, специфичность — 83,3 %; для МРТ эти показатели составили 90 % и 60 % соответственно. Примечательно, что исследование было выполнено в группе из 114 женщин, 10 из которых имели HER2+ и 25 — трижды негативный подтипы РМЖ. Чувствительность МСГ при выявлении полного ответа у больных трижды негативным РМЖ по данным этих авторов увеличилась до 83 %, а при HER2+ — до 100 % [20].

Как уже обсуждалось выше, для оценки возможностей использования инструментальных методов диагностики при выявлении больных с полным патоморфологическим ответом после проведения НАХТ особое внимание должно уделяться не столько высокой чувствительности при прогнозировании полного патоморфологического ответа, сколько высокой специфичности и положительной прогностической ценности, которые позволяют надежно идентифицировать больных с минимальным риском наличия остаточной опухоли.

В настоящее время минимально-инвазивной альтернативой хирургическому способу оценки ответа опухоли после окончания НАХТ является тотальная биопсия опухоли молочной железы или вакуум-аспирационная биопсия (ВАБ). Согласно данным литературы, при диагностике полного патоморфологического ответа вероятность ложноположительных заключений при проведении ВАБ находится в широком диапазоне от 2,4 до 18,7 %, что говорит о необходимости совершенствования подходов к проведению этой процедуры [5, 21, 22].

Так, ранее нами было высказано предположение, что наличие на сцинтиграммах выраженного ответа опухоли (IV–V степень) в середине программы НАХТ не позволяет с высокой чувствительностью прогнозировать pCR к моменту завершения терапии, но может использоваться в качестве надежного и высокоспецифичного предиктора pCR. Интересно, что результаты представленного нами исследования не подтвердили это предположение.

Специфичность и прогностическая точность положительных заключений (IV–V степень ответа) при выполнении МСГ после 2–3 циклов НАХТ составили 90 % и 75 % и оказались ниже возможностей МСГ после 4–6 циклов — 92 % и 83 % соответственно. Эта закономерность проявилась и при изучении возможностей метода отдельно у больных трижды негативным и HER2 положительным РМЖ.

Однако изменение критериев интерпретации результатов МСГ, выполненной после 2–3 циклов НАХТ, которое предполагало достижение pCR после завершения лечения только при наличии V степени сцинтиграфического ответа, привело к резкому увеличению специфичности и прогностической точности положительных заключений при предсказании pCR — оба показателя достигли 100 % как в группе в целом, так и по отдельности у больных трижды негативным и HER2+ РМЖ.

Следует отметить, что полученные нами показатели существенно отличаются от данных других авторов. В частности, Hunt et al [23] провели сравнительный анализ МСГ и МРТ в диагностике остаточной опухоли после НАХТ у 91 больной РМЖ и показали, что у 34 больных с полным ответом в 23 случаях (70,6 %) наблюдалась «нормализация» картины на МРТ и в 28 случаях (82,4 %) выявлена сцинтиграфическая картина полного ответа. Напротив, у 56 женщин с остаточной опухолью в молочной железе результаты МРТ и МСГ указывали на наличие резидуальных опухолевых изменений только в 46 (82,1 %) и 33 (58,9 %) случаях соответственно [23].

Menes et al [24] изучили возможности МСГ в диагностике остаточной опухоли у 51 больной РМЖ [24]. При относительно небольшой чувствительности метода в группе в целом (83 %), авторы отметили существенные различия возможностей метода радионуклидной визуализации РМЖ при выявлении остаточной опухоли при различных биологических подтипах: при люминальном РМЖ она составила 69 %, а при HER2+ и трижды негативном РМЖ увеличивалась до 75 % и 83 % соответственно. Lee et al [25] предположили, что основной причиной невысокой чувствительности МСГ при диагностике неполного ответа РМЖ после завершения НАХТ является низкая клеточность остаточной опухоли [25]. Можно предположить, что при наличии признаков полного сцинтиграфического ответа в середине НАХТ, даже при условии сохранения многочисленных опухолевых клеток, оставшихся 4 и более циклов лекарственной терапии, будет достаточно для достижения полной эрадикации или полного патоморфоза РМЖ.

Интересно, что в мета-анализе Collarino et al [18] отмечено, что показатели чувствительности и

специфичности МСГ для предсказания отсутствия ответа после завершения всех циклов НАХТ составляют 70 % и 90 % соответственно и увеличиваются до 93 % и 87 % при выполнении этого исследования в середине НАХТ [18].

## Заключение

Полученные нами результаты подтверждают высокую чувствительность и специфичность сцинтиграфии молочных желез с помощью препарата <sup>99m</sup>Tc-метокси-изобутил-изонитрил в диагностике полного патоморфологического ответа у больных трижды негативным и HER2+ раком молочной железы.

При проведении МСГ после завершения НАХТ показатели чувствительности и специфичности метода в диагностике полного патоморфологического ответа у больных трижды негативным и HER2+ раком молочной железы сопоставимы между собой: 87 % и 92 %; 78 % и 91 % соответственно.

При достижении полного сцинтиграфического ответа (V степень) через 2–3 цикла неoadъювантной химиотерапии МСГ обладает высокой специфичностью и точностью положительных заключений (100 % и 100 %) для обоих изученных подтипов рака молочной железы. Выполнение МСГ и выявление на сцинтиграммах полного ответа уже после 2–3 циклов НАХТ позволяет более точно отбирать больных для проведения ВАБ и диктует необходимость дальнейшего продолжения исследований.

## Список литературы / References

1. Kuerer HM, Valero V, Smith BD, et al. Selective Elimination of Breast Surgery for Invasive Breast Cancer: A Nonrandomized Clinical Trial. *JAMA Oncol.* 2025;11(5):529-34. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2025.0207>. PMID: 40152443.
2. Novikov SN, Krivorotko P, Bryantseva Z, et al. Different approaches to target volume definition and boost delivery in surgery de-escalation clinical trial in breast cancer patients with pathological complete response. *Radiat Oncol J.* 2023;41(4):267-73. <https://doi.org/10.3857/roj.2023.00528>. PMID: 38185931.
3. I-SPY2 Trial Consortium, Yee D, DeMichele AM, et al. Association of Event-Free and Distant Recurrence-Free Survival With Individual-Level Pathologic Complete Response in Neoadjuvant Treatment of Stages 2 and 3 Breast Cancer: Three-Year Follow-up Analysis for the I-SPY2 Adaptively Randomized Clinical Trial. *JAMA Oncol.* 2020;6(9):1355-62. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2020.2535>. PMID: 32701140.
4. Shubeck SP, Morrow M, Dossett LA. De-escalation in breast cancer surgery. *NPJ Breast Cancer.* 2022;8(1):25. <https://doi.org/10.1038/s41523-022-00383-4>. PMID: 35197478.
5. Heil J, Schaefgen B, Sinn P, et al. Can a pathological complete response of breast cancer after neoadjuvant chemotherapy be diagnosed by minimal invasive biopsy? *Eur J Cancer.* 2016;69:142-50. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2016.09.034>. PMID: 27821317.
6. Baumgartner A, Tausch C, Hosch S, et al. Ultrasound-based prediction of pathologic response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer patients. *Breast.* 2018;39:19-23. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2018.02.028>. PMID: 29518677.
7. Park J, Chae EY, Cha JH, et al. Comparison of mammography, digital breast tomosynthesis, automated breast ultrasound, magnetic resonance imaging in evaluation of residual tumor after neoadjuvant chemotherapy. *Eur J Radiol.* 2018;108:261-8. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.09.032>. PMID: 30396666.

8. Mghanga FP, Lan X, Bakari KH, et al. Fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography-computed tomography in monitoring the response of breast cancer to neoadjuvant chemotherapy: a meta-analysis. *Clin Breast Cancer.* 2013;13(4):271-9. <https://doi.org/10.1016/j.clbc.2013.02.003>. PMID: 23714689.
9. Romeo V, Accardo G, Perillo T, et al. Assessment and Prediction of Response to Neoadjuvant Chemotherapy in Breast Cancer: A Comparison of Imaging Modalities and Future Perspectives. *Cancers (Basel).* 2021;13(14):3521. <https://doi.org/10.3390/cancers13143521>. PMID: 34298733.
10. Mankoff DA, Dunnwald LK, Gralow JR, et al. Monitoring the response of patients with locally advanced breast carcinoma to neoadjuvant chemotherapy using [technetium 99m]-sestamibi scintimammography. *Cancer.* 1999;85(11):2410-23. PMID: 10357412.
11. Guo C, Zhang C, Liu J, et al. Is Tc-99m sestamibi scintimammography useful in the prediction of neoadjuvant chemotherapy responses in breast cancer? A systematic review and meta-analysis. *Nucl Med Commun.* 2016;37(7):675-88. <https://doi.org/10.1097/MNM.0000000000000502>. PMID: 26974314.
12. Канаев СВ, Новиков СН, Криворотко ПВ и др. Клиническое значение результатов маммосцинтиграфии у больных раком молочной железы, получающих неoadъювантную полихимиотерапию. *Вопросы онкологии.* 2016;62(4):479-84. Kanaev SV, Novikov SN, Krivorotko PV, et al. Clinical significance of mammoscintigraphy results in breast cancer patients receiving neoadjuvant polychemotherapy. *Problems in Oncology.* 2016;62(4):479-84. (In Russ.). <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2016-62-4-479-484>.
13. Тицкая АА, Чернов ВИ, Синилкин ИГ и др. Стандартизованные методики радионуклидной диагностики. *Маммосцинтиграфия. Библиотека практического радиолога.* Москва, Зеленоград: ООО «НТЦ Амплитуда», 2014. 32 с. Titskaya AA, Chernov VI, Sinilkin IG, et al. Standardized methods of radionuclide diagnostics. *Mammoscintigraphy. Library of practical radiologist.* Moscow, Zelenograd: LLC "NTC Amplituda", 2014. 32 p. (In Russ.).
14. Тицкая АА, Чернов ВИ, Слонимская ЕМ и др. Маммосцинтиграфия с <sup>99m</sup>Tc-МИБИ в диагностике рака молочной железы. *Сибирский медицинский журнал.* 2010;25(4-1):92-5. Titskaya AA, Chernov VI, Slonimskaya EM, et al. Mammoscintigraphy with <sup>99m</sup>Tc-MIBI in the Diagnosis of Breast Cancer. *The Siberian Medical Journal.* 2010;25(4-1):92-5. (In Russ.).
15. Канаев СВ, Криворотко ПВ, Новиков СН и др. К вопросу о возможности применения маммосцинтиграфии для контроля эффективности неoadъювантной полихимиотерапии больных раком молочной железы. *Вопросы онкологии.* 2013;59(3):328-33. Kanaev SV, Krivorotko PV, Novikov SN, et al. About efficiency of mammoscintigraphy to determine the results of neoadjuvant polychemotherapy in breast cancer patients. *Problems in Oncology.* 2013;59(3):328-33. (In Russ.).
16. Novikov SN, Kanaev SV, Krivorotko PV, et al. Technetium-99m methoxyisobutylisonitrile scintimammography for monitoring and early prediction of breast cancer response to neoadjuvant chemotherapy. *Nuclear Medicine Communications.* 2015;36(8):795-801. <https://doi.org/10.1097/MNM.0000000000000331>. PMID: 26011586.
17. van der Voort A, Louis FM, van Ramshorst MS, et al. MRI-guided optimisation of neoadjuvant chemotherapy duration in stage II-III HER2-positive breast cancer (TRAIN-3): a multicentre, single-arm, phase 2 study. *Lancet Oncol.* 2024;25(5):603-13. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(24\)00104-9](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(24)00104-9). PMID: 38588682.
18. Collarino A, de Koster EJ, Valdés Olmos RA, et al. Is Technetium-99m Sestamibi Imaging Able to Predict Pathologic Nonresponse to Neoadjuvant Chemotherapy in Breast Cancer? A Meta-analysis Evaluating Current Use and Shortcomings. *Clin Breast Cancer.* 2018;18(1):9-18. <https://doi.org/10.1016/j.clbc.2017.06.008>. PMID: 28728876.
19. Zhang A, Li P, Liu Q. Breast-specific gamma camera imaging with <sup>99m</sup>Tc-MIBI has better diagnostic performance than magnetic resonance imaging in breast cancer patients: a meta-analysis. *Hell J Nucl Med.* 2017;20(1):26-35. <https://doi.org/10.1967/s002449910503>. PMID: 28315905.
20. Kim S, Plemmons J, Hoang K, et al. Breast-Specific Gamma Imaging Versus MRI: Comparing the Diagnostic Performance in Assessing Treatment Response After Neoadjuvant Chemotherapy in Patients With Breast Cancer. *AJR Am J Roentgenol.* 2019;212(3):696-705. <https://doi.org/10.2214/AJR.17.18930>.

21. Koelbel V, Pfob A, Schaeffgen B, et al. Vacuum-Assisted Breast Biopsy After Neoadjuvant Systemic Treatment for Reliable Exclusion of Residual Cancer in Breast Cancer Patients. *Ann Surg Oncol*. 2022;29(2):1076-84. <https://doi.org/10.1245/s10434-021-10847-9>.
22. Tasoulis MK, Lee HB, Yang W, et al. Accuracy of Post-Neoadjuvant Chemotherapy Image-Guided Breast Biopsy to Predict Residual Cancer. *JAMA Surg*. 2020;155(12):e204103. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2020.4103>.
23. Hunt KN, Conners AL, Goetz MP, et al. Comparison of 99mTc-Sestamibi Molecular Breast Imaging and Breast MRI in Patients With Invasive Breast Cancer Receiving Neoadjuvant Chemotherapy. *AJR Am J Roentgenol*. 2019;213(4):932-43. <https://doi.org/10.2214/AJR.18.20628>.
24. Menes TS, Golan O, Vainer G, et al. Assessment of Residual Disease With Molecular Breast Imaging in Patients Undergoing Neoadjuvant Therapy: Association With Molecular Subtypes. *Clin Breast Cancer*. 2016;16(5):389-95. <https://doi.org/10.1016/j.clbc.2016.05.015>.
25. Lee HS, Ko BS, Ahn SH, et al. Diagnostic performance of breast-specific gamma imaging in the assessment of residual tumor after neoadjuvant chemotherapy in breast cancer patients. *Breast Cancer Res Treat*. 2014;145(1):91-100. <https://doi.org/10.1007/s10549-014-2920-z>.

#### Information about the authors

Alina A. Khoroshavina, <https://orcid.org/0000-0001-9732-7920>  
Sergey N. Novikov, <https://orcid.org/0000-0002-7185-1967>  
Pavel I. Krzhivitskiy, <https://orcid.org/0000-0002-6864-6348>  
Nadezhda S. Popova, <https://orcid.org/0000-0002-3130-3624>  
Zhanna V. Bryantseva, <https://orcid.org/0000-0002-9189-6417>  
Irina A. Akulova, <https://orcid.org/0000-0003-0018-7197>  
Petr V. Krivorotko, <https://orcid.org/0000-0002-4898-9159>  
Sergey V. Kanaev, <http://orcid.org/0000-0002-1753-7926>

#### Вклад авторов

Хорошавина А.А.: получение данных для анализа, анализ полученных данных, статистическая обработка данных, написание текста статьи.

Новиков С.Н.: разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, получение данных для анализа, написание текста статьи.

Крживицкий П.И.: разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста статьи.

Жукова Л.А., Попова Н.С.: получение данных для анализа, анализ полученных данных, редактирование статьи.

Брянцева Ж.В., Акулова И.А.: получение данных для анализа, анализ полученных данных.

Крivorotko П.В., Канаев С.В.: разработка дизайна исследования; редактирование статьи.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета не требовалось.

**Информированное согласие.** Не требовалось подписания информированного согласия на публикацию данных.

**Поступила:** 12.01.2025.

**Принята к публикации:** 05.02.2026.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

#### Authors' contributions

Alina A. Khoroshavina: data acquisition for analysis, analysis of obtained data, statistical data processing, writing the article text.

Sergey N. Novikov: study design development, literature review on the article topic, data acquisition for analysis, writing the article text.

Pavel I. Krzhivitskiy: study design development, literature review on the article topic, writing the article text.

Lyudmila A. Zhukova, Nadezhda S. Popova: data acquisition for analysis, analysis of obtained data, article editing.

Zhanna V. Bryantseva, Irina A. Akulova: data acquisition for analysis, analysis of obtained data.

Petr V. Krivorotko, Sergey V. Kanaev: study design development; article editing.

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** Not declared.

**Ethical compliance.** Ethical committee approval was not necessary.

**Informed consent.** Not required.

**Received:** 12.01.2025.

**Accepted for publication:** 05.02.2026.

**Published online:** 26.03.2026.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И РАДИОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ КИСТОЗНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Карпов С.С.<sup>1</sup>, Кондратьев Е.В.<sup>2</sup>, Усталов А.А.<sup>2</sup>, Шмелева С.А.<sup>2</sup>✉, Тарнопольский В.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Городская поликлиника № 220 Департамента здравоохранения Москвы; Россия, 123022, Москва, ул. Загорёнова, 27.

<sup>2</sup> Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского Минздрава России; Россия, 115093, Москва, ул. Большая Серпуховская, 27.

✉ Шмелева София Антоновна, [sofiyaantonovna@gmail.com](mailto:sofiyaantonovna@gmail.com), 89201193033

### РЕФЕРАТ

**Актуальность:** Дифференциальная диагностика кистозных образований поджелудочной железы имеет решающее значение для выбора оптимальной тактики лечения и предотвращения прогрессирования заболевания. В связи с этим актуальной задачей современной лучевой диагностики является разработка и внедрение новых методов, которые могут повысить точность диагностики и снизить зависимость от субъективной интерпретации данных.

**Цель:** Исследование возможностей МРТ и радиомического анализа МРТ-изображений в дифференциальной диагностике кистозных новообразований поджелудочной железы, а также разработка радиомических моделей на основе машинного обучения для определения злокачественного потенциала кистозных образований поджелудочной железы.

**Материалы и методы:** Ретроспективно были проанализированы МРТ-изображения 67 пациентов с верифицированными (по результатам оперативного вмешательства) кистозными новообразованиями поджелудочной железы. Разметку и извлечение радиомических признаков исследований проводил врач-рентгенолог с опытом абдоминальной визуализации и выполнения разметки патологий поджелудочной железы. Образования были разделены для бинарной задачи классификации. Было использовано 7 моделей машинного обучения. Эффективность моделей оценивалась с помощью различных метрик (ROC-AUC, PR-AUC, точность, чувствительность, специфичность, F1). Наилучшая модель была определена по результатам ROC-AUC.

**Результаты:** Наилучшие результаты показали алгоритмы Random Forest с ROC-AUC = 0.83, и LightGBM с ROC-AUC = 0.77. Анализ SHAP выявил ключевые радиомические признаки.

**Выводы:** Полученные результаты демонстрируют перспективность данного подхода и служат основанием для проведения дальнейших исследований, направленных на повышение точности и обобщаемости моделей.

**Ключевые слова:** кистозные новообразования поджелудочной железы, дифференциальная диагностика, МРТ, радиомика, машинное обучение, радиомический анализ

**Для цитирования:** Карпов С.С., Кондратьев Е.В., Усталов А.А., Шмелева С.А., Тарнопольский В.М. Оценка возможностей моделей машинного обучения и радиомического анализа для дифференциальной диагностики кистозных новообразований поджелудочной железы. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):43-52.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-43-52>

### RADIOMICS-BASED MACHINE LEARNING MODEL FOR DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF PANCREATIC CYSTIC NEOPLASMS

Sergey S. Karpov<sup>1</sup>, Evgeny V. Kondratyev<sup>2</sup>, Andrei A. Ustalov<sup>2</sup>, Sofiya A. Shmeleva<sup>2</sup>✉, Vitaliy M. Tarnopolsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> City Polyclinic No. 220, Moscow Health Department; 27 Zamorenova St., Moscow 123022, Russia.

<sup>2</sup> A.V. Vishnevsky National Medical Research Center for Surgery; 27 Bolshaya Serpukhovskaya St., Moscow 115093, Russia.

✉ Sofiya A. Shmeleva, [sofiyaantonovna@gmail.com](mailto:sofiyaantonovna@gmail.com), 89201193033

### ABSTRACT

**Introduction:** Accurate differential diagnosis of pancreatic cystic lesions is crucial for selecting the optimal management strategy and for timely identification of lesions with malignant potential. A key objective of radiology is the development and implementation of quantitative imaging approaches that can improve diagnostic performance and reduce reliance on subjective image interpretation.

**Purpose:** To evaluate the value of magnetic resonance imaging (MRI) and MRI-based radiomic analysis for the differential diagnosis of pancreatic cystic neoplasms, and to develop machine-learning radiomic models for predicting the malignant potential of pancreatic cystic lesions.

**Materials and methods:** In this retrospective study, MRI examinations of 67 patients with surgically and pathologically confirmed pancreatic cystic neoplasms were analyzed. Lesion segmentation and radiomic feature extraction were performed by a radiologist experienced in abdominal imaging. Seven supervised machine-learning models were trained. Model performance was assessed using area under the receiver operating characteristic curve (ROC-AUC), precision-recall AUC (PR-AUC), accuracy, sensitivity, specificity, and F1-score. The best-performing model was selected based on ROC-AUC. Model interpretability was evaluated using SHapley Additive exPlanations (SHAP).

**Results:** The Random Forest classifier showed the best performance (ROC-AUC = 0.83), followed by LightGBM (ROC-AUC = 0.77). SHAP analysis highlighted the radiomic features with the greatest impact on the model outputs.

**Conclusion:** MRI-based radiomics may support risk stratification of pancreatic cystic lesions. Further studies with larger cohorts are needed to confirm these findings and improve model generalizability.

**Key words:** pancreatic cystic neoplasms, differential diagnosis, MRI, radiomics, machine learning

**For citation:** Karpov S.S., Kondratyev E.V., Ustalov A.A., Shmeleva S.A., Tarnopolsky V.M. Radiomics-Based Machine Learning Model for Differential Diagnosis of Pancreatic Cystic Neoplasms. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):43-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-43-52>

## Введение

Кистозные новообразования поджелудочной железы (КОПЖ) являются достаточно частой находкой, при этом с возрастом их распространенность, количество и размеры увеличиваются. Около 50 % выявленных кистозных образований выявляют при проведении лучевого обследования по поводу других состояний. Распространенность КОПЖ 4–14 %. Клиническая картина кистозных образований неспецифична, многие из них бессимптомны, что еще больше затрудняет диагностику, при этом 75 % основных гистологических типов образований имеют злокачественный потенциал и, соответственно, различные подходы к лечению. Современные рекомендации по диагностике КОПЖ ограничены, что приводит либо к пропуску патологии, либо к неверной тактике лечения. Резекция КОПЖ должна выполняться крайне избирательно, учитывая риск осложнений 20–40 % и летальность ~2 % после операций на поджелудочной железе [1].

Кистозные образования подразделяются на эпителиальные и неэпителиальные, и каждая из этих категорий дополнительно подразделяется на неопухолевые и опухолевые.

Эпителиальные кистозные опухолевые новообразования поджелудочной железы классифицируют на муцинозные, которые являются предраковыми или злокачественными, и немучинозные новообразования, к которым относятся как доброкачественные (наиболее распространённые), так и пограничные и злокачественные опухоли.

В частности, к муцинозным кистозным новообразованиям ПЖ относятся муцинозные кистозные новообразования и внутрипротоковые папиллярные муцинозные новообразования (ВПМН), а к немучинозным — серозные кистозные новообразования, солидные псевдопапиллярные образования (СППО), кистозные нейроэндокринные новообразования, более редкие ацинарно-клеточные кистозные новообразования, протоковые аденокарциномы с кистозной дегенерацией и другие образования.

Так, ВПМН — подтип КОПЖ с одним из самых высоких рисков малигнизации. Для главного протока поджелудочной железы риск составляет 38–68 %, для боковых ветвей — 12–47 % [2].

ВПМН являются наиболее распространёнными кистозными неоплазиями поджелудочной железы. Они характеризуются продукцией густого муцина и чаще локализируются в головке поджелудочной железы. ВПМН подразделяются на три типа: поражающие главный панкреатический проток, исходящие из боковых ветвей панкреатических протоков, а также смешанный вариант, сочетающий признаки обоих типов. Дифференциация между типами имеет важное клиническое значение, поскольку ВПМН бо-

ковых ветвей обладают более низким потенциалом малигнизации и требуют различной тактики ведения по сравнению с другими типами, для которых риск злокачественной трансформации и подходы к лечению сопоставимы [3].

Ключевым фактором для характеристики ВПМН является установление того, сообщается ли поражение с главным протоком поджелудочной железы или нет. Магнитно-резонансная холангиопанкреатография (МРХПГ) — лучший метод визуализации для оценки связи с главным панкреатическим протоком (ГПП), что является ключевым фактором для определения типа КОПЖ [2].

Муцинозная цистаденома (МЦ) — редкая опухоль поджелудочной железы, преимущественно выявляемая у женщин среднего возраста. Как правило, она обнаруживается случайно и чаще локализуется в теле или хвосте поджелудочной железы. Муцинозная цистаденома характеризуется образованием муцин-продуцирующих кист, окружённых стромой овариального типа. По данным визуализирующих методов исследования, МЦ обычно представляют собой одиночные округлые образования, содержат густой муцин и/или геморрагический компонент. Возможно наличие периферической кальцификации, которая отличается от звездчатой кальцификации, характерной для серозных цистаденом [3].

Псевдокиста поджелудочной железы — доброкачественное новообразование, скопление жидкости в поджелудочной железе и/или перипанкреатической области с чётко очерченными стенками, содержащее панкреатический сок или жидкость с высоким содержанием амилазы. Псевдокиста считается отсроченным (обычно более 4 недель) осложнением интерстициального отёчного панкреатита.

При МРТ псевдокиста очень похожа на другие кисты поджелудочной железы, поэтому для постановки уверенного диагноза «псевдокиста» необходимо сопоставить результаты с анамнезом пациента (острый панкреатит в анамнезе). Цуй и соавт. (2014) в многоцентровом исследовании показали, что более 80 % псевдокист уменьшаются в размерах в ходе последующего наблюдения [2].

Однако стоит отметить, что острый панкреатит может быть вызван кистозными опухолями (например, ВПМН), или у пациентов с острым панкреатитом могут быть кистозные опухоли, поэтому перенесённый острый панкреатит не может полностью исключить наличие истинной кистозной опухоли.

Серозная цистаденома — это доброкачественное новообразование, и было опубликовано лишь несколько случаев его злокачественной трансформации [2].

Она состоит из множества кист, образованных богатыми гликогеном эпителиальными клетками,

и в основном поражает головку поджелудочной железы, хотя может возникать в любой части железы. В первую очередь это касается женщин в возрасте 50 лет, но часто заболевание обнаруживается и в более позднем возрасте.

В 15–30 % случаев серозная цистаденома ассоциирована с болезнью фон Гиппеля — Линдау, и в этих случаях, как правило, образование является мультифокальным и может диффузно поражать поджелудочную железу [2].

При визуализации серозная цистаденома может проявляться в трёх основных формах, отражающих его морфологию: микрокистозной (или поликистозной), ячеистой и макрокистозной (или олигокистозной).

Макрокистозный паттерн характеризуется небольшим количеством кист размером не менее 2 см без центрального рубца и часто неотличим от других кистозных поражений поджелудочной железы, особенно от муцинозных цистаденом и ВПМН боковых ветвей. Дифференциальная диагностика важна, поскольку серозная цистаденома является доброкачественным образованием, в то время как муцинозные цистаденомы и ВПМН боковых ветвей имеют потенциально злокачественный характер.

Дифференциальная диагностика кистозных образований поджелудочной железы имеет решающее значение для выбора оптимальной тактики лечения и предотвращения прогрессирования заболевания.

Наличие злокачественного потенциала кистозных неоплазий требует либо активной хирургической тактики, либо активного динамического наблюдения. Чтобы избежать необоснованного хирургического лечения, исключить случаи необоснованно затянутого наблюдения и для принятия правильной тактики ведения пациентов, необходимо точно верифицировать тип кистозной неоплазии. Оперативное лечение нередко ведет к снижению качества жизни пациента, в некоторых случаях — к инвалидизации, а затянутое наблюдение — к злокачественной трансформации новообразования. В настоящее время продолжают исследования и дискуссии по поводу объема хирургического пособия при различных вариантах кистозных неоплазий [1].

Согласно Европейским рекомендациям, МРТ — предпочтительный метод визуализации КОПЖ, однако КТ также может использоваться самостоятельно или в сочетании с МРТ для оценки кальцинатов, стадирования опухоли или диагностики послеоперационного рецидива. Дополнительно рекомендуется исследование уровня СЕА (carcinoembryonic antigen), амилазы/липазы в жидкости кистозного образования, а также цитологический анализ для достижения максимальной

точности в дифференциации муцинозных и немучинозных кист [3].

Между пятью широко используемыми клиническими рекомендациями существуют значительные расхождения относительно EUS/EUS-FNA и показаний к резекции, что свидетельствует об отсутствии стандартизации в диагностическом подходе: American College of Gastroenterology и European guideline включает все КОПЖ, критерии Fukuoka — только ВПМН, American Gastroenterological Association (AGA) не включает ВПМН главного протока. Сравнительные исследования показали ограниченную эффективность рекомендаций: руководство AGA (2015): точность 49,6 %, чувствительность 23,5 %, специфичность 84,3 %; критерии Fukuoka: 41,2 %, 39,7 %, 43,1 % соответственно; Европейские рекомендации (2018): 58 %, 67,7 %, 45,1 % [2].

В связи с этим актуальной задачей современной лучевой диагностики является разработка и внедрение новых методов, которые могут повысить точность диагностики и снизить зависимость от субъективной интерпретации данных.

Одним из таких методов является радиомика. В то время как с помощью биопсии возможно исследовать лишь небольшую часть опухоли и обычно только в одном анатомическом участке, с помощью радиомики возможно оценить всю опухоль, а также перитуморальную область и нормальную паренхиму. Так, в радиомике для решения различных диагностических задач из медицинских изображений получают количественные характеристики (радиомические признаки) и анализируют их, используя машинное обучение. Такой анализ большого количества признаков позволяет снизить субъективность современных методов диагностики [4].

Существует ограниченное количество исследований [5, 6] применения радиомического анализа для дифференциальной диагностики КОПЖ, однако мы считаем радиомику перспективным методом для этого направления диагностики.

В нашем исследовании мы разработали модель с использованием машинного обучения и радиомики для определения риска злокачественности КОПЖ, которая является заделом для внедрения радиомики в клиническую практику для повышения точности диагностики КОПЖ.

Цель работы — исследование возможностей радиомического анализа МРТ-изображений в дифференциальной диагностике кистозных новообразований поджелудочной железы, разработка радиомических моделей на основе машинного обучения для определения злокачественного потенциала кистозных образований поджелудочной железы.

## Материалы и методы

Ретроспективно были проанализированы МРТ-изображения 67 пациентов с верифицированными по результатам оперативного вмешательства, проведенных в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского в период с 2015 по 2024 год, кистозными новообразованиями поджелудочной железы. В исследование были включены пациенты с ВПМН, серозными макрокистозными цистаденомами, муцинозными цистаденомами, цистаденокарциномами и постнекротическими кистами. Пациентам было проведено МРТ-исследование в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского или проведена консультация данных МРТ, представленных на диске из другой больницы.

Для построения бинарной модели все включённые кистозные образования были сгруппированы по принципу, отражающему злокачественный потенциал и тактику ведения пациента.

К классу 0 были отнесены злокачественные и потенциально злокачественные эпителиальные муцинозные неоплазии поджелудочной железы: ВПМН (включая ВПМН-карциномы), муцинозные кистозные новообразования (включая муцинозные цистаденомы и муцинозные цистаденокарциномы). Данная группа объединяет образования, которые требуют активной хирургической тактики.

Класс 1 сформирован из образований с преимущественно доброкачественным течением и отсутствием значимого злокачественного потенциала: серозных макрокистозных цистаденом и постнекротических кист. Эти поражения в типичных случаях не требуют резекции и подлежат наблюдению либо лечению по показаниям (симптоматика, осложнения, рост), что принципиально отличает их от муцинозных неоплазий.

Выбранный подход к разделению на группы обусловлен практическими задачами лучевой диагностики. Наибольшую клиническую и методологическую сложность представляет дифференциальная диагностика муцинозных кистозных новообразований и серозных макрокистозных цистаденом.

При формировании датасета мы исходили из предположения, что в большинстве кистозных поражений основной объём ROI представлен жидкостным компонентом, а значит, существенная часть извлекаемых радиомических признаков будет отражать количественные характеристики содержимого кисты, потенциально различающиеся для муцинозного и немучинозного содержимого. Следовательно, мы предположили возможность дифференциальной диагностики неоплазий преимущественно на основе характеристик внутрисоплостного содержимого.

Для повышения статистической мощности исследования и увеличения числа наблюдений в группах в бинарную схему дополнительно включены образования, репрезентирующие соответствующие биологические классы. ВПМН добавлены в класс 0 как муцинозные эпителиальные неоплазии с доказанным злокачественным потенциалом и клинической направленностью на хирургическое лечение/активную онкологическую настороженность. Постнекротические кисты включены в класс 1 как немучинозные, неопухолевые жидкостные образования, для которых типично доброкачественное течение. Тем самым классы 0 и 1 были сформированы не только по нозологическому признаку, но и по принципу «муцинозные (потенциально злокачественные, хирургически значимые) или немучинозные (преимущественно доброкачественные, наблюдаемые)», что соответствует ключевой диагностической задаче при ведении пациентов с кистозными образованиями поджелудочной железы и напрямую согласуется с целевой задачей модели — определение злокачественного потенциала. Микрокистозные серозные цистаденомы в настоящее исследование не включались. Микрокистозный вариант серозной цистаденомы, как правило, имеет характерный признаки (множественные мелкие кисты, «сотовая»/поликистозная структура, нередко центральный рубец), что в большинстве случаев позволяет уверенно предположить диагноз на основании данных МРТ или КТ и, следовательно, не представляет основной клинической проблемы дифференциальной диагностики.

Также включение микрокистозных серозных цистаденом могло бы привести к смещению модели в сторону распознавания преимущественно морфологических признаков (большое количество небольших кист и перегородок в структуре), тогда как концепция настоящей работы исходно ориентирована на гипотезу о высокой информативности количественных характеристик содержимого кистозного компонента. При микрокистозном строении сегментация зачастую включает значимый объём перегородок и стромального компонента, что уменьшает долю сигнала жидкости в ROI и повышает вариабельность радиомических признаков, снижая сопоставимость с олигокистозными образованиями.

МРТ-исследования были выполнены по стандартному протоколу с индукцией магнитного поля 1,5 и 3 Тл. Сканирование включало выполнение T<sub>1</sub>- и T<sub>2</sub>-взвешенных последовательностей без подавления и с подавлением сигнала от жира, DWI с последующим построением карт ADC. Для оценки протоковой системы ПЖ и желчевыводящих протоков проводили МРХПГ с использованием 3D T<sub>2</sub>

сканов (TR — 1800 мс, TE — 470 мс). При этом параметры сканов  $T_2$ , полученных с помощью импульсной последовательности TSE, были следующими: TR — 1600 мс, TE — 100 мс, а с помощью импульсной последовательности STIR: TR — 1600 мс, TE — 20 мс. Сканы  $T_1$  получали при помощи импульсной последовательности FFE (TR — 181,7 мс, TE — 3,5 мс). Все программы выполнялись с триггерной синхронизацией с дыханием, за исключением  $T_1$  с подавлением сигнала от жира (THRIVE), которая выполнялась на задержке дыхания.

Все клинические случаи, включенные в исследование, были завершены, все новообразования были верифицированы гистологически по результатам патоморфологического исследования операционного материала. Заключение патоморфологии хранятся в лабораторной информационной системе “ЛабФлоу”.

Плановое гистологическое исследование макро- и микропрепаратов проводилось по принятой в нашем Центре методике. Исследование материала выполняли сотрудники патологоанатомического отделения Института хирургии им. А.В. Вишневского Минздрава России, под руководством заведующего отделением к.м.н. Д.В. Калинина.

Окончательные диагнозы для консультированных в референс-центре НМИЦ хирургии случаев также были гистологически верифицированы.

Критерии включения:

- Гистологически верифицированное образование поджелудочной железы (ВПМН, серозные и муцинозные цистаденомы, цистаденокарциномы, постнекротические кисты).

- Наличие МР-исследования органов брюшной полости, наличие  $T_2$ ,  $T_1$ -взвешенных последовательностей, ДВИ, карт ADC.

Критерии исключения:

- Неудовлетворительное качество МРТ-изображений, наличие артефактов.
- Невозможность провести сегментацию области интереса: малый размер образования, технические трудности.

## Подготовка данных

### Сегментация

Разметку исследований проводил врач-рентгенолог с опытом абдоминальной визуализации (3 года) и опытом выполнения разметки патологий поджелудочной железы (3 года). Вручную на каждом срезе или с использованием дополнительных инструментов (например, fill between slices и др.) были сегментированы образования поджелудочной железы на  $T_2$ -ВИ,  $T_1$ -ВИ, ДВИ на высоком и низком  $b$ -факторе, картах ADC в программе 3D Slicer (версия 5.6.2) (рис. 1).

### Предварительная обработка и извлечение радиомических признаков

Для предварительной обработки и извлечения радиомических признаков данных был использован код, созданный с учетом рекомендаций IBSI [7]. В 3D Slicer (модуль Pyradiomics) были проведены обработка данных и извлечение радиомических признаков. Предварительная обработка необходима для стандартизации данных и повышения надежности извлекаемых радиомических признаков, что

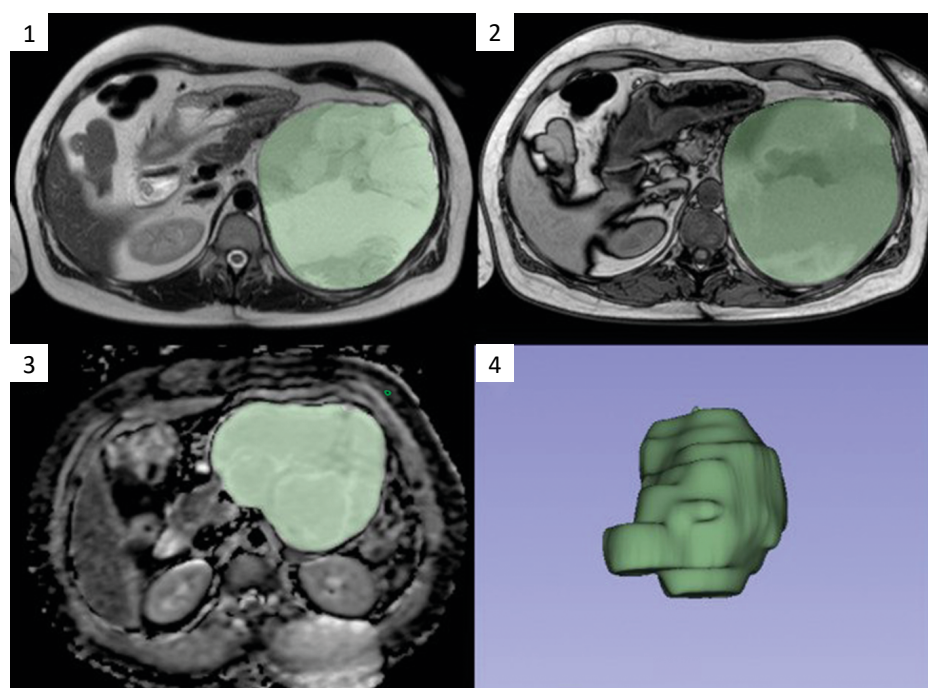


Рис. 1. Сегментация кистозного образования поджелудочной железы в 3D Slicer.

1 —  $T_2$ -ВИ, 2 —  $T_1$ -ВИ,  
3 — ADC карта, 4 — 3D модель

Fig. 1. Segmentation of a pancreatic cystic lesion in 3D Slicer.

1 —  $T_2$ -weighted image,  
2 —  $T_1$ -weighted image,  
3 — ADC map, 4 — 3D model

является критически важным для обеспечения воспроизводимости и обобщаемости моделей.

Интенсивности пикселей изображения были нормализованы (`normalizeScale: 100` — масштаб нормализации). Данный этап обычно необходим для МРТ-изображений, поскольку их сигнал является относительным и может значительно различаться между разными сканерами, производителями, пациентами и т.д. Нормализация помогает уменьшить этот эффект, делая признаки более сопоставимыми и воспроизводимыми.

Изображения были приведены к единому размеру воксела с использованием команды `resampledPixelSpacing: [3, 3, 3]`. Это означает, что размер каждого воксела был изменен до 3×3×3 мм. Данный этап обработки стандартизирует пространственное разрешение изображений, что важно для обеспечения стабильности и воспроизводимости радиомических признаков, особенно при работе с данными, полученными с разной толщиной среза (например, 3–7 мм, как в нашем исследовании). Использовался `interpolator: 'sitkBSpline'`.

Параметр `binWidth: 5` указывает на то, что сигналы пикселей были дискретизированы с шириной бина 5. Это процесс, который уменьшает количество уникальных значений сигнала в изображении, делая текстурные признаки более стабильными и менее чувствительными к шуму [7].

В дополнение к исходным изображениям (Original), были применены фильтры LoG с сигмами 3.0 и 5.0, а также Wavelet. Эти фильтры используются для выделения различных текстурных паттернов и деталей на изображении.

После этих шагов предварительной обработки были извлечены радиомические признаки следующих классов: `shape`, `firstorder`, `glcm`, `gldm`, `glszm`, `gldm`.

Образования были разделены для бинарной задачи классификации: класс 0 (41 пациент) — муцинозные образования (ВПМН, ВПМН-карциномы, муцинозные цистаденомы, цистаденокарциномы), класс 1 (26 пациентов) — немучинозные образования (серозные цистаденомы, постнекротические кисты). Для оценки всех моделей использовались такие метрики, как ROC-AUC, PR-AUC, точность, чувствительность, специфичность, F1-score.

Качество проведённого радиомического исследования дополнительно оценивалось с использованием шкалы RQS 2.0 (Radiomics Quality Score) [8], которая включает критерии, отражающие полноту методологического описания, корректность обработки данных, наличие валидации, анализ клинической полезности и экономической целесообразности. Применение RQS позволило системно оценить сильные и слабые стороны исследования

(например, объём выборки, наличие независимой валидации, степень стандартизации протоколов визуализации и обработки данных), а также обозначить направления для последующей оптимизации дизайна будущих работ.

### Выбор предикторов

Предикторы представляют собой количественные радиомические признаки, извлеченные из МРТ-изображений кистозных образований поджелудочной железы.

Предварительный отбор признаков включал удаление признаков с нулевой дисперсией (константных) и нечисловых столбцов.

Для интерпретации вклада отдельных радиомических признаков в формирование предсказаний модели был проведён анализ SHAP (SHapley Additive exPlanations). Данный подход позволяет количественно оценить влияние каждого признака на итоговое решение алгоритма машинного обучения, обеспечивая интерпретируемость модели. SHAP-анализ выполнялся после окончательного отбора признаков и обучения моделей, что позволило определить наиболее значимые параметры, оказывающие влияние на классификацию кистозных новообразований.

### Разработка модели

Расчет размера выборки для разработки и оценки модели не производился до начала эксперимента. Достаточность размера выборки оценивалась эмпирически через производительность модели на кросс-валидации и стабильность метрик. Использованный набор данных содержит 67 пациентов, что достаточно для начальной разработки модели, но может потребовать увеличения для достижения большей обобщаемости.

Для построения модели были рассмотрены различные типы классификаторов: `RandomForestClassifier (RF)`, `SVM (Support Vector Machine)`, `XGBClassifier (XGB)`, `LogisticRegression (LR)`, `LGBMClassifier (LGBM)`, `AutoML_FLAML`, `StackingClassifier`. Обоснованием выбора этих моделей является их широкое применение в задачах диагностики, способность обрабатывать сложные зависимости и обеспечивать высокую производительность. Дополнительно был реализован ансамблевый подход, который объединяет прогнозы отдельных моделей для потенциального улучшения общей производительности.

AutoML-подход использовался для автоматизированного подбора модели и её гиперпараметров без ручного вмешательства. Для AutoML была задана фиксированная конфигурация, включавшая ограничения по времени выполнения, перечень допустимых моделей, а также критерий оптими-

зации — ROC-AUC. Алгоритм автоматически выполнял поиск по пространству моделей и гиперпараметров, выбирая комбинации, обеспечивающие наилучшее качество классификации в рамках заданных ограничений.

Гиперпараметры других моделей (например, `n_estimators`, `max_depth`, `learning_rate`, `class_weight` и др.) были заданы на этапе подготовки анализа и фиксированы в рабочем коде, что обеспечивало воспроизводимость результатов и предотвращало влияние неконтролируемого подбора параметров на итоговую оценку качества классификации.

Внутренняя валидация осуществлялась с помощью 5-кратной кросс-валидации, что обеспечивает надежную оценку производительности модели.

Для оценки модели использовались следующие метрики: ROC-AUC, PR AUC, точность, чувствительность, специфичность, F1-score. Сравнение моделей производилось на основе всех этих метрик, наилучшая модель была определена по результатам ROC-AUC.

Для визуализации результатов были построены ROC-кривые. Дообучение модели на основе результатов оценки в нашем исследовании не проводилось. Эффективность моделей рассчитывалась после тестирования обученных моделей на тестовых данных в каждой группе кросс-валидации.

Различия между данными для разработки и валидации в нашем исследовании минимальны, поскольку для внутренней валидации использовались те же данные, разделенные на тренировочные и тестовые группы в рамках кросс-валидации. Все объекты принадлежат к одной когорте, критерии включения и исключения, а также методы измерения предикторов были идентичными для всех данных.

## Результаты

Оценки производительности моделей представлены в табл. 1. Для каждой модели указаны ROC-AUC, PR AUC, точность, чувствительность, специфичность, F1-score. Эти метрики отражают среднюю производительность по 5 группам кросс-валидации.

Анализ полученных результатов (табл. 1, рис. 2) показал, что среди используемых моделей машинного обучения наибольшие значения метрик продемонстрировал алгоритм Random Forest. Он обеспечил максимальные значения ROC-AUC (0,828) и PR-AUC (0,754), что свидетельствует о его наилучшей способности различать классы кистозных опухолей поджелудочной железы. Кроме того, модель продемонстрировала наибольшую специфичность (0,951), что указывает на высокую способность корректно классифицировать немущинозные образования. Однако чувствительность данного алгорит-

ма оказалась относительно невысокой (0,346), что может говорить о склонности модели к пропуску части муцинозных КОПЖ при акценте на правильное распознавание немущинозных.

Близкие результаты по общему качеству классификации показала модель LightGBM, продемонстрировавшая ROC-AUC = 0,771 и PR-AUC = 0,681 при более сбалансированных показателях чувствительности (0,538) и специфичности (0,805). Это делает её потенциально более универсальным инструментом для клинического применения.

Модель XGBoost показала несколько хуже результаты по сравнению с LightGBM (ROC-AUC = 0,738, PR-AUC = 0,634), но сохранила удовлетворительный баланс между чувствительностью и специфичностью, что также подтверждает её пригодность для подобных задач.

Модели AutoML\_Stacking и логистическая регрессия продемонстрировали идентичные значения чувствительности и точности (0,538), при этом ROC-AUC составил 0,683 и 0,676 соответственно, что позволяет рассматривать их как сопоставимые по эффективности модели среднего уровня. SVM показала хорошие значения специфичности (0,976), однако чувствительность оказалась нулевой, что свидетельствует о неспособности данной модели корректно идентифицировать случаи муцинозных КОПЖ в имеющихся данных. Модель FLAML, напротив, характеризовалась умеренной точностью (0,627) и достаточно высокой специфичностью (0,805), но низким уровнем чувствительности (0,346), что также ограничивает её практическую применимость.

Таким образом, результаты сравнительного анализа указывают, что среди всех рассмотренных моделей наилучшие диагностические характеристики продемонстрировал алгоритм Random Forest, обеспечивший наиболее высокую площадь под ROC-кривой и наилучшее соотношение специфичности и общей точности классификации.

В рамках анализа были получены усреднённые абсолютные значения SHAP (mean SHAP value), отражающие средний вклад каждого признака в изменение вероятности принадлежности к тому или иному классу. Графическое представление результатов продемонстрировало, что ведущими предикторами оказались текстурные и признаки высшего порядка после применения фильтров wavelet.

Представленный на рис. 3 график отражает средние абсолютные значения SHAP для 20 наиболее значимых радиомических признаков, то есть их средний вклад в изменение предсказаний модели в задаче бинарной классификации кистозных образований поджелудочной железы. Наибольшее влияние на результат оказывает признак `adc_wavelet-HL`

**Таблица 1. Сравнительная оценка эффективности моделей машинного обучения. В таблице представлены значения ROC-AUC, PR-AUC, точности, чувствительности, специфичность, F1-score моделей машинного обучения (AutoML, SVM, FLAML, LogisticRegression, Random Forest, XGBoost, LightGBM)**

**Table 1. ROC-AUC, PR-AUC, accuracy, sensitivity, specificity, and F1-score for the models: AutoML, SVM, FLAML, Logistic Regression, Random Forest, XGBoost, and LightGBM**

Модель	Точность	Чувствительность	Специфичность	F1-score	ROC-AUC	PR-AUC
AutoML_Stacking	0,64	0,54	0,71	0,54	0,68	0,57
AutoML_FLAML	0,63	0,35	0,80	0,42	0,52	0,47
RF	0,72	0,35	0,95	0,49	0,83	0,75
SVM	0,60	0,00	0,98	0,00	0,62	0,46
XGB	0,70	0,46	0,85	0,55	0,74	0,63
LR	0,64	0,54	0,71	0,54	0,68	0,57
LGBM	0,70	0,54	0,80	0,58	0,77	0,68

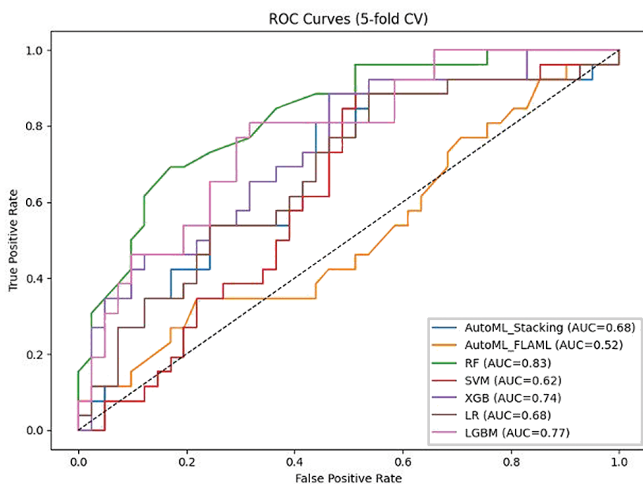


Рис. 2. ROC-кривые разработанных моделей машинного обучения

Fig. 2. ROC curves of the machine-learning models

HlglrlmLongRunLowGrayLevelEmphasis, связанный с текстурными характеристиками диффузионно-взвешенного изображения с карт ADC. Значимый вклад также вносят признаки первого порядка из T<sub>1</sub>-взвешенных изображений после вейвлет-преобразования (t1\_wavelet-LHLfirstorderMinimum, t1\_wavelet-LLHfirstorderMean, t1\_wavelet-HHLfirstorderMedian), а также лог-сигма и текстурные GLCM-признаки T<sub>2</sub>-ВИ и ДВИ.

Характер распределения важности показывает, что модель опирается на сочетание признаков из разных последовательностей (T<sub>1</sub>-ВИ, T<sub>2</sub>-ВИ, ДВИ, карты ADC) и различных классов (first-order, GLCM, GLRLM, GLSZM, shape), однако лидирующие позиции занимают текстурные признаки, отражающие неоднородность, размер и распределение зон с различной интенсивностью сигнала.

Таким образом, включение SHAP-анализа позволило не только определить ключевые признаки,

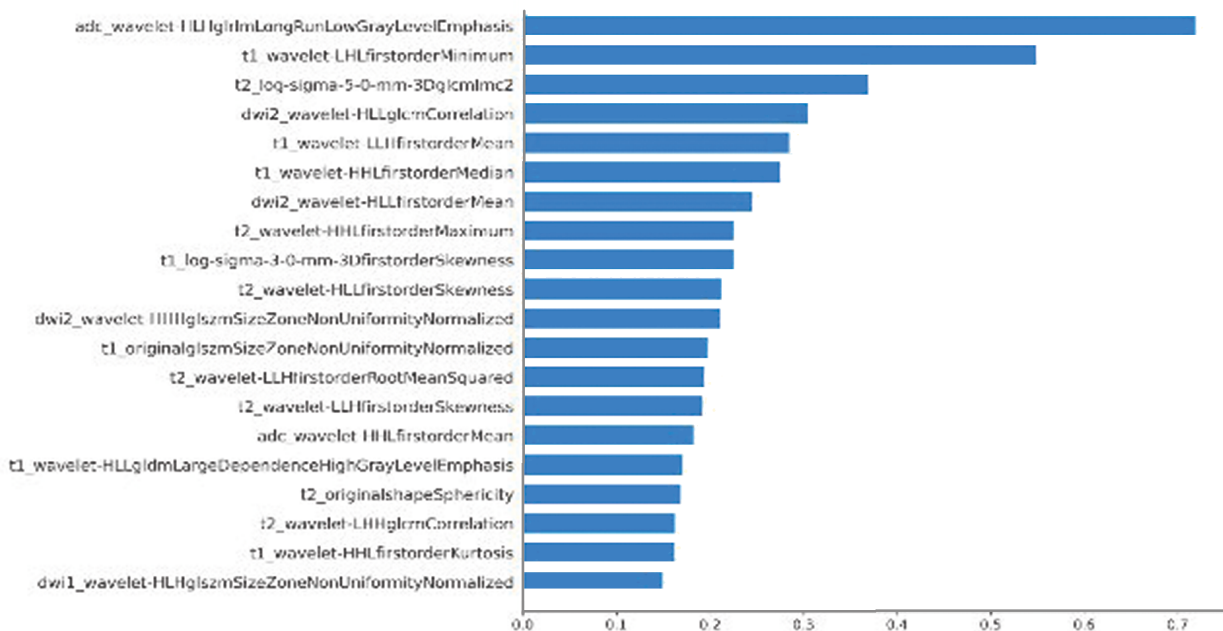
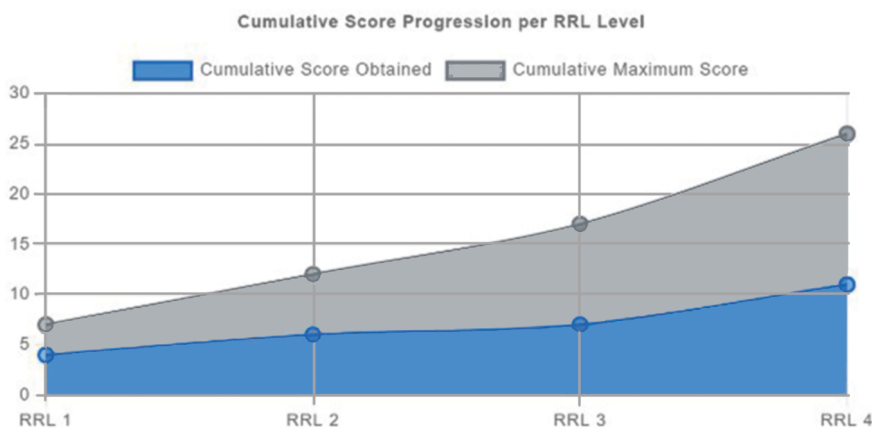


Рис. 3. Диаграмма значимости радиомических признаков по среднему абсолютному значению SHAP

Fig. 3. Diagram of radiomic feature importance based on mean absolute SHAP values



влияющие на итоговую классификацию, но и повысить интерпретируемость полученной модели.

При оценке результатов по RQS 2.0 наша модель соответствует стандарту RRL на 42 % (11 баллов из 26). В контексте RQS 2.0 [8] под RRL понимают Radiomics Readiness Levels — уровни «готовности» радиомического исследования к клиническому внедрению, по аналогии с Technology Readiness Levels. Каждый последующий уровень RRL отражает шаг вперёд от ранних экспериментальных работ к моделям, близким к практическому использованию, с увеличением требований к дизайну, валидации и отчётности.

На рис. 4 график отражает динамику суммарного балла по шкале RQS (Radiomics Quality Score) по уровням RRL: от RRL 1 до RRL 4 кумулятивный полученный балл возрастает с 4 до 11, тогда как максимальный теоретически возможный балл на этих этапах увеличивается с 7 до 26. Видно, что с переходом от RRL 1 к RRL 4 суммарный набранный балл возрастает, однако остаётся ниже теоретического максимума, что указывает на выполненное большинство ключевых требований RQS при сохранении потенциала для дальнейшего методологического усовершенствования исследования.

## Обсуждение

Опубликованные к настоящему времени исследования по радиомике кист поджелудочной железы остаются немногочисленными. Так в работе Ştefan et al [5] радиомический анализ МРТ-изображений использовали для дифференциальной диагностики муцинозных и немучинозных кистозных новообразований: авторы выполняли сегментацию кист, извлекали радиомические признаки с  $T_2$ -взвешенных изображений и ADC-карт и далее проводили статистический анализ, показав, что текстурные и другие радиомические характеристики на основе  $T_2$  и ADC позволяют успешно дифференцировать муцинозные и немучинозные поражения (с чувствитель-

Рис. 4. График набранных баллов по шкале Radiomics Quality Score 2.0 на различных уровнях Radiomics Readiness Level (RRL). Синим цветом на графике обозначен кумулятивный набранный балл по шкале RQS для нашего исследования, серым — соответствующее ему максимально возможное кумулятивное значение для каждого уровня RRL

Fig. 4. Cumulative Radiomics Quality Score 2.0 points across different Radiomics Readiness Levels (RRL). The blue line represents the cumulative RQS score in our study, while the gray line indicates the maximum possible cumulative score for each RRL level

ностью 83,2–100 % и специфичностью 69,3–96,2 % для  $T_2$ , чувствительностью 40–85 % и специфичностью 60–96,7 % для ADC). При этом авторы измеряли интенсивность МРТ-сигнала кистозных образований, что не позволило дифференцировать кистозные новообразования ПЖ, в отличие от радиомического анализа.

В исследовании Yao et al [6] была предложена более сложная, полностью автоматизированная система поддержки принятия решений для ВПМН, включающая автоматическую сегментацию поджелудочной железы нейросетью nnUNet, последующее использование моделей глубокого обучения (CNN или трансформера) и комбинированной радиомической модели XGBoost, дополненной клиническим признаком, для многоклассовой классификации по степени риска (нет риска, низкий риск, высокий риск); интеграция радиомики и клинических данных позволила получить ROC-AUC = 0,893, что существенно превзошло архитектуру AlexNet, разработанную без радиомических признаков (ROC-AUC = 0,648).

Наша модель машинного обучения продемонстрировала сопоставимые с опубликованными работами диагностические показатели при бинарной классификации кистозных образований поджелудочной железы на потенциально злокачественные и доброкачественные образования, что подтверждает высокую информативность радиомических признаков многопараметрической МРТ.

К ограничениям данного исследования можно отнести отсутствие внешней валидации. Хотя была использована кросс-валидация для внутренней оценки, внешняя валидация на независимом наборе данных была бы полезна для подтверждения производительности модели. Пропущенные данные были обработаны методом замены медианой, что является простым, но не всегда оптимальным решением. Потенциальное переобучение было снижено за счет использования кросс-валидации и на-

стройки гиперпараметров, но полностью исключить его сложно.

Таким образом перспективным направлением является расширение выборки и валидация модели в многоцентровых исследованиях, что может повысить устойчивость и обобщающую способность алгоритма. Дополнительное направление — включение клинических и лабораторных данных, а также использование гибридных подходов, сочетающих классическое машинное обучение и глубокие нейросетевые архитектуры.

## Выводы

Проведённое исследование показало, что радиомический анализ многопараметрической МРТ в сочетании с алгоритмами машинного обучения, прежде всего Random Forest и LightGBM, может быть использован для дифференциальной диагностики доброкачественных и потенциально злокачественных кистозных новообразований поджелудочной железы. Качество радиомического исследования было оценено с использованием шкалы RQS 2.0, что повышает прозрачность и методологическую обоснованность работы. Полученные результаты были интерпретированы с использованием SHAP-анализа, и указывают на перспективность радиомики как инструмента объективной стратификации риска. Дальнейшее расширение выборки, внешняя валидация и интеграция клинических данных рассматриваются как необходимые шаги для повышения обобщаемости и потенциальной клинической применимости разработанной модели.

## Вклад авторов

С.С. Карпов: обзор публикаций по теме статьи, разработка дизайна исследования, сбор данных, написание текста рукописи.

Е.В. Кондратьев: разработка дизайна исследования, сбор данных.

А.А. Усталов: статистическая обработка.

С.А. Шмелева: А.А.: сбор данных.

В.М. Тарнопольский: сбор данных.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

**Соответствие принципам этики.** Одобрено локальным этическим комитетом.

**Информированное согласие.** Не требовалось подписания информированного согласия на публикацию данных.

**Поступила:** 26.01.2026.

**Принята к публикации:** 10.02.2026.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

## Список литературы / References

1. Скульский СК, Ратников ВА, Лубашев ЯА, и др. Магнитно-резонансная томография в лучевой диагностике кистозных неоплазий поджелудочной железы на этапах медицинского обследования. *Врач.* 2022;33(11):40-47.  
Skulskiy SK, Ratnikov VA, Lubashev YA, et al. MRI diagnosis pancreatic cystics neoplasms at the stages of a medical examination. *Vrach.* 2022;33(11):40-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.29296/25877305-2022-11-07>
2. Ardeshtna DR, Cao T, Rodgers B, et al. Recent advances in the diagnostic evaluation of pancreatic cystic lesions. *World J Gastroenterol.* 2022;28(6):624-34. <https://doi.org/10.3748/wjg.v28.i6.624>
3. Rogowska J, Semeradt J, Durko Ł, Mafecka-Wojcieszko E. Diagnostics and Management of Pancreatic Cystic Lesions-New Techniques and Guidelines. *J Clin Med.* 2024 Aug 8;13(16):4644. <https://doi.org/10.3390/jcm13164644>
4. Кондратьев ЕВ, Шмелева СА, Усталов АА и др. Теоретические основы текстурного анализа КТ-изображений образований органов брюшной полости: обзор. *Лучевая диагностика и терапия.* 2025;16(1):33-46.  
Kondratyev EV, Shmeleva SA, Ustalov AA, et al. Theoretical basics of abdominal CT radiomics: a review. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy.* 2025;16(1):33-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-1-33-46>
5. Ștefan PA, Lupean RA, Lebovici A, et al. Quantitative MRI of Pancreatic Cystic Lesions: A New Diagnostic Approach. *Healthcare (Basel).* 2022;10(6):1039. <https://doi.org/10.3390/healthcare10061039>
6. Yao L, Zhang Z, Demir U, et al. Radiomics Boosts Deep Learning Model for IPMN Classification. *Mach Learn Med Imaging.* 2023;14349:134-143. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-45676-3\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-45676-3_14)
7. Zwanenburg A, Vallières M, Abdalah MA, et al. The Image Biomarker Standardization Initiative: Standardized Quantitative Radiomics for High-Throughput Image-based Phenotyping. *Radiology.* 2020;295(2):328-338. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020191145>
8. Lambin P, Woodruff HC, Mali SA, et al. Radiomics Quality Score 2.0: towards radiomics readiness levels and clinical translation for personalized medicine. *Nat Rev Clin Oncol.* 2025;22(11):831-846. <https://doi.org/10.1038/s41571-025-01067-1>

## Information about the authors

S.S. Karpov, <https://orcid.org/0000-0002-0163-8335>.

E.V. Kondratyev, <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>.

A.A. Ustalov, <https://orcid.org/0009-0005-9267-8584>.

S.A. Shmeleva, <https://orcid.org/0009-0007-5724-2763>.

V.M. Tarnopolsky, <https://orcid.org/0009-0003-9361-8538>.

## Authors' contributions

S.S. Karpov: review of publications, study design development, data collection, writing the text of the manuscript.

E.V. Kondratyev: study design development, data collection.

A.A. Ustalov: statistical procession.

S.A. Shmeleva: data collection.

V.M. Tarnopolsky: data collection.

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** Not declared.

**Ethical compliance.** Approved by the local ethics committee.

**Informed consent.** Not required.

**Received:** 26.01.2026.

**Accepted for publication:** 10.02.2026.

**Published online:** 26.03.2026.

**БОЛЕЗнь КАСТЛЕМАНА: КРАТКИЙ ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР И СОБСТВЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ**

Лукьянченко А.Б., Романова К.А., Кротов П.С., Кодзоева Э.Б., Стилиди И.С.

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России;  
Россия, 115522, Москва, Каширское шоссе, 23✉ Романова Ксения Александровна [luxenia@gmail.com](mailto:luxenia@gmail.com)**РЕФЕРАТ**

Представлены два клинических наблюдения локального варианта болезни Кастлемана у женщин 29 и 46 лет. Обе пациентки каких-либо жалоб не предъявляли, а патологические новообразования в брюшной полости были выявлены при профилактическом обследовании по месту жительства. В первом наблюдении предоперационные результаты компьютерной томографии (КТ) с внутривенным контрастированием на основе типичных находок позволили сделать корректное заключение. Во втором наблюдении, нетипичная КТ-картина проявлений выявленного новообразования не позволила конкретизировать предоперационный диагноз. Обе пациентки были успешно прооперированы, но во втором случае с интраоперационными техническими трудностями. На основании морфологического исследования удаленных новообразований установлен заключительный диагноз — болезнь Кастлемана (гиалиново-васкулярный тип).

**Ключевые слова:** болезнь Кастлемана, забрюшинная неорганные новообразования, компьютерная томография

**Для цитирования:** Лукьянченко А.Б., Романова К.А., Кротов П.С., Кодзоева Э.Б., Стилиди И.С. Болезнь Кастлемана: краткий литературный обзор и собственные наблюдения. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):53-59. <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-53-59>

**CASTLEMAN'S DISEASE: GENERAL INFORMATION AND CLINICAL CASES**

Aleksander B. Lukyanchenko, Xenia A. Romanova, Pavel S. Kropotov, Elina B. Kodzoeva, Ivan S. Stilidi

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology; 23 Kashirskoe highway, Moscow, Russia, 115522

✉ Xenia A. Romanova [luxenia@gmail.com](mailto:luxenia@gmail.com)**ABSTRACT**

The article presents two clinical cases of the local variant of Castleman's disease in women aged 29 and 46. Both patients had no complaints, and pathological lesions in the abdominal cavity were revealed in routine US-examinations. In the first case, the preoperative contrast-enhanced CT scans with typical findings allowed us to make the correct diagnosis. In the second case, an atypical CT picture of the detected lesion did not allow us to specify the preoperative diagnosis. Both patients were successfully operated on, but in the second case with intraoperative technical difficulties. Based on the morphological examination of the removed lesions, the final diagnosis was made — Castleman's disease (hyaline vascular type).

**Key words:** Castleman's disease, retroperitoneal lesions, CT

**For citation:** Lukyanchenko A.B., Romanova X.A., Kropotov P.S., Kodzoeva E.B., Stilidi I.S. Castleman's Disease: General Information and Clinical Cases. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):53-59. (In Russ.). <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-53-59>

**Введение**

Как известно, болезнь Кастлемана (БК) — это группа редких лимфопролиферативных заболеваний неопределенной этиологии, имеющих схожие гистопатологические признаки поражения лимфатических узлов, но разные клинические проявления. Различаются также и подходы к лечению этих заболеваний [1]. В связи с их редкостью и малой изученностью, среди отечественных и зарубежных исследователей до настоящего времени нет общепринятой классификации БК. На этом фоне можно выделить предложенную НИИЦ гематологии Минздрава России в 2015 г. клинико-морфологическую классификацию болезни Кастлемана [2], которая представляется нам клинически обоснованной и значимой (см. табл.1).

Заболеваемость БК составляет 1–9 случаев на 1 млн человек. Мужчины и женщины болеют с одинаковой частотой. Средний возраст заболевших со-

**Таблица 1. Клинико-морфологическая классификация болезни Кастлемана****Table 1. Clinical and Morphopathological Classification of Castleman Disease**

Болезнь Кастлемана	
Локальные варианты	Мультицентрическая болезнь (в т.ч. плазмноклеточный и смешанно-клеточный ее варианты)
- Гиалиново-васкулярный вариант	- ассоциированная с IgG4-связанной лимфаденопатией
- Плазмноклеточный вариант (в т.ч. случаи с плазмноклеточной и смешанно-клеточной морфологией)	- HHV8-позитивная (плазмобластная)
	- HHV8-негативная и не ассоциированная с IgG4-связанной лимфаденопатией

ставляет до 40 лет [1]. Точные данные о заболеваемости БК в России отсутствуют. Локализованная форма встречается наиболее часто, в литературе описано около 400 клинических случаев [3].

Клинически болезнь Кастанелана (БК) подразделяется на два типа — локальный и мультицентрический (МБК).

**Локальный (солитарный) вариант** обусловлен поражением одного или нескольких смежных лимфатических узлов одной группы. Заболевание характеризуется достаточно долгим развитием за счет медленного роста пораженного узла (-ов), длительным латентным периодом и редко представляет угрозу для жизни. При достижении крупных размеров, новообразование манифестирует за счет воздействия на окружающие структуры [4–6]. Возможно и случайное выявление очага поражения при различных диагностических исследованиях. Ранее считалось, что при заболеваниях данного типа наиболее часто поражаются лимфатические узлы средостения, однако в более поздних публикациях было показано, что шейные, подмышечные и забрюшинные лимфатические узлы поражаются также часто. Намного реже отмечалось поражение внутрибрюшных и тазовых лимфатических узлов [4,7].

При **мультицентрическом варианте болезни** Кастанелана (МБК) поражаются лимфатические узлы в 2 и более анатомических областях. Течение МБК быстро прогрессирующее, иногда с периодами стабилизации. Клинически проявляется системными воспалительными реакциями (лихорадка, потеря массы тела, потливость), гепато- и/или спленомегалией. Высока вероятность развития так называемого РОEMS-синдрома (полинейропатия, органомегалия, эндокринопатия, протеинемия, кожные изменения) вследствие нарушения регуляции цитокинов, в том числе, интерлейкина-6 (IL-6) [8]. Диагноз МБК устанавливается на основании гистологического и иммуногистохимического (ИГХ) исследований биоптата пораженного лимфатического узла.

Морфологически выделяют три основных типа БК:

- гиалиново-васкулярный вариант (ГВВ);
- плазмноклеточный вариант (ПКВ);
- смешанный тип (сочетающий признаки обоих вариантов).

При локальной форме БК наиболее часто наблюдается ГВВ, но встречаются и ПКВ [2].

Кроме того, в последнее время выделяют особый подвид БК, выявляемый почти в 100 % случаев у ВИЧ-положительных больных БК — плазмобластный вариант (ПБВ). Такой тип БК характеризуется быстро прогрессирующим течением и неблагопри-

ятным прогнозом без периодов стабилизации, что требует проведения цитостатической терапии и применения противовирусных препаратов [9].

В качестве примера широты спектра проявлений БК мы сочли целесообразным представить два наших клинических наблюдения этой болезни, непохожих как по своему внешнему отображению, так и по интраоперационным данным.

### Первый клинический случай

У пациентки 3., 29 лет во время профилактического осмотра по месту жительства, при УЗИ брюшной полости вплотную к желудку выявлено узловое образование (около 5 см) неопределенного характера. Каких-либо жалоб пациентка не предъявляла, поэтому от предложенной операции отказалась. В течение последующих 4 лет значимых жалоб по-прежнему не отмечалось. Лишь в связи с появлением чувства выраженной слабости для дообследования и решения вопроса о возможном лечении пациентка была направлена в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина.

При поступлении в Онкоцентр пациентка предъявляла жалобы только на слабость.

При гастроскопии, в области верхней трети желудка, по его задней стенке, определялось умеренно выраженное вдавление извне, но слизистая оболочка в этой зоне была не изменена. При эндоскопической «пальпации» упомянутое вдавление представлялось плотным. Заключение: вдавление желудка извне, судить о природе которого затруднительно.

При КТ с внутривенным болюсным контрастированием: в паракардиальной области, вплотную к малой кривизне желудка, без видимой взаимосвязи с ним, определялось округлое опухолевидное образование (около 5×6 см) с довольно четкими, ровными контурами и, за исключением единичных мелких кальцинатов, с однородной структурой мягкотканной плотности, нативно +41...+45 HU (рис. 1 — стрелки). По окружности данного узла определялись тонкие, «прозрачные» разделительные жировые прослойки, предполагавшие отсутствие тесного контакта с окружающими анатомическими элементами. При внутривенном контрастировании уже в артериальную фазу (АФ) отмечалось интенсивное, однородное усиление сразу всей массы узлового образования до +143...+145 HU с постепенным и равномерным вымыванием контрастного препарата в последующие фазы: в венозную фазу (ВФ) до +86 HU, в отсроченную фазу (ОФ) до +68 HU. При этом, отчетливая однородность внутренней структуры узла сохранялась во все фазы исследования (рис. 1 а-г — стрелки). Других пато-

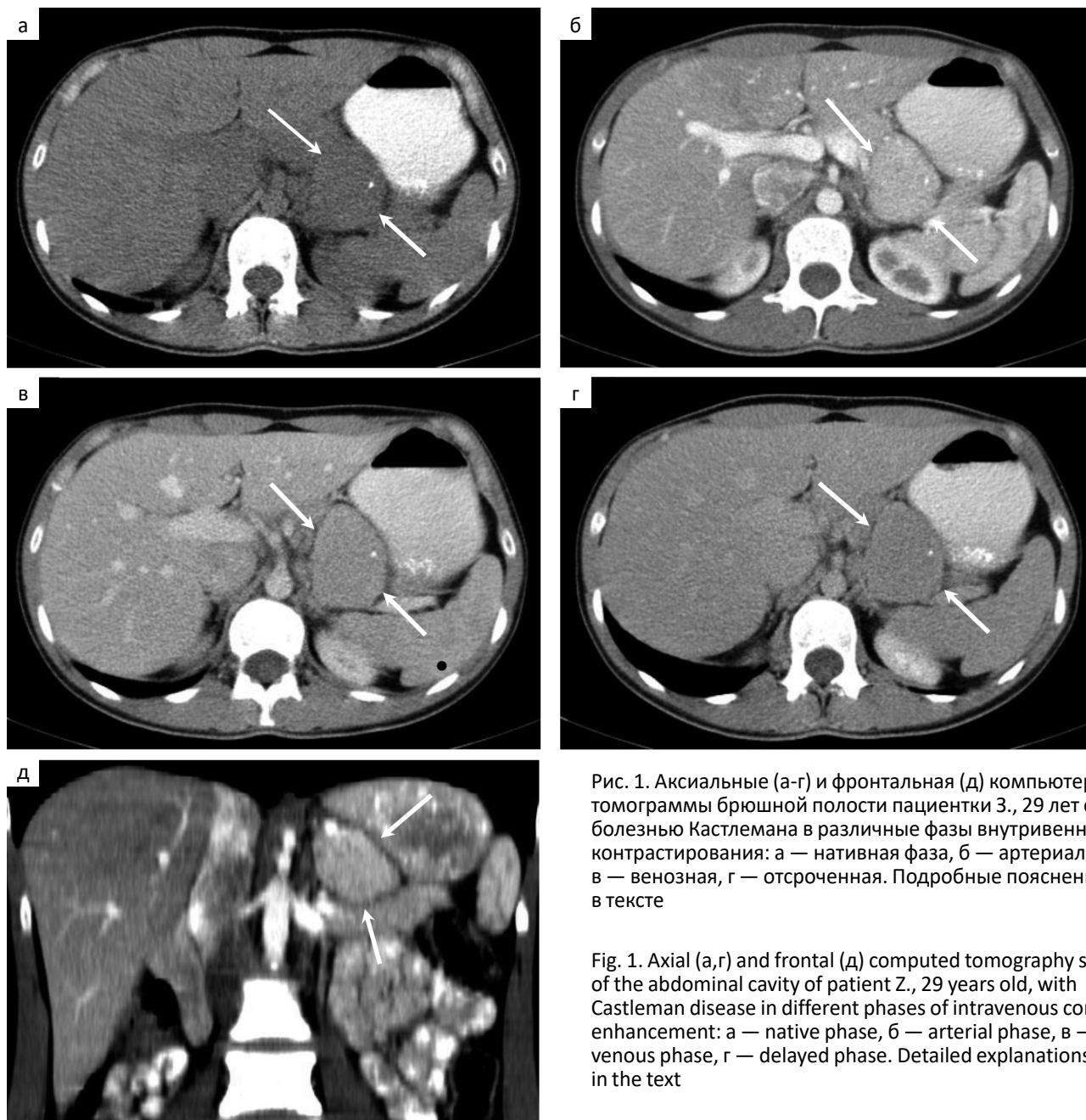


Рис. 1. Аксиальные (а-г) и фронтальная (д) компьютерные томограммы брюшной полости пациентки З., 29 лет с болезнью Кастлемана в различные фазы внутривенного контрастирования: а — нативная фаза, б — артериальная, в — венозная, г — отсроченная. Подробные пояснения — в тексте

Fig. 1. Axial (a,g) and frontal (д) computed tomography scans of the abdominal cavity of patient Z., 29 years old, with Castleman disease in different phases of intravenous contrast enhancement: а — native phase, б — arterial phase, в — venous phase, г — delayed phase. Detailed explanations are in the text

логических образований в брюшной полости не выявлено.

**Заключение:** с учетом длительности анамнеза (4 года), отсутствия динамики процесса за указанный период наблюдения и однородности контрастирования узлового образования во все фазы исследования можно думать о его доброкачественной природе (болезнь Кастлемана?).

На мультидисциплинарном консилиуме в связи с неопределенностью диагноза принято решение о выполнении оперативного вмешательства для морфологической верификации с последующим определением дальнейшей тактики лечения.

Интраоперационно: в области малого сальника, тесно прилегая к малой кривизне желудка и

чревному стволу определялось овальное, в тонкой капсуле, мягко-эластичное образование размерами около 6×5 см, розовато-вишневого цвета. Создавалось впечатление, что определяемый узел исходил из малой кривизны желудка. При мобилизации узла (без технических трудностей) установлено, что его связи со стенкой желудка не было.

При морфологическом исследовании удаленного макропрепарата: макроскопически — узел в тонкой капсуле, размерами около 5×5×3,5 см, на разрезе серо-розоватого цвета, дольчатого вида. Микроскопически: ткань лимфатического узла с нарушенной архитектоникой за счет пролиферации мелких лимфоидных элементов. Судить о характере процесса: реактивный? опухолевый? (гемо-

бластоз?) по материалу срочного исследования не представлялось возможным. Необходимо плановое иммуногистохимическое (ИГХ) исследование, поэтому было принято решение ограничиться указанным объемом операции.

При плановом ИГХ-исследовании: в ткани удаленного узла — морфологическая картина болезни Кастлемана (гиалиново-васкулярный тип).

Послеоперационный период протекал без особенностей и пациентка в удовлетворительном состоянии была выписана под наблюдение онколога по месту жительства.

### Второй клинический случай

У пациентки 3. 46 лет, при профилактическом обследовании в поликлинике по месту жительства по данным УЗИ брюшной полости выявлена забрюшинная неорганичная «опухоль». Каких-либо жалоб на тот момент пациентка не предъявляла.

При госпитализации по месту жительства произведена пробная лапаротомия с биопсией выявленной «опухоли». Объем операции был ограничен в связи с местной распространенностью патологического процесса — визуально определялось отчетливое врастание «опухоли» в нижнюю полую вену

(НПВ). При морфологическом исследовании материала биопсии: подозрение на лимфопролиферативное заболевание. Рекомендована консультация в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина.

На момент обращения в Онкоцентр пациентка предъявляла жалобы только на слабость.

При контрольной КТ с внутривенным болюсным контрастированием в забрюшинной клетчатке справа, в аорто-кавальном промежутке, определялось крупное узловое образование овальной формы размерами около 7×4 см с довольно четкими, ровными контурами и неомогенной, кистозно-солидной внутренней структурой с наличием множественных разнообразных, частично сливающихся кальцинатов (рис. 2 — стрелки). При внутривенном контрастировании отмечалось заметное, но неравномерное усиление внутренней структуры узла в различные фазы исследования (рис. 2 б, в — стрелки). По данным КТ, узел был окружен отчетливыми разделительными жировыми прослойками с элементами фиброзной тяжистости, что предполагало отсутствие тесной взаимосвязи с окружающими анатомическими элементами (в том числе и с НПВ). Заключение: формальная КТ-картина забрюшинной неорганичной опухоли.

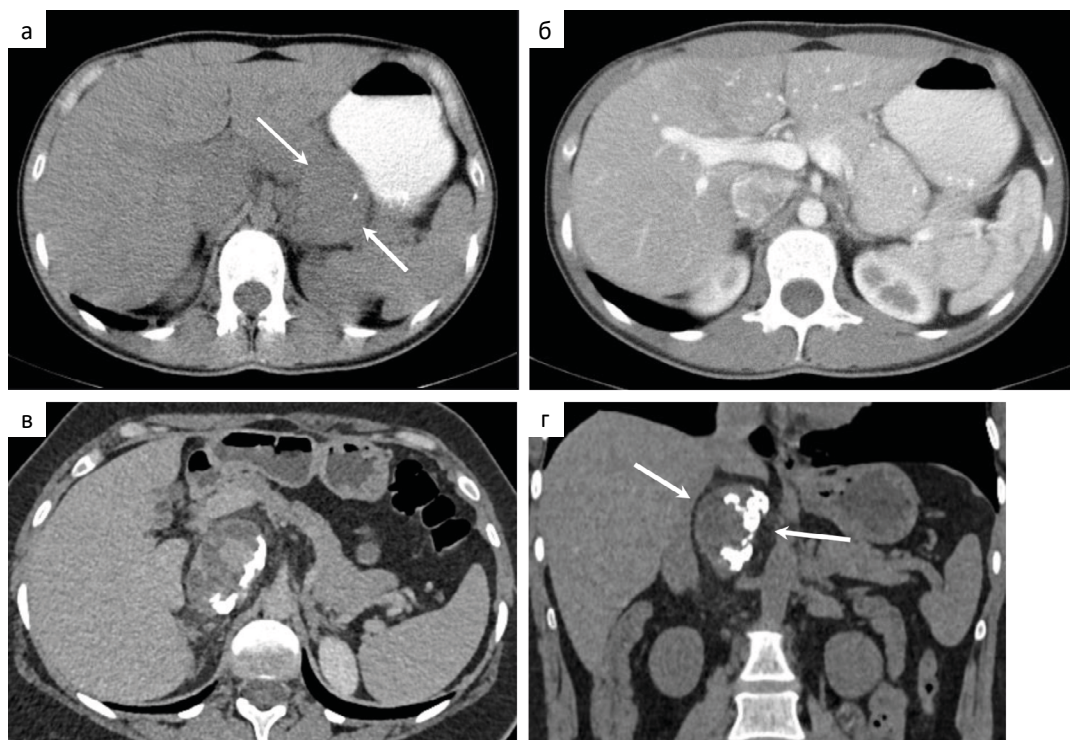


Рис. 2. Аксиальные (а—в) и фронтальная (г) компьютерные томограммы брюшной полости пациентки 3. 46 лет с болезнью Кастлемана в различные фазы внутривенного контрастирования. а — нативная фаза: плотность однородного мягкотканного участка в новообразовании (звездочка) +37 HU; б — в артериальную фазу +93 HU; в — в венозную фазу +80 HU. Подробные пояснения — в тексте

Fig. 2. Axial (a-v) and frontal (г) computed tomography scans of the abdominal cavity of patient Z., 46 years old, with Castleman disease in different phases of intravenous contrast enhancement. a — native phase: density of a homogeneous soft-tissue area in the neoplasm (asterisk) +37 HU; б — arterial phase: +93 HU; в — venous phase: +80 HU. Detailed explanations are in the text

Все полученные результаты обследования пациентки обсуждены на мультидисциплинарном консилиуме и принято решение о проведении хирургического вмешательства в объеме удаления забрюшинного новообразования.

При интраоперационной ревизии: в брюшной полости умеренно выраженный спаечный процесс. Забрюшинно справа, в аорто-кавальном промежутке, определялось опухолевидное образование до 10 см в диаметре, оттеснявшее НПВ вправо, левую почечную вену кпереди, правый надпочечник кзади и вправо, воротную вену и головку поджелудочной железы кпереди. С большими техническими трудностями узловое образование было мобилизовано со всех сторон и удалено без нарушения целостности его капсулы.

При морфологическом исследовании удаленного макропрепарата: макроскопически — узловое образование общими размерами 6,5×8,5×5 см, окруженное плотной соединительной тканью толщиной от 0,3 см до 0,5 см. Узел неоднородной консистенции с участками мягкой эластичной плотности и очагами костной плотности. На разрезе образование неоднородное, представлено кистами с жидким, полупрозрачным содержимым желтовато-коричневатого цвета, очагами костной плотности,

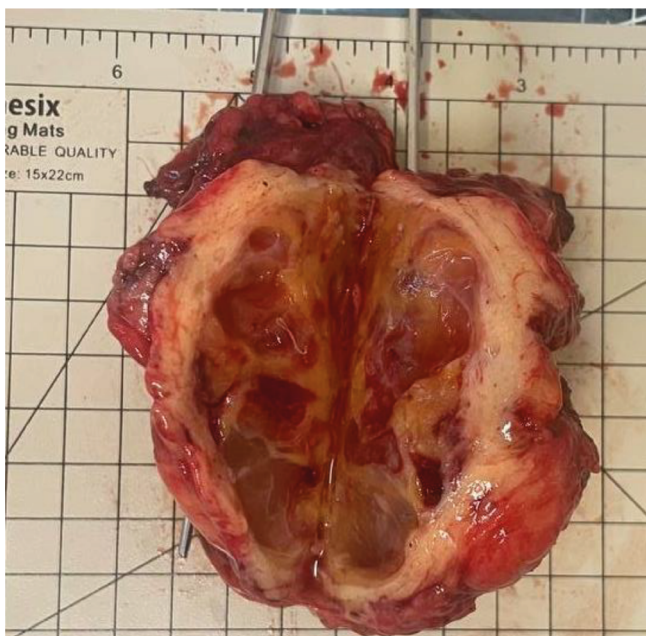


Рис. 3. Макропрепарат удаленного забрюшинного узлового образования у той же пациентки З. 46 лет с болезнью Кастлемана. На разрезе узла — кисты, заполненные полупрозрачным жидким содержимым с очагами костной плотности

Fig. 3. Macroscopic specimen of the resected retroperitoneal nodular formation in the same patient Z., 46 years old, with Castleman disease. A cross-section of the node reveals cysts filled with translucent fluid contents and foci of bone density

участками белесоватого и желтовато-белесоватого цвета мягко-эластичной консистенции с фокусами розоватого цвета (рис. 3). Микроскопически — новообразование представлено лимфоидной тканью, в которой определялись первичные и вторичные фолликулы, часть герминативных центров «регрессивные», мелких размеров, с пролиферацией в них фолликулярных дендритных клеток, с отложениями гомогенного эозинофильного вещества. При ИГХ-исследовании установлена болезнь Кастлемана гиалиново-васкулярного типа с очагами оссификации.

Послеоперационный период протекал без особенностей и пациентка была выписана под наблюдение онколога по месту жительства.

### Обсуждение

Следует отметить, что при лучевых методах исследования каких-либо особых или специфических признаков болезни Кастлемана не имеет. Выявляемые изменения неспецифичны и встречаются при ряде других заболеваний — опухолевых, аутоиммунных и др. У пациентов с локальной формой БК выявляют одиночное объемное образование (увеличенный лимфатический узел), с отграниченным или инфильтративным ростом. В 15 % процентов случаев может наблюдаться неравномерная кальцинация образования. При исследованиях с внутривенным контрастированием отмечается, как правило, интенсивное и равномерное усиление всей опухолевидной массы. У пациентов с мультицентрической формой выявляется двусторонняя лимфаденопатия средостения, диффузная абдоминальная лимфаденопатия, гепатоспленомегалия, асцит [7].

Что касается представленных нами наблюдений, то в первом из них, особых сложностей в диагностике и в процессе оперативного вмешательства отмечено не было. Предоперационная КТ-диагностика в данном случае, на основе накопленного в Онкоцентре опыта, не вызвала затруднений, а хирургическое удаление новообразования не сопровождалось техническими трудностями.

Во втором нашем наблюдении особенности отображения выявленного объемного образования, а именно отчетливая неоднородность его внутренней структуры с выраженной кальцинацией не позволили нам сформулировать корректный диагноз, ограничившись общим предположением о наличии забрюшинной неорганической опухоли. Следует упомянуть, что первичное хирургическое вмешательство по месту жительства оказалось пробным, т.к. интраоперационно имело место визуальное впечатление о вращении «опухоли» в НПВ. Хотя, по представленным данным КТ и повторном

КТ-исследовании типичных признаков инвазии узлов образования в окружающие ткани выявлено не было — определяемый, преимущественно мягкотканый узел с массивной кальцинацией был окружен отчетливыми разделительными жировыми прослойками с умеренной выраженной фиброзной тяжистостью в них.

Как известно, наличие разделительных жировых прослоек (по данным дооперационных лучевых методов диагностики) между опухолевыми либо опухолевидными новообразованиями и смежными анатомическими элементами обычно предполагает отсутствие тесной взаимосвязи между ними, однако, в данном случае окружающая жировая ткань с выявленными элементами фиброза, вероятно, представляла собой либо составную часть опухолевидного массива, либо выраженный паранеопластический процесс, что и обусловило значительные технические трудности при мобилизации новообразования. Более простым объяснением таких трудностей можно считать развитие послеоперационного фиброза после первичного (пробного) хирургического вмешательства. Очевидно, что данный факт целесообразно учитывать при планировании повторного хирургического вмешательства у подобных пациентов.

## Заключение

Предоперационная корректная диагностика болезни Кастлемана (как лучевая, так и морфологическая) возможны не всегда, но большой клинический опыт и накопленные в крупных онкологических центрах знания о проявлениях этого редкого заболевания позволяют предполагать такой диагноз.

Радикальное хирургическое удаление вовлеченных в патологический процесс лимфатических узлов приводит обычно к полному излечению пациентов [4–6]. При крупных размерах таких образований (в средостении или забрюшинно) возможно применение лучевой терапии с целью уменьшения их объема. В неоперабельных случаях возможно проведение лучевой терапии в сочетании с гормональной или полихимиотерапией [10, 11]. Наиболее распространенные схемы химиотерапии: СНОР (циклофосфамид, преднизолон, винкристин, адриамицин) и CVAD (циклофосфамид, дексаметазон, винбластин, адриамицин) в соответствующих режимах и дозах [10].

Вследствие отсутствия единых подходов к лечению данного заболевания и различных гистопатологических вариантов болезни, а также малого

количества соответствующих пациентов, общепринятой тактики их лечения пока еще нет.

## Список литературы / References

1. Simpson D. Epidemiology of Castleman Disease. *Hematol Oncol Clin North Am.* 2018;32(1):1-10. <https://doi.org/10.1016/j.hoc.2017.09.001>. PMID: 29157611.
2. Егорова, ЕК. Клинико-морфологические особенности различных вариантов болезни Кастлемана: Дис. ... канд. мед. наук М., 2016. 121 с. <https://blood.ru/pdf/dc/yegorova.pdf>.  
Yegorova EK. Clinical and morphological features of different variants of Castleman disease [dissertation]. Moscow: Hematology Research Center of the Russian Academy of Medical Sciences; 2016. 121 p. (In Russ.).
3. Румянцев АГ, Масчан АА, с соавт. Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению болезни Кастлемана у детей. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. — 25 с.6. [http://nodgo.org/sites/default/files/07\\_Болезнь\\_Кастлемана.pdf](http://nodgo.org/sites/default/files/07_Болезнь_Кастлемана.pdf).  
Rumyantsev AG, Maschan AA, et al. Federal clinical guidelines for the diagnosis and treatment of Castleman disease in children. Moscow: GEOTAR-Media; 2015. 25 p. URL:[http://nodgo.org/sites/default/files/07\\_Болезнь\\_Кастлемана.pdf](http://nodgo.org/sites/default/files/07_Болезнь_Кастлемана.pdf). (In Russ.).
4. Меликян АЛ, Егорова ЕК. Болезнь Кастлемана (обзор литературы). *Онкогематология.* 2016;11(2):8-19. <https://doi.org/10.17650/1818-8346-2016-11-2-8-20>.  
Melikyan AL, Yegorova EK. Castleman's disease (literature review). *Oncohematology.* 2016;11(2):8-19. <https://doi.org/10.17650/1818-8346-2016-11-2-8-20>. (In Russ.).
5. Печетов АА, Кармазановский ГГ, Смирнов АВ. Болезнь Кастлемана. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2014;(4):65-9. <https://www.mediasphera.ru/issues/khirurgiya-zhurnal-im-n-i-pirogova/2014/4/030023-12072014415>.  
Pechetov AA, Karmazanovsky GG, Smirnov AV. Castleman's disease. *Surgery N.I. Pirogova Journal.* 2014;(4):65-9. (In Russ.). <https://www.mediasphera.ru/issues/khirurgiya-zhurnal-im-n-i-pirogova/2014/4/030023-12072014415>.
6. Soumerai JD, Sohani AR, Abramson JS. Diagnosis and management of Castleman disease. *Cancer Control.* 2014;21(4):266-78. <https://doi.org/10.1177/107327481402100403>. PMID: 25310208.
7. Ko SF, Hsieh MJ, Ng SH, et al. Imaging spectrum of Castleman's disease. *AJR Am J Roentgenol.* 2004;182(3):769-75. <https://doi.org/10.2214/ajr.182.3.1820769>. PMID: 14975984.
8. Yoshizaki K, Matsuda T, Nishimoto N, et al. Pathogenic significance of interleukin-6 (IL-6/BSF-2) in Castleman's disease. *Blood.* 1989;74(4):1360-67. <https://doi.org/10.2214/ajr.182.3.1820769>. PMID: 2788466.
9. Suda T, Katano H, Delsol G, et al. HHV-8 infection status of AIDS-unrelated and AIDS-associated multicentric Castleman's disease. *Pathol Int.* 2001;51(9):671-9. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1827.2001.01266.x>. PMID: 11696169.
10. Chronowski GM, Ha CS, Wilder RB, et al. Treatment of unicentric and multicentric Castleman disease and the role of radiotherapy. *Cancer.* 2001;92(3):670-6. [https://doi.org/10.1002/1097-0142\(20010801\)92:3%3C670::aid-cnrc1369%3E3.0.co;2-q](https://doi.org/10.1002/1097-0142(20010801)92:3%3C670::aid-cnrc1369%3E3.0.co;2-q). PMID: 11505414.
11. Miranda FA, Faria VH, Arruda GV, et al. Radiation therapy in the treatment of unicentric Castleman's disease. *J Bras Pneumol.* 2013;39(1):116-8. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132013000100019>. PMID: 23503497; PMCID: PMC4075797.

## Information about the authors:

Aleksander B. Lukianchenko, <https://orcid.org/0000-0002-7021-6419>  
Xenia A. Romanova, <https://orcid.org/0000-0002-8938-3313>  
Pavel S. Kropotov, <https://orcid.org/0009-0001-6407-7547>  
Ivan S. Stilidi, <https://orcid.org/0000-0002-5229-8203>  
Elina B. Kodzoeva, <https://orcid.org/0009-0005-3596-3661>

**Вклад авторов**

А.Б. Лукьянченко: сбор и обработка материала, написание статьи.  
П.С. Кропотов: редактирование статьи и ее подготовка к публикации  
К.А. Романова: подготовка иллюстраций, перевод фрагментов статьи на английский язык.  
И.С. Стилиди: редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.  
Э.Б. Кодзоева: редактирование статьи.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

**Соответствие принципам этики.** Одобрено локальным этическим комитетом.

**Информированное согласие.** Все пациенты подписали информированное согласие на публикацию своих данных.

**Поступила:** 14.12.2025.

**Принята к публикации:** 01.02.2026.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

**Authors' contributions**

A.B. Lukyanchenko: data collection and processing, writing the article.  
P.S. Kropotov: editing the article and preparing it for the publication  
K.A. Romanova: preparing images and translation in English.  
I.S. Stilidi: editing the article, approval of the final version of the article.  
E.B. Kodzoeva: editing the article.

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** Not declared.

**Ethical compliance.** Approved by the local ethics committee.

**Informed consent.** All patients signed informed consent to the publication of their data compliance with patient rights

**Received:** 14.12.2025.

**Accepted for publication:** 01.02.2026.

**Published online:** 26.03.2026.

## ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ С КОНТРАСТНЫМ УСИЛЕНИЕМ В ДИАГНОСТИКЕ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Чекина Н.А.✉, Афанасьев А.Б., Абдураимов А.Б., Андронов А.К.

Филиал Московского клинического научного центра им. А.С. Логинова ДЗ г. Москвы «Маммологический центр»; Россия, 111123 Москва, шоссе Энтузиастов, 86

✉ Чекина Наталия Алексеевна, [ivachekin@rambler.ru](mailto:ivachekin@rambler.ru) 8(915)-484-34-92

### РЕФЕРАТ

Обобщены результаты современных научных исследований, посвященных применению трех методов визуализации для диагностики рака молочной железы: двухэнергетической контрастной спектральной маммографии (CESM), магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением (МРТ) и ультразвукового исследования с контрастированием (CEUS). Авторами проанализированы диагностические возможности и общая эффективность этих методов. На основе анализа сделан вывод о необходимости дальнейших исследований по сравнению CESM, МРТ и CEUS в одной группе пациентов. Это позволит лучше понять, как эти методы влияют на планирование лечения, выбор терапии и достижение положительных клинических результатов.

**Ключевые слова:** рак молочной железы, контрастная спектральная маммография, магнитно-резонансная томография с контрастным усилением, ультразвуковое исследование с контрастированием

**Для цитирования:** Чекина Н.А., Афанасьев А.Б., Абдураимов А.Б., Андронов А.К. Лучевые методы исследования с контрастным усилением в диагностике рака молочной железы: обзор литературы. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):60-68.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-60-68>

## RADIATION RESEARCH METHODS WITH CONTRAST ENHANCEMENT IN THE DIAGNOSIS OF BREAST CANCER: LITERATURE REVIEW

Natalia A. Chekina✉, Alexey B. Afanasyev, Adhamjon B. Abduraimov, Artem K. Andronov

Branch A.S. Loginov Moscow Clinical Scientific Center "Mammology Center"; 86, Entuziastov Highway, Moscow, Russia 111123

✉ Natalia Alekseevna Chekina, [ivachekin@rambler.ru](mailto:ivachekin@rambler.ru) 8(915)-484-34-92

### ABSTRACT

This article summarizes the results of modern scientific research on the use of three imaging methods for the diagnosis of breast cancer: dual-energy contrast spectral mammography (CESM), magnetic resonance imaging with contrast enhancement (MRI) and ultrasound with contrast (CEUS). The authors analyzed the diagnostic capabilities and overall effectiveness of these methods. Based on the analysis, it is concluded that further studies comparing CESM, MRI and CEUS in the same patient group are necessary. This will allow us to better understand how these methods affect treatment planning, therapy selection, and achieving positive clinical results.

**Key words:** breast cancer, contrast-enhanced spectral mammography, contrast-enhanced magnetic resonance imaging, contrast-enhanced ultrasound

**For citation:** Chekina N.A., Afanasyev A.B., Abduraimov A.B., Andronov A.K. Radiation Research Methods with Contrast Enhancement in the Diagnosis of Breast Cancer: Literature Review. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):60-68. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-60-68>

### Введение

Рак молочной железы (РМЖ) является наиболее часто встречающимся видом рака во всём мире и остаётся второй по распространённости причиной смертности [1] среди женщин, несмотря на значительный прогресс в методах диагностики и лечения [2].

В Российской Федерации РМЖ занимает ведущие позиции в структуре как общей онкологической заболеваемости (12,3 %), так и в структуре заболеваемости злокачественных новообразований (ЗНО) у женщин (22,5 %). В 2023 г. в России выявлено 82 499 новых случаев рака молочной железы. Количество выявляемых случаев растёт,

среднегодовой темп прироста составляет 2,04 %. Наибольший удельный вес заболеваемости РМЖ приходится на возрастную группу 30–59 лет (18 %). В 2023 г. на поздних стадиях (III–IV) выявлены 24,4 % (2022 г. — 25,9 %) [3], в связи с этим ранняя диагностика рака молочной железы, на доклинической стадии развития, остаётся одной из приоритетных задач в онкологии [4]. Своевременное выявление может значительно улучшить результаты лечения пациентов, а 5-летняя выживаемость женщин с раком молочной железы, диагностированным на ранней стадии, превышает 90 % [5]. Эффективный скрининг играет ключевую роль в снижении смертности.

В настоящее время цифровая маммография (ЦМГ) остается основным методом скрининговой диагностики в системе здравоохранения [6]. Скрининговая маммография снижает смертность от рака молочной железы на 30–40 % у женщин в возрасте 40–74 лет с чувствительностью 70 % и специфичностью 92 % [7]. Существуют определенные ограничения для использования данного метода: это пациентки до 40 лет, а также женщины в период беременности и лактации. Диагностическая ценность цифровой маммографии также может быть снижена при наличии у пациенток рентгенонегативного образования и образования, попадающего в край снимка, так называемые «слепые зоны». У женщин с плотным рентгеновским фоном (ACR-C, D) чувствительность маммографии снижается на 30–48 % [8].

В последнее время отмечается тенденция к увеличению заболеваемости раком молочной железы среди пациенток молодого возраста (до 40 лет). В данной категории пациентов превалирует высокая плотность ткани молочной железы, которая выступает как независимый фактор риска развития РМЖ, повышая его вероятность в 4–6 раз [8, 9]. Данные обстоятельства способствуют более поздней диагностике РМЖ, что ассоциируется с ухудшением прогноза, увеличением риска рецидивов и отдаленного метастазирования [10]. Кроме того, исследования ряда авторов выявили данные, подтверждающие ассоциацию между высокой маммографической плотностью и увеличенной вероятностью развития трижды негативного рака молочной железы [11]. Важно отметить, что у женщин с плотной тканью молочной железы значительно возрастает вероятность обнаружения интервального рака, что подчеркивает необходимость дополни-

тельных методов диагностики помимо стандартного скрининга [12].

В течение последних двух десятилетий были разработаны и протестированы новые методы для улучшения диагностики РМЖ. Они основаны на биологическом принципе неоангиогенеза, который делает сосуды, связанные со злокачественными новообразованиями, более проницаемыми для контрастного вещества, чем здоровые ткани [13].

Как известно, неоангиогенез — один из ключевых компонентов патогенеза опухолевого процесса. Несмотря на способность опухолевых клеток длительное время существовать в условиях дефицита кислорода и питательных субстратов, без кровеносных сосудов опухоль теряет способность к росту и метастазированию. Точно так же, без эффективной сети кровоснабжения опухоли, химиотерапевтические препараты не в состоянии достигнуть всех участков образования в необходимых концентрациях [14]. Использование контрастного усиления для оценки кровоснабжения опухоли может помочь в выявлении и дифференциальной диагностике образований молочной железы.

К исследованиям, в которых используется контрастный препарат, относятся двухэнергетическая контрастная спектральная маммография (contrast-enhanced spectral mammography — CESH), магнитно-резонансная томография с контрастным усилением (contrast-enhanced magnetic resonance imaging — MPT) и ультразвуковое исследование с контрастированием (contrast-enhanced ultrasound — CEUS) [15].

CESM представляет собой один из самых современных методов диагностики патологических изменений молочной железы (рис. 1). Это методика исследования, которая совмещает достоинства классической маммографии и магнитно-резонанс-

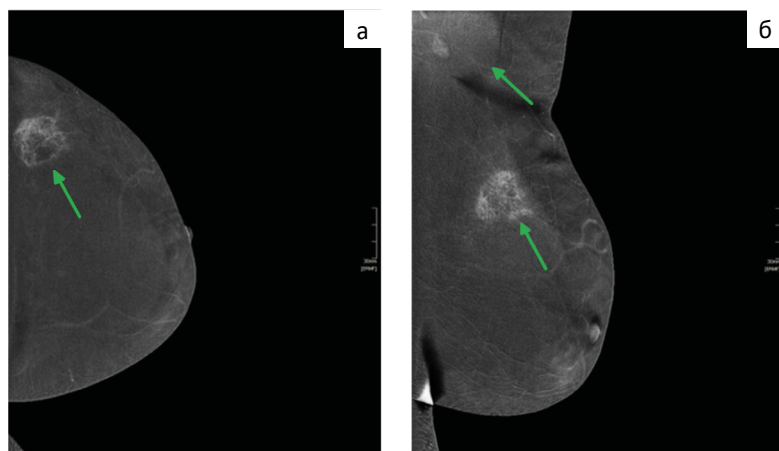


Рис. 1. Маммография с контрастным усилением: а — прямая краниокаудальная проекция, б — косая медиально-латеральная проекция. Рак левой молочной железы. В аксиллярной области определяется плотный лимфатический узел  
Fig. 1. Contrast-enhanced mammography: а — craniocaudal projection, б — medial-lateral projection. Left breast cancer. A dense lymph node is detected in the axillary region

ной томографии. Ее особенностью является внутривенное введение йодсодержащего контрастного вещества, что позволяет обнаружить области повышенного кровотока. Продолжительность исследования не превышает 7–10 мин [16]. CЕСM основана на возможности накопления контрастного вещества образованиями по сравнению с окружающей тканью молочной железы. Несмотря на то, что цифровая маммография продолжает оставаться скрининговым методом, уже многие исследования показали, что в диагностике рака молочной железы CЕСM обладает более высокой чувствительностью и специфичностью.

По данным Suter et al, чувствительность и специфичность CЕСM достигают 85–100 % и 77–87,7 % у клинически симптоматичных пациенток с сомнительными находками при маммографии [17, 18] при этом, цифровая маммография демонстрирует более низкую специфичность (64,5 %) при сравнимой чувствительности (97 %) [19].

Следует отметить, что на основании данных CЕСM возможно провести дифференциальную диагностику кальцинатов, участков структурной перестройки, асимметрий и узловых образований молочной железы. Кроме того, CЕСM позволяет количественно оценить степень перфузии контрастного вещества в исследуемой области.

Данный метод способен обнаруживать метастазы в подмышечных лимфатических узлах без выявленного при маммографии и ультразвуковом исследовании патологического образования в молочной железе. Важно, что CЕСM помогает оценить локальное распространение РМЖ и эффективность предоперационной химиотерапии, а также выявлять прогрессирование или рецидив после операции.

К числу основных достоинств данного метода относятся доступность, невысокая стоимость, простота и быстрота выполнения. Важное преимущество CЕСM заключается в том, что ее информативность не зависит от рентгеновской плотности тканей молочной железы [20]. Для женщин с плотной тканью молочной железы CЕСM это надежный метод диагностики РМЖ. В исследованиях Cheung et al [15], Sudhir et al [21] CЕСM имеет чувствительность 92,7 % — 96,5 %, специфичность 67,9 — 81 %. Особого внимания заслуживает способность CЕСM обнаруживать неоангиогенез, применяющийся для оценки мультицентричности рака молочной железы [22], что отражено в исследовании А.В. Черной и соавт., где чувствительность CЕСM составила 88,0 %, точность — 92,2 %, специфичность — 93,0 % [16]. Целесообразно отметить, что некоторые формы раннего РМЖ сопровождаются скоплением микрокальцинатов [23]. Эти участки преимущественно визуализируются при низкоэнергетических

изображениях CЕСM, однако дополнение рекомбинированного режима позволяет более точно оценивать истинные контуры и объем патологического образования [6].

Безусловно, CЕСM обладает рядом ограничений. В частности, требуется предоставление результатов исследования уровня креатинина в крови, что обусловлено противопоказанием данного метода при наличии почечной недостаточности. Лучевая нагрузка — основной недостаток метода [24], стоит отметить, что доза облучения при CЕСM в 1,5–1,8 раза выше, чем при цифровой маммографии [22]. Нельзя забывать, что это исследование требует внутривенного введения йодсодержащего контрастного вещества, что недопустимо при наличии аллергической реакции на йод [6]. Кроме того, на основании данных CЕСM невозможно определить состояние надключичных, подключичных и парастернальных лимфатических узлов, ограничена визуализация аксиллярных лимфатических узлов, что затрудняет объективную оценку степени распространения рака молочной железы [25].

Обязательным условием, определяющим тактику лечения пациента со злокачественным новообразованием, является верификация диагноза. В последние годы предпочтительна именно трепан-биопсия подозрительных на злокачественные новообразования участков, позволяющая не только определить гистологический тип строения опухоли, но и оценить ее рецепторный статус [26]. Стереотаксическая биопсия под контролем CЕСM является самой инновационной техникой, которая позволяет осуществить забор материала из участка повышенного накопления контрастного вещества. Эта процедура схожа по объему получаемой информации с биопсией молочной железы под контролем МРТ, однако CЕСM быстрее и технически проще в исполнении, менее затратно, более положительно воспринимается пациентами, меньше противопоказаний, чем у МРТ [27]. До появления контрастной лучевой диагностики РМЖ, количество необоснованных биопсий составляло до 20 % [6].

Как отмечалось выше, неоангиогенез является классическим признаком злокачественных новообразований. Применение CЕСM в диагностике РМЖ позволяет выявить участки, накопившие контрастное вещество, без окружающей нормальной ткани молочной железы [15]. Для более точной оценки перфузии образования и получения детализированных изображений применяется МРТ с контрастным усилением (рис. 2).

МРТ позволяет оценивать проницаемость кровеносных сосудов с помощью внутривенного введения контрастного вещества (хелата гадолиния) [29]. Классический протокол занимает около

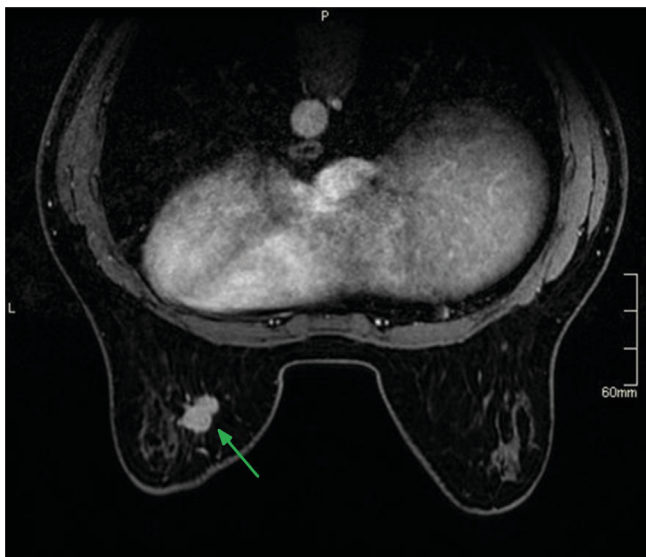


Рис. 2. МРТ с контрастным усилением. Рак левой молочной железы

Fig. 2. Contrast-enhanced MRI. Left breast cancer.

40 мин и генерирует несколько сотен изображений [30]. Основной принцип заключается в том, что неоангиогенез приводит к образованию негерметичных сосудов, которые способствуют более быстрой экстравазации контрастных веществ [31], что приводит к быстрому локальному усилению. Злокачественные поражения, как правило, демонстрируют раннее гиперусиление в артериальной фазе и быстрое вымывание по сравнению с доброкачественными поражениями [32, 33].

МРТ у молодых женщин со средним риском развития РМЖ должна применяться в соответствии с общепринятыми мировыми рекомендациями: в трудных диагностических случаях, когда остальные методы лучевой диагностики не могут определить диагноз; при наличии метастазов РМЖ в аксиллярных лимфоузлах, когда первичное поражение в молочной железе не удалось выявить с помощью ультразвукового исследования и маммографии; в случае подтвержденного РМЖ — для определения распространенности процесса и для предоперационного планирования [34], после проведенного оперативного лечения в случае положительных краев резекции — для определения резидуальной опухоли; у пациенток в процессе неоадьювантной химиотерапии — для контроля динамики лечения [10]. МРТ обладает высокой чувствительностью для выявления РМЖ, не связана с воздействием ионизирующего излучения, что делает её более безопасной для пациенток [34]. Однако недостатками метода являются высокая стоимость, недостаточная чувствительность в выявлении микрокальцинатов и высокая степень ложноположительных результатов [35]. В частности,

при скрининге плотной ткани молочной железы частота ложноположительных результатов МРТ в исследованиях Bakker et al составляет 8 %, а по данным Saslow et al — до 19 %, что соответственно увеличивает количество нежелательных биопсий [36]. Согласно литературным данным, МРТ молочной железы обладает высокой чувствительностью при выявлении различных типов поражений молочной железы — от 94 до 99 %, но довольно низкой специфичностью — от 50 до 80 % [37]. Однако является более чувствительной методикой и способной обнаруживать более мелкие опухоли на более ранних стадиях [38].

Как любой диагностический метод, МРТ имеет свои недостатки. Ограничения включают невозможность динамического наблюдения за пораженными участками в режиме реального времени, а также длительность проведения исследования. Среди относительных противопоказаний выделяют индивидуальную реакцию на компоненты контрастного препарата, нарушения функции почек, клаустрофобия и наличие металлических имплантатов. Вследствие этих факторов МРТ чаще всего используется в качестве дополнительного метода обследования [39, 40].

При сравнении CEM и МРТ согласно данным James et al, CEM дешевле, доступнее, быстрее в проведении и интерпретации, чем МРТ [41]. Женщины, имевшие опыт обеих процедур, явно предпочитают CEM [42]. Сравнения CEM и МРТ показали, что CEM не уступает в чувствительности при обнаружении рака [43], но дает меньше ложноположительных результатов [44]. CEM более доступна для определения РМЖ, чем МРТ, но может уступать ей в точности оценки распространенности опухолевого процесса.

В ретроспективном исследовании Kim et al [43], охватившем 84 женщины с 70 дополнительными образованиями (37 из которых оказались злокачественными), методы CEM и МРТ позволили обнаружить 31 из 37 злокачественных образований. При этом МРТ выявлено 5 дополнительных злокачественных поражений, которые не были обнаружены с помощью CEM.

В работе Jochelson et al [44] был проведен сравнительный анализ CEM и МРТ с целью выявления дополнительных злокачественных образований, не видимых при стандартной визуализации. Исследование выявило 25 дополнительных образований, из которых 16 были злокачественными. МРТ продемонстрировала более высокую чувствительность, обнаружив 15 из 16 дополнительных очагов РМЖ, по сравнению с 9, выявленными CEM. Также МРТ успешно идентифицировала все 11 очагов, требующих мастэктомии, в то время как CEM — 8 из

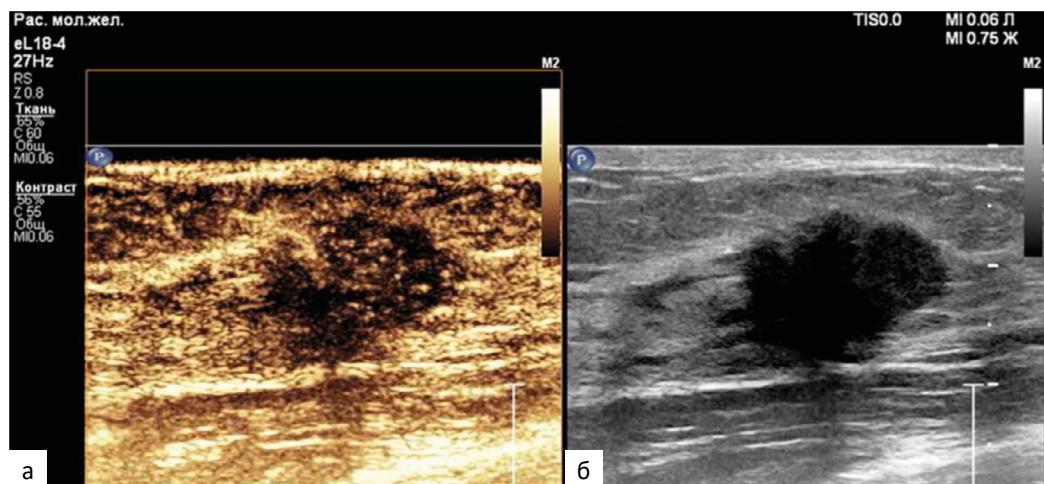


Рис. 3. УЗИ с контрастным усилением (а), УЗИ в В-режиме (б). Рак левой молочной железы

Fig. 3. Contrast-enhanced ultrasound (a), Ultrasound B-mode. Left breast cancer

11 (73 %) [44]. Авторы пришли к выводу, что МРТ может быть эффективнее CSEM при выявлении дополнительных скрытых очагов злокачественной опухоли.

МРТ долгое время считалась наиболее чувствительным методом определения степени распространенности РМЖ. Однако недостаточная специфичность и положительная прогностическая ценность, ограниченная доступность и переносимость пациентами, а также высокая стоимость способствовали разработке альтернативных методов [45], одним из таких методов является УЗИ с контрастным усилением — CEUS.

Внедрение контрастных веществ в ультразвуковую диагностику способствует повышению дифференциальной способности метода в отношении злокачественных и доброкачественных новообразований. Интеграция данной процедуры в стандартное ультразвуковое исследование, осуществляемое по согласованию с лечащим врачом, обеспечивает возможность ускоренной постановки диагноза [46], в отличие от CEM и МРТ, которые часто требуют предварительного направления на обследование и длительного ожидания, а иногда и вовсе противопоказаны.

CEUS — это новая технология, которая позволяет в реальном времени проследить циркуляцию контрастного препарата по опухолевым сосудам и рассчитать количественные параметры контрастирования с использованием программного обеспечения для построения временных кривых контрастирования по аналогии с МРТ [4, 47, 48]. Но в отличие от МРТ, ультразвуковой контраст не проникает в межклеточное вещество и циркулирует только в сосудах, что дает истинную оценку сосудистого русла при неангиогенезе [49]. В последние годы CEUS стал огромным прорывом в ультразвуковой диа-

гностике благодаря использованию микропузырькового контрастного вещества [50] (рис. 3). CEUS обладает значительным преимуществом, заключающимся в отсутствии радиационного воздействия. Тем не менее, для проведения исследования необходимо введение контрастного вещества, что требует подготовки пациента и наличия венозного доступа [49]. В ходе ультразвукового исследования молочной железы введение контрастного вещества позволяет получить более полное представление о характере поражений, а также визуализировать и идентифицировать лимфатические каналы (ЛК) и сторожевые лимфатические узлы (СЛУ). Для оценки поражений молочной железы контрастное вещество вводится внутривенно, а для визуализации ЛК и СЛУ оно вводится подкожно в околососковую область [51]. Доброкачественные образования обычно характеризуются минимальным кровотоком, в то время как злокачественные образования демонстрируют более высокий уровень ангиогенеза и максимальную скорость кровотока [52].

CEUS обеспечивает визуализацию микрососудистых деталей в режиме реального времени, в том числе кровотока со скоростью менее 1 мм/с и сосудов диаметром менее 1 мкм [53]. Состояние микроциркуляции в очагах поражения молочной железы является важным патологоанатомическим показателем злокачественности. Благодаря этому можно получить информацию о кровоснабжении опухоли, что необходимо для диагностики и отслеживания результатов лечения [54]. Недавние исследования показали, что диагностическая эффективность CEUS при поражении молочной железы сопоставима с эффективностью МРТ [55]. В исследовании Bonfiglio et al были сопоставлены данные CEUS с МРТ при дифференциации образований молочной железы с кальцификацией [56]. Полученные ре-

зультаты указывают, что CEUS обладает более высокой диагностической эффективностью, чем МРТ. Чувствительность МРТ и CEUS составила 90 % и 95 % ( $p > 0,05$ ), специфичность — 78,1 % и 96,8 % ( $p < 0,05$ ), точность — 82,6 % и 96,1 % ( $p < 0,05$ ) [37] соответственно. CEUS может помочь дифференцировать образования 3-й и 4-й категории по шкале BI-RADS и, таким образом, сократить количество биопсий, проводимых при доброкачественных образованиях [53]. Стоит отметить, что данный метод играет важную роль в оценке состояния подмышечных лимфоузлов, особенно когда при клиническом обследовании лимфатические узлы не вызывают подозрений и выглядят нормально при ультразвуковом исследовании в серой шкале. Наиболее значимое клиническое применение заключается в прогнозировании реакции на неoadъювантную химиотерапию, что позволяет корректировать терапию с помощью динамического наблюдения за пациентом [49]. CEUS приобрело популярность благодаря своей простоте, возможности динамического наблюдения в реальном времени и пригодности для повторных обследований [57].

Однако CEUS имеет недостаток в виде невозможности одновременной оценки нескольких образований из-за отсутствия панорамного изображения, в отличие от CEMM и МРТ. Кроме того, требуются УЗ-сканеры, которые оснащены специальным программным обеспечением. CEUS рекомендуется использовать в качестве заключительного этапа ультразвукового обследования, после выполнения базовой сонографии, что позволяет избежать применения более сложных и дорогостоящих методов исследования [53].

Сочетание ультразвукового исследования в серой шкале и CEUS повышает эффективность диагностики при подозрении на новообразования в молочной железе 3-й, 4-й категории по шкале BI-RADS, позволяя оценить изменения перфузии и микрососудистую архитектуру образования с большей точностью, чем при обычном доплеровском картировании. В исследовании Yindi Zhu et al [54] 2017–2023 гг. получены высокие значения диагностической эффективности CEUS: чувствительность, специфичность, точность составляет 92,8 %, 79,0 %, 86,3 % соответственно, что значительно повышает эффективность диагностики. Xiang et al [58] показали, что при изолированном применении УЗИ с контрастированием чувствительность, специфичность и точность составили 92,31 %, 60,38 % и 66,67 % ( $p = 0,001$ ) соответственно. Так же CEUS можно использовать для предоперационной оценки характера лимфатического оттока и состояния подмышечных лимфоузлов при раннем раке молоч-

ной железы, чтобы обеспечить точность их интраоперационной биопсии [59].

## Обсуждение

Одним из важных факторов при выборе метода визуализации является возможность быстро и точно поставить диагноз.

CEMM продемонстрировала высокую эффективность в диагностике РМЖ как при выявлении узловых образований, так и при обнаружении микрокальцинатов, благодаря своей чувствительности и специфичности. Преимущества CEMM перед МРТ с контрастом заключаются в ее доступности и простоте, что облегчает раннее выявление РМЖ. В то же время, МРТ может оказаться более эффективным инструментом для оценки степени распространения опухоли.

Использование CEUS и последующий анализ полученных данных значительно улучшает дифференциальную диагностику опухолей молочной железы за счет детального изучения сосудистой структуры образования. Это позволяет уменьшить количество дополнительных методов обследования и необоснованных биопсий, а также способствует более эффективному планированию хирургического и комплексного лечения.

Учитывая вышеизложенное, для полного понимания сравнительного воздействия CEMM, МРТ и CEUS на планирование лечения, выбор терапии и достижение клинических результатов, необходимы дальнейшие исследования. В частности, будущие работы должны предусматривать комплексное сравнение всех трех методов визуализации в рамках одной и той же группы пациентов.

Есть основания полагать, что в будущем будет установлено, что различные молекулярные подтипы РМЖ связаны с индивидуальными особенностями перфузии, которые можно будет определить, изучив их микроциркуляторную систему. В настоящее время преобладающая часть научных публикаций фокусируется на дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных поражений молочной железы. Количество исследований, оценивающих микроциркуляцию РМЖ различных молекулярных подтипов, а также применение CEUS для оценки регресса опухоли на фоне неoadъювантной химиотерапии, является ограниченным. Так, например в исследовании Li et al [60] между протоковой карциномой молочной железы *in situ* и инвазивной протоковой карциномой наблюдалась значительная разница в интенсивности контрастирования, дефектах перфузии, периферическом контрастировании, внутриопухолевых сосудах и времени поступления контрастного препарата.

## Заключение

Каждый из представленных методов CЕСM, МРТ и CEUS в диагностике РМЖ имеет свои преимущества и ограничения. Осознание этих характеристик является основой для выбора наиболее эффективного метода визуализации при подозрении на РМЖ, ведь точная диагностика этого заболевания является первостепенной целью любого диагностического исследования.

## Список литературы / References

- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin* 2021;71:209-249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>.
- Gradishar WJ, Moran MS, Abraham J, et al. Breast Cancer, Version 3.2024, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J Natl Compr Canc Netw* 2024;22:331-357. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2024.0035>. PMID: 39019058.
- Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность). Под ред. АД Каприна [и др.]. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2024. 276 с. Malignant neoplasms in Russia in 2023 (morbidity and mortality) ed. by AD Kaprin et al. Moscow, 2024. 276 p. (In Russ.).
- Гажонова ВЕ, Зубарев АВ, Пулатова ИЗ. Инновационные подходы в диагностике очаговых образований молочной железы категории BI-RADS 3-4: роль и перспективы интеграции ультразвукового исследования с контрастированием и эластографии. *REJR* 2025;15(1):107-18. Gazhonova VE, Zubarev AV, Pulatova IZ. Innovative approaches in the diagnosis of focal formations of the breast category BI-RADS 3-4: the role prospects of integrating ultrasound with contrasting and elastography. *REJR* 2025;15(1):107-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2025-15-1-107-118>.
- Spear G, Lee K, DePersia A, et al. Updates in Breast Cancer Screening and Diagnosis. *Curr Treat Options Oncol* 2024;25:1451-1460. <https://doi.org/10.1007/s11864-024-01271-8>. PMID: 39466539.
- Андронов АК, Абдураимов АБ. Роль контрастной двухэнергетической спектральной маммографии в диагностике рака молочной железы. *Медицинская визуализация*. 2023;27(4):81-91. Andronov AK, Abduraimov AB. Role of Contrast-Enhanced Spectral Mammography in the detection of breast cancer. *Medical Imaging*. 2023;27(4):81-91. (In Russ.). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1281>.
- Siu AL. Screening for breast cancer: U.S. Preventive services task force recommendation statement *Ann Intern Med*. 2016;164:279-296. <https://doi.org/10.7326/M15-2886>. PMID: 26757170.
- Boyd NF, Guo H, Martin LJ, et al. Mammographic density and the risk and detection of breast cancer. *N Engl J Med*. 2007;356(3):227-36. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa062790>. PMID: 17229950.
- Ягджян Л, Колдиц ГА, Рознер Б. Маммографическая плотность молочной железы и риск развития рака молочной железы: взаимосвязь процентной плотности, абсолютной плотности и неплотных участков с факторами риска развития рака молочной железы. *Исследование и лечение рака молочной железы*. 2015;150:181-9. Yagiyany L, Koldits GA, Rosner B. Mammographic density of the breast and risk breast cancer: relationship of percentage density, absolute density and loose areas with risk factors for breast cancer. *Research and Treatment of Breast Cancer*. 2015;150:181-189. (In Russ.).
- Сулейменова ДМ, Жолдыбай ЖЖ, Айнакулова АС и др. Рак молочной железы у молодых женщин: адаптированные рекомендации по лучевому обследованию. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2021;3:46-52. Suleimenova DM, et al. Breast cancer in young women: adapted recommendations for radiation examination. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2021;3:46-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/mjpf.13190>. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=13190>.
- Sartor H, Zackrisson S, Elebro K, et al. Mammographic density in relation to tumor biomarkers, molecular subtypes, and mode of detection in breast cancer. *Cancer Causes Control*. 2015;26(6):931-9. <https://doi.org/10.1007/s10552-015-0576-6>. PMID: 25860114.
- Sung H, Ren J, Li J, et al. Breast cancer risk factors and mammographic density among high-risk women in urban China. *NPJ Breast Cancer*. 2018;4(1):3. <https://doi.org/10.1038/s41523-018-0055-9>. PMID: 29423438.
- Kuhl CK. The changing world of breast cancer: a Radiologist's perspective. *Plast Surg Nurs*. 2016;36:31-49. <https://doi.org/10.1097/PSN.000000000000128>. PMID: 26933985.
- Кораблев ВВ, Васильев АГ. Неоангиогенез и опухолевый рост. *Российские биомедицинские исследования*. 2020;2(4):3-10. Korablev RV, Vasilyev AG. Neoangiogenesis and tumor growth. *Russian Biomedical Research*. 2020;2(4):3-10. (In Russ.). <https://ojs3.gpmu.org/index.php/biomedical-research/article/view/544>.
- Баженова ДА, Мершина ЕА, Пучкова ОС, и др. Современный взгляд на принципы диагностики рака молочной железы по данным контрастной маммографии (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2022;26(1):40-47. Bazhenova DA, Merschina EA, Puchkova OS, et al. A modern view of the principles of breast cancer diagnosis according to contrast mammography (literature review). *Medical Imaging*. 2022;26(1):40-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1090>.
- Черная АВ, Ульянова РХ, Криворотко ПВ и др. Возможности контрастной спектральной двухэнергетической маммографии в диагностике мультицентричного рака молочной железы. *Опухоли женской репродуктивной системы*. 2021;17(4):20-28. Chernaya AV, Ulyanova RH, Krivorotko PV, et al. Opportunities contrast spectral dual-energy mammography in the diagnosis of multicentric breast cancer. *Tumors of the Female Reproductive System*. 2021;17(4):20-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2021-17-4-20-28>.
- Suter MB, Pesapane F, Agazzi GM, et al. Diagnostic accuracy of contrast-enhanced spectral mammography for breast lesions: A systematic review and meta-analysis. *Breast*. 2020;53:8-17. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2020.06.005>. PMID: 32540554.
- Gilbert FJ, Pinker-Domenig K. Diagnosis and Staging of Breast Cancer: When and How to Use Mammography, Tomosynthesis, Ultrasound, Contrast-Enhanced Mammography, and Magnetic Resonance Imaging. Springer, 2019;155-66. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11149-6>.
- Zeeshan M, Salam B, Khalid QSB et al.. Diagnostic Accuracy of Digital Mammography in the Detection of Breast Cancer. *Cureus*. 2018;10(4):e2448. <https://doi.org/10.7759/cureus.2448>. PMID: 29888152
- Черная АВ, Ульянова РХ, Багненко СС. и др. Контрастная спектральная двухэнергетическая маммография инструмент точной диагностики онкопатологии на фоне плотной ткани молочной железы. *Медицинская визуализация*. 2023;27(1):25-34. Chernaya AV, Ulyanova RH, Bagnenko SS, et al. Contrast-enhanced spectral dual-energy mammography is an accurate diagnostic tool for detecting cancer in dense breast tissue. *Medical Imaging*. 2023;27(1):25-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1152>.
- Sudhir R, Sannapareddy K, Potlapalli A, Krishnamurthy PB, Budha S, Koppula V. Diagnostic accuracy of contrast-enhanced digital mammography in breast cancer detection in comparison to tomosynthesis, synthetic 2D mammography and tomosynthesis combined with ultrasound in women with dense breast. *Br J Radiol*. 2021;94(1118):2020-1046. <https://doi.org/10.1259/bjr.20201046>. PMID: 33242249.
- Daniaux M, De Zordo T, Santner W, et al. Dual-energy contrast-enhanced spectral mammography (CESM). *Arch. Gynecol. Obstet*.

- 2015;292(4):739-47. <https://doi.org/10.1007/s00404-015-3693-2>. PMID: 25814297.
23. Bonfiglio R, Scimeca M, Toschi N, Pistolese CA, Giannini E, Antonacci C, et al. Radiological, histological and chemical analysis of breast microcalcifications: diagnostic value and biological significance. *J Mammary Gland Biol Neoplasia* 2018;23(1-2):89-99. <https://doi.org/10.1007/s10911-018-9396-0>. PMID: 29744755.
24. Nori J, Kaur M. Contrast-Enhanced Digital Mammography (CEDM). Springer. 2019. P.18-19. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94553-8>.
25. Tabar L, Chen TH-H, Yen AM-F, et al. Effect of Mammography Screening on Mortality by Histological Grade. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*. 2018;27(2):154-7. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-17-0487>. PMID: 29150482.
26. Манихас ГМ, Сафронова ОБ, Худякова ТГ и др. Стереотаксическая биопсия образований молочных желез под рентгеновским контролем. Современная онкология. 2015;17(2):40-4. Manikhas GM, Safronova OB, Khudjakova TG, et al. Stereotactic biopsy of breast lesions under X-ray control. *Journal of Modern Oncology*. 2015;17(2):40-4. <https://modernonco.orscience.ru/1815-1434/article/view/27006> (In Russ.).
27. Мазо МЛ, Рожкова МЛ, Прокопенко СП и др. Инвазивная лучевая диагностика рака молочной железы. Тонкоигольная биопсия или трепан-биопсия? Медицинская визуализация. 2015;4:79-86. Mazo ML, Rozhkova NI, Prokopenko SP, et al. Diagnostics of Breast Lesions. A Fine-Needle Aspiration Biopsy or a Core-Biopsy? *Medical Imaging*. 2015;(4):79-86. (In Russ.).
28. Wernli KJ, DeMartini WB, Ichikawa L, et al. Breast Cancer Surveillance Consortium. Patterns of breast magnetic resonance imaging use in community practice. *JAMA Intern. Med.* 2014;174(1):125-32. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.11963>. PMID: 24247555.
29. Knopp MV, Weiss E, Sinn HP, et al Pathophysiologic basis of contrast enhancement in breast tumors. *J Magn Reson Imaging*. 1999;10(3):260-6. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1522-2586\(199909\)10:3<260::aid-jmri6>3.0.co;2-7](https://doi.org/10.1002/(sici)1522-2586(199909)10:3<260::aid-jmri6>3.0.co;2-7). PMID: 10508285.
30. Kuhl CK, Schrading S, Stobel K, et al. Abbreviated breast magnetic resonance imaging (MRI): first postcontrast subtracted images and maximum-intensity projection-a novel approach to breast cancer screening with MRI. *J. Clin. Oncol. Off. J. Am. Soc. Clin. Oncol.* 2014;32(22):2304-10. <https://doi.org/10.1200/JCO.2013.52.5386>. PMID: 24958821.
31. Carmeliet P, Jain RK. Angiogenesis in cancer and other diseases. *Nature* 2000;407(6801):249-57. <https://doi.org/10.1038/35025220>. PMID: 11001068.
32. Mus RD, Borelli C, Bult P, et al. Time to enhancement derived from ultrafast breast MRI as a novel parameter to discriminate benign from malignant breast lesions. *Eur J Radiol*. 2017;89:90-6. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.01.020>. PMID: 28267555.
33. Onishi N, Kataoka M, Kanao S, et al. Ultrafast dynamic contrast-enhanced MRI of the breast using compressed sensing: breast cancer diagnosis based on separate visualization of breast arteries and veins. *J Magn Reson Imaging*. 2018;47(1):97-104. <https://doi.org/10.1002/jmri.25747>. PMID: 28556576.
34. Mann RM, Cho N, Moy L. Breast MRI: State of the Art. *Radiology*. 2019;292(3):520-36. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182947>. PMID: 31361209.
35. Bozzini A, Nicosia L, Pruner G, et al. Clinical performance of contrast-enhanced spectral mammography in presurgical evaluation of breast malignant lesions in dense breasts: a single center study. *Breast Cancer Res. Treat.* 2020;184(3):723-31. <https://doi.org/10.1007/s10549-020-05881-2>. PMID: 32860166.
36. Bakker MF, de Lange SV, Pijnappel RM, et al. Supplemental MRI screening for women with extremely dense breast tissue. *N Engl J Med*. 2019;381:2091-102. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1903986>. PMID: 31774954.
37. Pan J, Tong W, Luo J, Liang J, Pan F, Zheng Y, Xie X. Does contrast-enhanced ultrasound (CEUS) play a better role in diagnosis of breast lesions with calcification? A comparison with MRI. *Br J Radiol*. 2020;93(1112):20200195. <https://doi.org/10.1259/bjr.20200195>.
38. Айнакулова АС, Кайдарова ДР, Жолдыбай ЖЖ, и др. Сравнительный анализ контрастной спектральной маммографии и МРТ молочных желез (литературный обзор). Вестник КазНМУ. 2020;2:135-9. Ainakulova AS, Kaidarova DR, Zholdybay Zh, et al. Comparative analysis of contrast-enhanced spectral mammography and breast MRI (literature review). *Bulletin of KazNMU*. 2020;2:135-9. (In Russ.).
39. van Nijnatten TJA, Morscheid S, Baltzer PAT, et al. Contrast-enhanced breast imaging: Current status and future challenges. *Eur J Radiol*. 2024;171:111-312. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2024.111312>. PMID: 38237520.
40. Kuczek DE, Larsen AMH, Thorseth ML, et al. Collagen density regulates the activity of tumor-infiltrating T cells. *J Immunother Cancer*. 2019;7(1):68. <https://doi.org/10.1186/s40425-019-0556-6>. PMID: 30867051.
41. James JR, Pavlicek W, Hanson JA, et al. Breast radiation dose with CESM compared with 2D FFDM and 3D tomosynthesis mammography. *Am J Roentgenol*. 2017;208(2):362-72. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.16743>. PMID: 28112559.
42. Hobbs MM, Taylor DB, Buzynski S, Peake RE. Contrast-enhanced spectral mammography (CESM) and contrast enhanced MRI (CEMRI): patient preferences and tolerance. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2015;59(3):300-5. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12296>. PMID: 25900704.
43. Kim EY, Youn I, Lee KH, et al. Diagnostic value of contrast-enhanced digital mammography versus contrast-enhanced magnetic resonance imaging for the preoperative evaluation of breast cancer. *J Breast Cancer*. 2018;21(4):453-62. <https://doi.org/10.4048/jbc.2018.21.e62>. PMID: 30607168.
44. Jochelson MS, Dershaw DD, Sung JS, et al. Bilateral contrast-enhanced dual-energy digital mammography: feasibility and comparison with conventional digital mammography and MR imaging in women with known breast carcinoma. *Radiology*. 2013;266(3):743-51. <https://doi.org/10.1148/radiol.12121084>. PMID: 23220903.
45. Taylor DB, Burrows S, Saunders CM, et al. Contrast-enhanced mammography (CEM) versus MRI for breast cancer staging: detection of additional malignant lesions not seen on conventional imaging. *Eur Radiol Exp*. 2023;7(1):8. <https://doi.org/10.1186/s41747-022-00318-5>. PMID: 36781808 PMID.
46. Westwood M, Joore M, Grutters J, et al. Contrast-enhanced ultrasound using SonoVue® (sulphur hexafluoride microbubbles) compared with contrast-enhanced computed tomography and contrast-enhanced magnetic resonance imaging for the characterisation of focal liver lesions and detection of liver metastases: a systematic review and cost-effectiveness analysis. 2013;17(16):1-243. <https://doi.org/10.3310/hta17160>. PMID: 23611316.
47. Jian Liu, Xiaoling Liu, Jiao He, et al. Percutaneous contrast-enhanced ultrasound for localization and diagnosis of sentinel lymph node in early breast cancer. *Sci Rep*. 2019;9(1):13545. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49736-3>. PMID: 31537856.
48. Vovdenko S, Ali S, Ali H, et al. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) as a follow-up method after the focal treatment of renal tumors: systematic review and meta-analysis. *Int Urol Nephrol*. 2024;56(11):3415-26. <https://doi.org/10.1007/s11255-024-04102-9>. PMID: 38851652.
49. Boca Bene I, Dudea SM, Ciurea AI. Contrast-enhanced ultrasonography in the diagnosis and treatment modulation of breast cancer. *J Pers Med*. 2021;11(2):81. <https://doi.org/10.3390/jpm11020081>. PMID: 33573122.
50. Xu HX. Contrast-Enhanced ultrasound: the evolving applications. *World J Radiol*. 2009;1(1):15-24. <https://doi.org/10.4329/wjr.v1.i1.15>. PMID: 21160717.
51. Xiao X, Dong L, Jiang Q, et al. Incorporating Contrast-Enhanced Ultrasound into the BI-RADS Scoring System Improves Accuracy in Breast Tumor Diagnosis: A Preliminary Study in China. *Ultrasound Med. Biol*. 2016;42(11):2630-8. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmed-bio.2016.07.005>. PMID: 27544439.

52. Niu J, Ma J, Guan X, et al. Correlation Between Doppler Ultrasound Blood Flow Parameters and Angiogenesis and Proliferation Activity in Breast Cancer. *Med Sci Monit.* 2019;25:7035-41. <https://doi.org/10.12659/MSM.914395>. PMID: 31535669.
53. Janu E, Krikavova L, Little J, et al. Prospective evaluation of contrast-enhanced ultrasound of breast BI-RADS 3-5 lesions. *BMC Med Imaging.* 2020;20(1):66. <https://doi.org/10.1186/s12880-020-00467-2>. PMID: 32552678.
54. Zhu Y, Zhang D, Wang XN, et al. Diagnostic test of conventional ultrasonography combined with contrast-enhanced ultrasound in the subcategorization of suspicious Breast Imaging-Reporting and Data System (BI-RADS) 4 breast lesions. *Transl Cancer Res.* 2025;14(3):2066-77. <https://doi.org/10.21037/tcr-2025-485>. PMID: 40224988.
55. Liu S, Cai W, Luo Y, et al. CEUS Versus MRI in Evaluation of the Effect of Microwave Ablation of Breast Cancer. *Ultrasound Med Biol.* 2022;48(4):617-25. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmed-bio.2021.11.012>. PMID: 35063290.
56. Bonfiglio R, Scimeca M, Toschi N, et al. Radiological, histological and chemical analysis of breast microcalcifications: diagnostic value and biological significance. *J Mammary Gland Biol Neoplasia.* 2018;23(1-2):89-99. <https://doi.org/10.1007/s10911-018-9396-0>. PMID: 29744755.
57. Moon JH, Koh SH, Park SY, et al. Comparison of the SRmax, SRave, and color map of strain-elastography in differentiating malignant from benign breast lesions. *Acta Radiol.* 2019;60(1):28-34. <https://doi.org/10.1177/0284185118773510>. PMID: 29726693.
58. Xiang LH, Yao MH, Xu G, et al. Diagnostic value of contrast-enhanced ultrasound and shear-wave elastography for breast lesions of sub-centimeter. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2017;67(1):69-80. <https://doi.org/10.3233/CH-170250>. PMID: 28482623.
59. Zhu Y, Fan X, Yang D, et al. Contrast-Enhanced Ultrasound for Precise Sentinel Lymph Node Biopsy in Women with Early Breast Cancer: A Preliminary Study. *Diagnostics (Basel).* 2021;11(11):2104. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11112104>. PMID: 34829452.
60. Li W, Zhao Y, Fei X, et al. Image Features and Diagnostic Value of Contrast-Enhanced Ultrasound for Ductal Carcinoma In Situ of the Breast: Preliminary Findings. *Ultrason Imaging.* 2025;47(2):59-67. <https://doi.org/10.1177/01617346241292032>. PMID: 39506270.

**Information about the authors:**

Natalia A. Chekina <https://orcid.org/0000-0002-6031-1252>  
 Alexey B. Afanasyev <https://orcid.org/0009-0001-5921-9213>  
 Adhamjon B. Abduraimov <https://orcid.org/0000-0002-2893-8274>  
 Artem K. Andronov <https://orcid.org/0000-0001-7925-5935>

**Вклад авторов**

Н.А. Чекина: сбор и обработка данных, написание текста.  
 А.Б. Афанасьев: сбор и обработка данных.  
 А.Б. Абдураимов: утверждение окончательного варианта статьи.  
 А.К. Андронов: анализ и интерпретация полученных данных.  
**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета не требовалось.

**Информированное согласие.** Не требовалось подписания информированного согласия на публикацию данных.

**Поступила:** 15.09.2025.

**Принята к публикации:** 30.01.2026.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

**Authors' contributions**

N.A. Chekina: analysis and interpretation of the obtained data, writing text.  
 A.B. Afanasyev: analysis and interpretation of the obtained data.  
 A.B. Abduraimov: approval of the final version of the article.  
 A.K. Andronov: analysis and interpretation of the obtained data.  
**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** Not declared.

**Ethical compliance.** Ethical committee approval was not necessary.

**Informed consent.** Not required.

**Received:** 15.09.2025.

**Accepted for publication:** 30.01.2026.

**Published online:** 26.03.2026.

## ИНФОРМАТИВНОСТЬ ВАКУУМНОЙ ТОНКОИГОЛЬНОЙ АСПИРАЦИОННОЙ БИОПСИИ ИГЛАМИ МАЛОГО ДИАМЕТРА ПОД УЛЬТРАЗВУКОВЫМ КОНТРОЛЕМ ПРИ ОПУХОЛЕВЫХ ПОРАЖЕНИЯХ ПЕЧЕНИ, ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ: КЛИНИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Тагиль А.О.✉, Борсуков А.В.

Проблемная научно-исследовательская лаборатория «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии», Смоленского государственного медицинского университета Минздрава России; Россия, 214006, Смоленск, ул. Фрунзе, 40  
✉ Антон Олегович Тагиль, [anton.tagil95@gmail.com](mailto:anton.tagil95@gmail.com), +7-910-786-52-69

### РЕФЕРАТ

**Цель:** Оценить информативность и клиническую эффективность вакуумной тонкоигольной аспирационной биопсии (v-ТАБ) под ультразвуковым контролем при опухолевых поражениях печени, поджелудочной железы и лимфатических узлов, а также определить возможности использования игл малого диаметра (20–25G) без потери диагностической ценности.

**Материалы и методы:** В исследование включены 62 пациента (32 мужчины, 30 женщин) с опухолевыми поражениями печени, поджелудочной железы и лимфатических узлов. Выполнено 76 биопсий под контролем УЗИ. Применялись иглы Chiba диаметром 20G, 22G и 25G, при этом создавалось отрицательное давление –0,8 бар. Полученные препараты окрашивались по Май–Грюнвальд–Гимзе и оценивались в соответствии с критериями ВОЗ (WHO Classification of Tumours, 5th Edition, 2022).

**Результаты:** Вакуумная аспирация позволила повысить общую информативность цитологических препаратов с 72,3 % (при ТАБ) до 89,5 %. Наибольшее улучшение отмечено при поражениях поджелудочной железы и лимфатических узлов. Применение игл малого диаметра (25G) обеспечило получение цитологически адекватного материала при минимальном травматизме. Совпадение цитологических и гистологических диагнозов достигло 85,7 %.

**Выводы:** Метод v-ТАБ под УЗ-контролем является высокоинформативным, безопасным и воспроизводимым способом цитологической диагностики опухолевых поражений внутренних органов. Применение отрицательного давления позволяет использовать иглы малого диаметра без потери качества материала, что расширяет возможности морфологической диагностики и повышает её клиническую значимость.

**Ключевые слова:** вакуумная аспирация, тонкоигольная биопсия, цитология, v-ТАБ, УЗ-контроль, печень, поджелудочная железа, лимфатические узлы, опухоли

**Для цитирования:** Тагиль А.О., Борсуков А.В. Информативность вакуумной тонкоигольной аспирационной биопсии иглами малого диаметра под ультразвуковым контролем при опухолевых поражениях печени, поджелудочной железы и лимфатических узлов: клинико-экспериментальное исследование. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):69-76.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-69-76>

## DIAGNOSTIC YIELD OF ULTRASOUND-GUIDED VACUUM FINE-NEEDLE ASPIRATION BIOPSY USING SMALL-DIAMETER NEEDLES IN TUMOR LESIONS OF THE LIVER, PANCREAS, AND LYMPH NODES: A CLINICAL-EXPERIMENTAL STUDY

Anton O. Tagil✉, Aleksey V. Borsukov

Problem Research Laboratory “Diagnostic Studies and Minimally Invasive Technologies”, Smolensk State Medical University; 40 Frunze Str., Smolensk, 214006, Russia

✉ Anton Olegovich Tagil, [anton.tagil95@gmail.com](mailto:anton.tagil95@gmail.com), +7-910-786-52-69

### ABSTRACT

**Purpose:** To evaluate the diagnostic informativeness and clinical efficiency of vacuum-assisted fine-needle aspiration biopsy (v-FNA) under ultrasound guidance in liver, pancreatic, and lymph node tumors, and to assess the feasibility of using small-diameter needles (20–25G) without compromising diagnostic accuracy.

**Materials and Methods:** The study included 62 patients (32 men, 30 women) with suspected neoplastic lesions of the liver, pancreas, and lymph nodes. A total of 76 biopsies were performed under real-time ultrasound guidance using Chiba needles (20G, 22G, and 25G). Vacuum aspiration was performed under a constant negative pressure of –0.8 bar. Cytological preparations were stained by the May–Grünwald–Giemsa method and evaluated according to the WHO Classification of Tumours (5th Edition, 2022).

**Results:** The overall rate of diagnostically adequate smears increased from 72.3 % with FNA to 89.5 % with v-FNA. The greatest improvement was observed in pancreatic and lymph node biopsies. Small-diameter needles (25G) yielded sufficient cellular material for reliable cytological diagnosis with minimal trauma. Concordance between cytological and histological diagnoses reached 85.7 %.

**Conclusions:** Vacuum-assisted fine-needle aspiration biopsy under ultrasound control is a reliable, safe, and reproducible method of cytological diagnosis for intra-abdominal tumors. The use of controlled negative pressure allows for smaller needles without loss of diagnostic yield, expanding clinical applicability and improving the overall quality of cytological evaluation.

**Keywords:** vacuum aspiration, fine-needle biopsy, v-FNA, cytology, ultrasound guidance, liver, pancreas, lymph nodes, tumors

**For citation:** Tagil A.O., Borsukov A.V. Diagnostic Yield of Ultrasound-Guided Vacuum Fine-Needle Aspiration Biopsy Using Small-Diameter Needles in Tumor Lesions of the Liver, Pancreas, and Lymph Nodes: a Clinical-Experimental Study. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):69-76. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-69-76>

## Введение

Диагностическая морфология занимает центральное место в современной онкологии, оставаясь «золотым стандартом» верификации опухолевого процесса [1, 2]. Даже при наличии новейших методов визуализации — компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ), позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), контрастного ультразвукового исследования (КУУЗИ) и гибридных технологий — окончательная постановка диагноза и выбор лечебной тактики требуют подтверждения цитологическими или гистологическими данными [3, 4]. Именно морфологическое исследование позволяет оценить не только факт злокачественности, но и тип опухоли, её дифференцировку, а также особенности клеточного состава, что критически важно для персонализированной терапии [4, 5].

Тонкоигольная аспирационная биопсия (ТАБ) является одним из самых широко используемых инструментальных методов получения цитологического материала [6–8]. Её высокая информативность, минимальная травматичность и возможность выполнения под визуальным контролем обеспечили распространение методики как в онкологической, так и в гастроэнтерологической, гепатологической и хирургической практике [9, 10]. С помощью ТАБ можно получать клетки из опухолей печени, поджелудочной железы, забрюшинных лимфатических узлов и других органов, где проведение трепан- или открытой биопсии сопряжено с высоким риском [11, 12].

Развитие ультразвуковых технологий существенно расширило возможности ТАБ. Ультразвуковая навигация позволяет визуализировать ход иглы в реальном времени, контролировать её направление и глубину введения, обходить сосуды и желчные протоки, что значительно повышает безопасность процедуры [9, 10]. В условиях современной клинической практики ультразвуковой контроль стал обязательным элементом пункции любых паренхиматозных органов [8–10, 13]. Тем не менее, даже при использовании высокоточной навигации, качество и информативность цитологического материала остаются зависимыми от характеристик инструмента и применяемой техники аспирации [6, 8].

Одной из наиболее актуальных проблем классической ТАБ является вариабельность объёма и качества получаемого материала. Количество клеток, попадающих в иглу, зависит от диаметра иглы, плотности ткани, глубины пункции и силы аспирации [3]. Иглы большего диаметра (18G–20G) обеспечивают значительный объём клеточной массы, однако повышают риск кровотечения и механического разрушения клеток [7]. При использовании более тонких игл (22G и особенно 25G) количество

аспирированных клеток снижается, и материал часто оказывается неинформативным [6, 8–10]. Кроме того, сила аспирации при работе шприцем непостоянна и зависит от субъективного усилия оператора, что снижает воспроизводимость процедуры [4].

В последние годы ведётся активный поиск путей повышения эффективности цитологического забора материала при минимальной травматичности вмешательства [13–15]. Одним из таких направлений является применение вакуумной аспирации — метода, при котором создаётся постоянное отрицательное давление, обеспечивающее равномерное втягивание клеток в просвет иглы [14, 15]. Принцип вакуумного забора материала давно используется при core-биопсиях, ориентированных на получение гистологических образцов, однако для цитологии подобный подход остаётся относительно новым [5–7].

С технической точки зрения вакуумная аспирация отличается от традиционной тем, что создаваемое давление не зависит от силы руки врача и поддерживается постоянным на всём протяжении процедуры [14]. Это обеспечивает более стабильный поток аспирируемого материала, снижает вероятность травматизации клеток и позволяет работать даже с тканями высокой плотности, где обычная ТАБ часто оказывается малоэффективной [15].

Особый интерес представляет возможность использования вакуумной аспирации при работе иглами малого диаметра (22–25G). В ТАБ ограниченный просвет таких игл препятствует полноценному поступлению клеток, что делает препараты скудными и непригодными для анализа [6, 8–10]. Однако создание отрицательного давления вакуумом компенсирует этот недостаток, позволяя получать достаточный объём клеточного материала при сохранении минимальной травматичности [14, 15]. Таким образом, метод v-ТАБ открывает перспективу расширения диапазона применяемых инструментов без потери информативности исследования [7–9].

Проблема повышения информативности особенно актуальна при опухолевых поражениях печени, поджелудочной железы [12]. Эти органы и структуры имеют сложное анатомическое строение, богатое сосудистое русло и нередко располагаются вблизи жизненно важных образований [12]. Биопсия таких объектов требует высокой точности, что делает УЗ-навигацию и выбор оптимального инструмента принципиально важными [9, 10, 13]. При этом ТАБ, несмотря на её широкое применение, в ряде случаев даёт ограниченные результаты из-за разрушения клеток, кровяных включений и низкой плотности клеточного слоя в мазках [4, 14].

Использование метода v-ТАБ позволяет минимизировать эти проблемы [14, 15]. Стабильное отрицательное давление способствует равномерному

втягиванию клеток в просвет иглы и уменьшает количество механических повреждений [14]. Это особенно важно при пункции поджелудочной железы, где традиционная ТАБ часто сопровождается получением кровяного или детритного материала, не пригодного для цитологической оценки [6, 8–10]. Кроме того, вакуумная аспирация может оказаться полезной при биопсии лимфатических узлов, когда необходимо извлечь клетки из мягких, частично некротизированных структур [2, 4].

Предварительные экспериментальные данные, полученные на моделях печени свиньи, подтвердили техническую возможность применения вакуумной аспирации для получения цитологического материала [14, 15]. Однако вопрос её клинической эффективности при реальных опухолевых поражениях внутренних органов остаётся открытым [12].

В связи с этим актуальным представляется проведение клиничко-экспериментального исследования, направленного на оценку диагностической информативности вакуумной тонкоигольной аспирационной биопсии под ультразвуковым контролем [5, 9, 11, 12]. В фокусе данного исследования — опухолевые поражения печени, поджелудочной железы и лимфатических узлов, где применение v-ТАБ может стать эффективной альтернативой или дополнением к традиционной ТАБ, обеспечивая более высокий процент информативных мазков при меньшей травматичности процедуры [1, 2, 12, 9].

### Цель исследования

Оценить информативность и диагностическую эффективность вакуумной тонкоигольной аспирационной биопсии (v-ТАБ) под ультразвуковым контролем при опухолевых поражениях печени, поджелудочной железы и лимфатических узлов, а также определить возможность использования игл малого диаметра (20–25G) без снижения диагностической ценности исследования.

### Материалы и методы

В исследование включены 62 пациента (32 мужчины и 30 женщин) в возрасте от 42 до 77 лет (средний возраст —  $58,4 \pm 9,1$  года), находившихся на обследовании и лечении в специализированном онкологическом учреждении. Все пациенты имели подозрение на опухолевое поражение печени, поджелудочной железы или лимфатических узлов по данным визуализирующих методов диагностики.

Всего выполнено 76 тонкоигольных биопсий (табл. 1).

Последние имели преимущественно глубокую локализацию (парааортальные, забрюшинные, портальные группы), что определяло необходимость выполнения процедур под ультразвуковым контролем высокой точности.

**Таблица 1. Распределение выполненных биопсий (ТАБ и v-ТАБ)**

**Table 1. Distribution of Performed Biopsies (FNA and v-FNA)**

Локализация	Всего (n)	ТАБ (n, %)	v-ТАБ (n, %)
Печень	28	14 (50,0 %)	14 (50,0 %)
Поджелудочная железа	26	13 (50,0 %)	13 (50,0 %)
Лимфатические узлы	22	10 (45,5 %)	12 (54,5 %)
Итого	76	37 (48,7 %)	39 (51,3 %)

Перед проведением пункции все пациенты проходили клиничко-инструментальное обследование в соответствии с действующими клиническими рекомендациями Минздрава РФ для каждой нозологической группы. Обследование включало: клинический осмотр, лабораторные исследования (общий и биохимический анализы крови, коагулограмма, онкомаркеры), инструментальные методы (УЗИ органов брюшной полости, КТ или МРТ с контрастным усилением) (рис. 1). Пациенты с нарушениями свёртываемости крови, выраженной портальной гипертензией или декомпенсированными сопутствующими заболеваниями в исследование не включались.

Все пункции выполнялись под ультразвуковым контролем в режиме реального времени. Для визуализации использовались аппараты среднего, высокого и экспертного класса с линейными датчиками частотой 7,5–12 МГц и конвексными 3,5–5 МГц в зависимости от глубины залегания очага. Перед вмешательством осуществлялась разметка проекции образования и выбор оптимальной траектории введения иглы с учётом расположения сосудистых структур и желчных протоков (рис. 2).

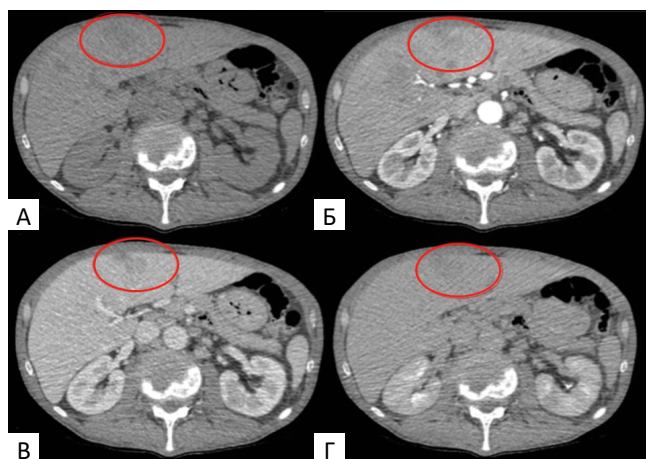


Рис. 1. МСКТ органов брюшной полости с визуализацией гиповаскулярного образования в нативном сканировании (А), в артериальную (Б), портальную (В) и отсроченную (Г) фазы

Fig. 1. Multislice computed tomography (MSCT) of the abdominal cavity demonstrating a hypovascular lesion in the native scan (A), arterial phase (B), portal venous phase (C), and delayed phase (D)

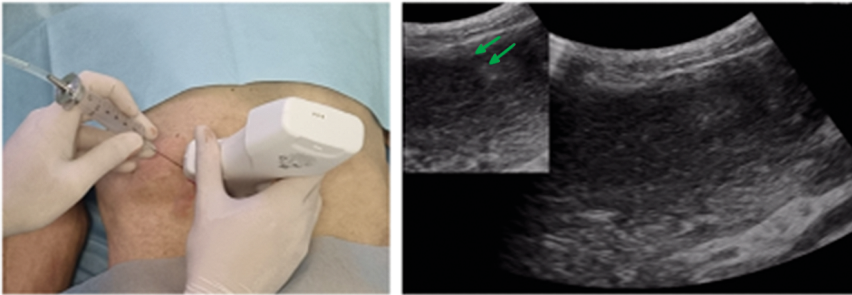


Рис. 2. Выполнение v-ТАБ образования печени иглой 22G: зеленой стрелкой указан кончик иглы

Fig. 2. Performance of vacuum-assisted fine-needle aspiration (v-FNA) of a liver lesion using a 22G needle: the needle tip is indicated by a green arrow

Для проведения биопсий применялись иглы Chiba диаметром 20G, 22G и 25G, подключаемые к стандартному аспирационному шприцу объёмом 10 мл или к вакуумному аспирационному устройству. При использовании метода v-ТАБ создавалось стабильное отрицательное давление  $-0,8$  бар, обеспечивающее постоянный поток аспирируемого материала. Разработанное устройство представляет собой систему, сформированную из стандартных медицинских технических компонентов. В её состав входит электрический вакуумный компрессор, соединённый через систему переходников со шприцем объёмом 10 мл. Конструкция оснащена вакуумметром, обеспечивающим контроль уровня создаваемого отрицательного давления, а также ножными педалями, предназначенными для поэтапного управления процедурой (рис. 3) [14, 15].

При поражениях поджелудочной железы предпочтительно использовались иглы 22G и 25G, что снижало риск постпункционного кровотечения. При биопсиях печени — 20G, 22G, 25G в зависимости от глубины и плотности очага. В случаях с лимфатическими узлами глубокой локализации применялись тонкие иглы 22G и 25G под контролем конвексного датчика, с обязательной визуализацией сосудов в режиме ЦДК.

Полученный материал наносился на предметные стекла, распределялся тонким слоем и фиксировался в метаноле. Окраска проводилась по методу Май-Грюнвальда-Гимзе.

Критерии оценки цитологического материала соответствовали рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (WHO Classification of Tumours, 5th Edition, 2022) и Системы стандартов оценки адекватности цитологического материала для биопсийных исследований (WHO Blue Books). Оценка проводилась по следующим параметрам:

1. количество клеточных элементов (клеточность мазка);
2. сохранность клеточной структуры и ядерного аппарата;
3. отсутствие выраженной кровяной контаминации и артефактов;
4. наличие характерных элементов опухоли (атипичные клетки, признаки малигнизации);

5. возможность постановки достоверного цитологического заключения.

Результаты классифицировались по трём категориям:

- Диагностически информативные мазки, содержащие достаточное количество типичных клеточных элементов.
- Ограниченно информативные мазки, позволяющие предположить характер процесса, но не обеспечивающие точного диагноза.
- Неинформативные мазки, не пригодные для морфологического заключения вследствие малой клеточности, разрушения клеток или преобладания крови и детрита.

Осложнений, требующих вмешательства, в ходе процедуры не зарегистрировано.

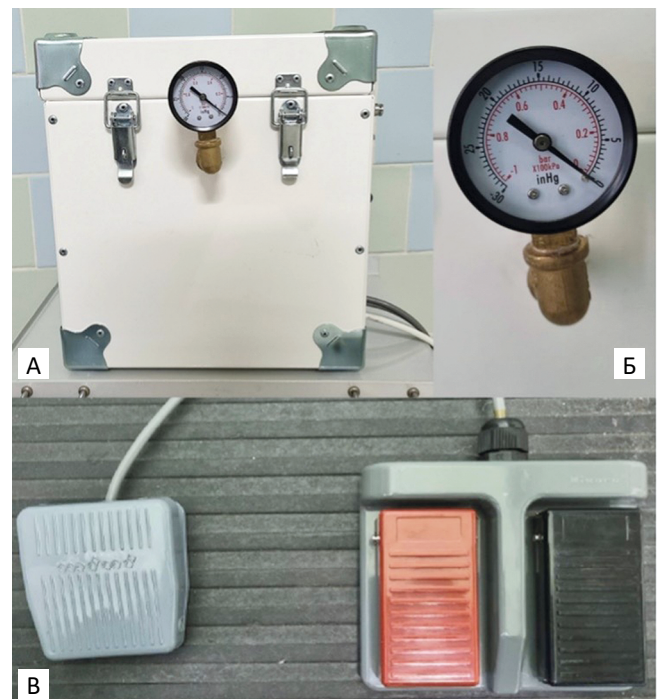


Рис. 3. Устройство для вакуумной тонкоигольной аспирационной биопсии: А — общий вид системы для v-ТАБ; Б — вакуумметр, В — ножные педали управления

Fig. 3. Device for vacuum-assisted fine-needle aspiration biopsy: A — general view of the v-FNA system; Б — vacuum gauge; В — foot control pedals

## Результаты

Выполнено 76 биопсий у 62 пациентов с подозрением на опухолевое поражение печени, поджелудочной железы и лимфатических узлов. Все вмешательства проведены под ультразвуковым контролем. Осложнений, требующих медицинского вмешательства, не зафиксировано.

Общий уровень диагностической информативности составил: при ТАБ — 72,3 %, при v-TAB — 89,5 %.

Увеличение информативности было наиболее выражено при пункциях поджелудочной железы.

Выполнено 28 биопсий при подозрении на первичные и метастатические поражения печени. При ТАБ диагностически информативные мазки получены в 20 случаях (71,4 %). В основном использовались иглы 20G и 22G, обеспечивавшие достаточную клеточность, но нередко сопровождавшиеся кровяной контаминацией.

При применении метода v-TAB количество информативных мазков возросло до 25 (89,3 %). При этом отмечено заметное улучшение качества препаратов: уменьшение количества разрушенных клеток, равномерное распределение клеточной массы по стеклу, минимальное количество артефактов.

В 3 случаях с использованием иглы 25G при v-TAB также удалось получить цитологически полноценный материал — достаточный для постановки диагноза метастатической аденокарциномы.

Таким образом, при поражениях печени метод v-TAB продемонстрировал увеличение диагностической информативности на 18 % по сравнению с традиционной аспирацией, что особенно значимо при ограниченном объёме образования или риске кровотечения (рис. 4).

В группе с поражением поджелудочной железы проведено 26 биопсий, преимущественно при подозрении на аденокарциному головки и тела железы.

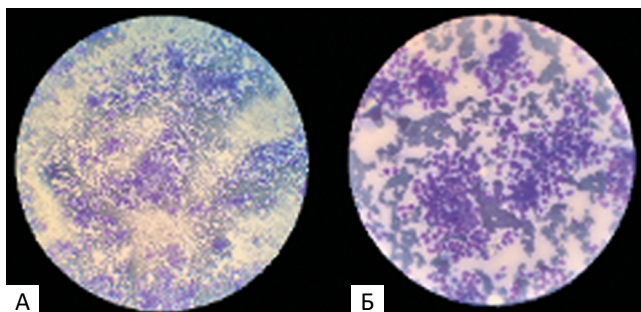


Рис. 4. Цитологическое исследование, окраска по Маю – Грюнвальду – Гимзе: соответствует умеренно дифференцированному железистому образованию:  
А — увеличение  $\times 100$ , Б — увеличение  $\times 280$

Fig. 4. Cytological examination, May–Grünwald–Giemsa staining: findings consistent with a moderately differentiated glandular tumor. A —  $\times 100$  magnification; B —  $\times 280$  magnification

При традиционной ТАБ информативные мазки получены в 15 случаях (57,7 %). Основными причинами неудач являлись плотная фиброзная структура ткани и наличие кровяных включений, затрудняющих оценку клеток.

Анализ в зависимости от диаметра иглы показал, что при применении игл 22G в режиме v-TAB доля адекватных цитологических препаратов составила 88,9 %, что было выше по сравнению с использованием игл 22G при стандартной аспирации ( $p < 0,05$ ). Кроме того, при вакуумной аспирации отмечалось снижение выраженности кровяной контаминации и лучшая сохранность ядерных структур, что облегчало морфологическую интерпретацию. Следовательно, более высокая результативность применения игл 22G в данном исследовании отражает особенности качества и диагностической информативности препаратов, полученных при одинаковом диаметре иглы, но при различной технике аспирации. В 6 пункциях, выполненных иглами 25G в режиме v-TAB, получены цитологические препараты с достаточным количеством атипичных клеток и хорошей сохранностью морфологических структур. Во всех этих наблюдениях цитологическое заключение совпало с последующим гистологическим диагнозом после хирургического вмешательства, что подтверждает диагностическую состоятельность метода при использовании игл малого диаметра.

При микроскопическом анализе мазков, полученных при v-TAB, отмечались: более равномерное распределение клеток по стеклу, меньшее количество элементов крови, хорошая сохранность цитоплазматических и ядерных структур.

Эти факторы обеспечили повышение качества интерпретации и снижение доли сомнительных заключений с 19,2 % до 7,7 %.

Исследовано 22 случая опухолевого поражения лимфатических узлов, преимущественно глубокой локализации (забрюшинные, портальные и медиастинальные группы). При традиционной ТАБ информативные мазки получены в 15 случаях (68,2 %), при v-TAB — в 20 случаях (90,9 %). Метод вакуумной аспирации позволил повысить клеточность мазков и обеспечить более чёткую визуализацию лимфоидных и атипичных клеток, что облегчало дифференциальную диагностику между реактивными и метастатическими изменениями.

В 5 наблюдениях при применении игл 25G в режиме v-TAB удалось получить достаточный для цитологической оценки материал при лимфатических узлах диаметром даже менее 10 мм. Полученные препараты характеризовались удовлетворительной клеточностью, что позволило сформулировать диагностическое заключение без необходимости

**Таблица 2. Сравнительный анализ цитологического материала****Table 2. Comparative Analysis of Cytological Material**

Параметр	ТАБ (%)	v-ТАБ (%)
Адекватная клеточность	74	92
Сохранность клеток	68	88
Минимальная кровяная контаминация	63	85
Диагностическая информативность	72	89

повторной пункции. Данный результат демонстрирует техническую осуществимость метода при биопсии небольших и глубоко расположенных лимфатических узлов.

Сравнительный анализ мазков показал следующие тенденции (табл. 2).

Микроскопическое исследование продемонстрировало, что при v-ТАБ клетки распределены равномерно, без скоплений и трещин. В большинстве случаев сохранялась чёткая структура ядра, цитоплазматическая мембрана и межклеточные связи.

Выраженный эффект отмечен при использовании игл 25G в режиме v-ТАБ. Несмотря на минимальный диаметр, создание стабильного отрицательного давления обеспечивало поступление клеточного материала в просвет иглы без выраженной механической деструкции. Иглы 25G были применены в 12 наблюдениях (3 — при поражениях печени, 6 — поджелудочной железы, 3 — лимфатических узлов), и во всех случаях получен материал, пригодный для цитологической оценки.

В 4 наблюдениях (1 — печень, 2 — поджелудочная железа, 1 — лимфатический узел) качество препаратов характеризовалось меньшей кровяной контаминацией и лучшей сохранностью клеточных структур по сравнению с мазками, полученными при традиционной ТАБ иглами 22G. Таким образом, применение игл 25G в сочетании с вакуумной аспирацией позволило получить диагностически адекватный материал без снижения его морфологической ценности.

Для 28 пациентов, впоследствии перенёвших хирургическое вмешательство или трепан-биопсию, проведено сопоставление цитологических и гистологических заключений. Полное совпадение диагнозов отмечено: при ТАБ — в 67,8 % случаев, при v-ТАБ — в 85,7 % случаев.

Наибольший прирост совпадений наблюдался при пункции поджелудочной железы и лимфатических узлов, где точность цитологического заключения выросла почти на треть.

Ни в одном случае не отмечено кровотечений, перфорации или распространения опухолевых клеток по ходу пункционного канала. Незначительные гематомы в месте пункции выявлены у 3 пациентов (4,8 %), не требовали лечения и самостоятельно разрешились в течение 2–3 суток.

Таким образом, метод v-ТАБ можно считать безопасным и технически воспроизводимым при выполнении опытным специалистом под контролем УЗИ.

Полученные данные свидетельствуют о явных преимуществах метода v-ТАБ перед ТАБ. Вакуумное отрицательное давление обеспечивает стабильный забор клеточного материала, повышает клеточность и снижает вероятность деструкции клеток, что особенно ценно при использовании игл малого диаметра.

В целом, метод продемонстрировал увеличение информативности на 17 %, улучшение качества цитологических препаратов и снижение числа неинформативных мазков почти в два раза.

### Обсуждение

Результаты проведённого клинико-экспериментального исследования убедительно продемонстрировали, что использование v-ТАБ под ультразвуковым контролем позволяет значительно повысить информативность цитологических исследований при опухолевых поражениях печени, поджелудочной железы и лимфатических узлов.

ТАБ, по данным Muthusamy V.R. (2017) и Двойниковой Е. Р. с соавт. (2018), остаётся общепризнанным стандартом получения клеточного материала при подозрении на опухоль [5, 10]. Однако, как показали многочисленные клинические наблюдения (Altinkaya E. et al., 2024; Courtman N., Quilez E., 2025), эффективность метода во многом зависит от субъективных факторов — силы аспирации, угла введения иглы, числа возвратно-поступательных движений и состояния ткани в очаге поражения [6, 9]. При пункции плотных опухолей поджелудочной железы, склерозированных метастазов в печени или глубоколежащих лимфатических узлов объём получаемого материала зачастую оказывается недостаточным [7, 9, 10]. Кроме того, при использовании шприцевой аспирации сила отрицательного давления варьирует, что приводит к частичному разрушению клеток и потере морфологических признаков [12, 13].

В отличие от традиционной техники, метод вакуумной аспирации (v-ТАБ), обеспечивает создание стабильного отрицательного давления в пределах  $-0,8$  бар, что гарантирует равномерный поток материала и уменьшает механическое воздействие на клетки. Этот физический принцип является ключевым фактором повышения качества цитологических препаратов. При постоянном давлении клетки вытягиваются в просвет иглы постепенно, без сдавления и разрыва, что обеспечивает их сохранность [14, 15].

Дополнительным преимуществом v-ТАБ является возможность использования игл малого диаметра (25G) без потери диагностической ценности. При классической аспирации такие иглы давали малое количество материала (Muthusamy V.R., 2017; Altinkaya E. et al., 2024), тогда как при вакуумной биопсии удалось получить мазки, пригодные для морфологической оценки [5, 9, 10, 14]. Это открывает новые возможности для проведения биопсий у пациентов с высоким риском осложнений — при нарушении свёртываемости крови, портальной гипертензии, множественных метастазах и расположении очага в анатомически сложных зонах [3, 4].

Сравнение v-ТАБ с трепан-биопсией представляет особый интерес. Machicado J.D. с соавт. (2024, ASGE Standards of Practice Committee) указывает, что трепан-биопсия позволяет получить фрагмент ткани для гистологического анализа, но требует применения более толстых игл (14–18G), что неизбежно повышает травматичность и риск кровотечений [7]. В ряде клинических ситуаций, например при пункции печени у пациентов с коагулопатией, выполнение трепан-биопсии противопоказано [3, 4]. Вакуумная аспирация в этом контексте становится разумным компромиссом: хотя она не позволяет получить тканевой цилиндр, качество цитологических мазков сопоставимо с гистологическими образцами по информативности [6, 10, 11, 14].

Важно подчеркнуть, что v-ТАБ не является прямой альтернативой трепан-биопсии, а выступает дополняющим методом, расширяющим возможности цитологической диагностики. При опухолевых поражениях печени, поджелудочной железы и лимфатических узлов применение v-ТАБ особенно оправдано на этапе первичного морфологического подтверждения или при необходимости уточнения диагноза у пациентов, для которых более инвазивные методы небезопасны.

Следует отметить и организационно-технические преимущества метода. Стабильность создаваемого отрицательного давления делает процедуру стандартизируемой и воспроизводимой, что особенно важно при работе в многопрофильных центрах, где биопсии выполняются различными специалистами. Ультразвуковая навигация, по данным Altinkaya E. (2024) и Глуховой Ю. К. (2024), обеспечивает точный визуальный контроль положения иглы и позволяет корректировать траекторию в реальном времени, снижая риск осложнений [9, 11].

Рассматривая возможности дальнейшего развития метода, можно отметить потенциал его сочетания с цитологическим экспресс-анализом ROSE (Rapid On-Site Evaluation), что подчёркивают Глухова Ю. К., Волченко Н. Н. и Борисова О. В. (2024) в своём обзоре по эндоскопическим биопсиям под-

желудочной железы [11]. Такое комбинированное применение позволит оперативно оценивать адекватность забора материала и, при необходимости, повторять пункцию в ходе процедуры, повышая точность диагностики и сокращая число повторных вмешательств [11, 14, 15].

В то же время необходимо учитывать и ограничения метода. Вакуумная аспирация требует применения специализированного оборудования, что может ограничивать её доступность в небольших клиниках. Кроме того, при пункциях мелких поверхностных образований создание отрицательного давления должно быть строго дозировано, чтобы избежать аспирации крови и разрушения клеток. Таким образом, важным элементом успешного применения v-ТАБ является опыт оператора и строгое соблюдение методики.

## Выводы

1. Вакуумная тонкоигольная аспирационная биопсия (v-ТАБ) под ультразвуковым контролем является высокоинформативным, безопасным и воспроизводимым методом цитологической диагностики опухолевых поражений печени, поджелудочной железы и лимфатических узлов.

2. Применение вакуумного отрицательного давления (-0,8 бар) обеспечивает стабильный поток клеточного материала, что повышает клеточность мазков, снижает количество разрушенных клеток и артефактов, а также уменьшает кровяную контаминацию по сравнению с ТАБ.

3. Метод v-ТАБ продемонстрировал увеличение диагностической информативности с 72 % до 89 %, наиболее выраженное при поражениях поджелудочной железы и лимфатических узлов, где традиционная аспирация часто даёт ограниченные результаты.

4. Использование игл малого диаметра (22G и 25G) при вакуумной аспирации позволяет получать цитологически полноценный материал без повышения травматичности процедуры. Особенно важно это при биопсиях у пациентов с риском кровотечения, при глубоких локализациях или малых размерах очагов.

5. При сопоставлении цитологических и гистологических данных полное совпадение диагнозов при v-ТАБ составило 85,7 %, что подтверждает высокую достоверность метода и его клиническую применимость.

6. Практическая значимость исследования заключается в возможности стандартизации процедуры аспирации, улучшении качества цитологических препаратов, сокращении числа неинформативных мазков и оптимизации алгоритмов морфологической диагностики в онкологии.

**Список литературы / References**

- International Agency for Research on Cancer (IARC). WHO Reporting System for Pancreaticobiliary Cytopathology. Lyon: IARC; 2022. (Series: IAC-IARC-WHO Cytopathology Reporting Systems, Vol. 2). ISBN 978-92-832-4518-6. Available from: <https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iac-Iarc-Who-Cytopathology-Reporting-Systems/WHO-Reporting-System-For-Pancreaticobiliary-Cytopathology-2022>.
- International Academy of Cytology; International Agency for Research on Cancer; World Health Organization. WHO Reporting System for Lymph Node, Spleen and Thymus Cytopathology. Lyon: IARC; 2024. (Series: IAC-IARC-WHO Cytopathology Reporting Systems, Vol. 3). ISBN 978-92-832-4522-3. Available from: <https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iac-Iarc-Who-Cytopathology-Reporting-Systems/WHO-Reporting-System-For-Lymph-Node-Spleen-And-Thymus-Cytopathology-2024>.
- Al-Abbadi MA. Basics of cytology. *Avicenna J Med.* 2011;1(1):18-28. <https://doi.org/10.4103/2231-0770.83719>.
- Сметанина С.В. Особенности дифференциальной цитологической диагностики первичных и метастатических карцином печени. *Клиническая лабораторная диагностика.* 2021;66(6):364-370. Smetanina SV. Specific features of differential cytological diagnosis of primary and metastatic liver carcinomas. *Clinical Laboratory Diagnostics.* 2021;66(6):364-370. (In Russ.)
- Courtman N, Quilez E. Cytologic evaluation of the liver. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 2025;55(4):539-58. <https://doi.org/10.1016/j.cvs.2025.03.005>. PMID: 40360339.
- Muthusamy VR. Endoscopic ultrasound-guided fine-needle aspiration vs fine-needle biopsy. *Gastroenterol Hepatol (N Y).* 2017;13(8):496-9.
- Sibinga Mulder BG, Mieog JS, Handgraaf HJ, et al. Targeted next-generation sequencing of FNA-derived DNA in pancreatic cancer. *J Clin Pathol.* 2017;70(2):174-8. <https://doi.org/10.1136/jclinpath-2016-203928>. PMID: 27672215.
- Altinkaya E, Akay E, Koc A, Caglar E. EUS-FNA biopsy for pancreatic mass. *J Coll Physicians Surg Pak.* 2024;34(7):832-7. <https://doi.org/10.29271/jcsp.2024.07.832>. PMID: 38978250.
- ASGE Standards of Practice Committee; Machicado JD, Sheth SG, Chalhoub JM, et al.; ASGE Standards of Practice Committee Chair. American Society for Gastrointestinal Endoscopy guideline on the role of endoscopy in the diagnosis and management of solid pancreatic masses: summary and recommendations. *Gastrointest Endosc.* 2024;100(5):786-96. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2024.06.002>. PMID: 39387777.
- Двойникова Е.Р., Стегний К.В., Гончарук Р.А., Агапов М.Ю. Сравнительная оценка тонкоигольной аспирационной биопсии под контролем эндоскопической ультрасонографии при заболеваниях поджелудочной железы. *Московский хирургический журнал.* 2018;(1):10-4. <https://doi.org/10.17238/issn2072-3180.2018.1.10-14>. Dvoynikova ER, Stegnyy KV, Goncharuk RA, Agapov MYu. Comparative evaluation of endoscopic ultrasound-guided fine-needle aspiration biopsy in pancreatic diseases. *Moscow Surgical Journal.* 2018;(1):10-4. (In Russ.)
- Министерство здравоохранения Российской Федерации. Рубрикатор клинических рекомендаций. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/1\\_4](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/1_4) (дата обращения: 19.10.2025). Ministry of Health of the Russian Federation. Clinical guidelines rubricator. Available from: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/1\\_4](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/1_4) (accessed: 19.10.2025). (In Russ.)
- Министерство здравоохранения Российской Федерации. Клинические рекомендации «Рак поджелудочной железы». ID 355\_5. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/355\\_5](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/355_5) (дата обращения: 19.10.2025). Ministry of Health of the Russian Federation. Pancreatic cancer: Clinical guidelines. ID 355\_5. Available from: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/355\\_5](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/355_5) (accessed: 19.10.2025). (In Russ.)
- Глухова Ю.К., Волченко Н.Н., Борисова О.В. ROSE-диагностика материала тонкоигольных аспирационных пункционных биопсий образований поджелудочной железы, полученных под контролем эндоультрасонографии. *Обзор литературы. Новости клинической цитологии России.* 2024;(4). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rose-diagnostics-materiala-tonkoigolnyh-aspiratsionnyh-punktsionnyh-biopsiy-obrazovaniy-podzheludochnoy-zhelezy-poluchennyh-pod> (дата обращения: 19.10.2025). Glukhova YuK, Volchenko NN, Borisova OV. ROSE diagnosis of EUS-guided FNA material from pancreatic lesions: A literature review. *News of Clinical Cytology of Russia.* 2024;(4). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/rose-diagnostics-materiala-tonkoigolnyh-aspiratsionnyh-punktsionnyh-biopsiy-obrazovaniy-podzheludochnoy-zhelezy-poluchennyh-pod> (accessed: 19.10.2025). (In Russ.)
- Патент № 2757525 С1 Российская Федерация, МПК А61В 10/02. Устройство для осуществления вакуумной тонкоигольной аспирационной биопсии под ультразвуковым визуальным контролем: №2020137115; заявл. 10.11.2020; опубл. 18.10.2021. Заявитель: ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России. EDN SOHRZP. Tagil AO, Borsukov AV. Device for performing vacuum fine-needle aspiration biopsy under ultrasound guidance. Patent RF №2757525 C1. 2021. (In Russ.)
- Патент № 2770783 С1 Российская Федерация, МПК А61В 10/02. Способ увеличения количества тканевого и цитологического материала при вакуумной аспирационной биопсии: №2021123965; заявл. 11.08.2021; опубл. 21.04.2022. Заявитель: ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России. EDN DUEOGZ. Tagil AO, Borsukov AV. Method for increasing the amount of tissue and cytological material during vacuum aspiration biopsy. Patent RF №2770783 C1. 2022. (In Russ.)

**Information about the authors:**Anton O. Tagil, <https://orcid.org/0000-0001-6400-8405>Aleksey V. Borsukov, <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>**Вклад авторов**

Статья подготовлена с равным участием авторов.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.**Конфликт интересов.** А.В. Борсуков является членом редакционной коллегии журнала «Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия», но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.**Соблюдение правил биоэтики.** Исследование выполнено в соответствии с этическими нормами обращения с животными, принятыми Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для исследовательских и иных научных целей.**Информированное согласие.** Все пациенты подписали информированное согласие на публикацию своих данных.**Поступила:** 06.12.2025.**Принята к публикации:** 01.02.2026.**Опубликована online:** 26.03.2026.**Authors' contributions**

Article was prepared with equal participation of the authors.

**Funding.** The study had no sponsorship.**Conflict of interests.** Aleksey V. Borsukov is a member of the editorial board of the journal "Journal of oncology: diagnostic radiology and radiotherapy" but had no role in the decision to publish this article. The article has undergone the journal's established peer-review process. The authors have declared no other conflicts of interest.**Compliance with Bioethical Standards.**

The study was carried out in accordance with the ethical principles for animal care and use established by the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes.

**Informed consent.** All patients signed informed consent to the publication of their data compliance with patient rights.**Received:** 06.12.2025.**Accepted for publication:** 01.02.2026.**Published online:** 26.03.2026.

## ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА МЕДИЦИНСКИЙ ПЕРСОНАЛ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БИОПСИИ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ЛЁГКИХ ПОД КОНТРОЛЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Гармаш А.А.<sup>1</sup>, Буйденко Ю.В.<sup>1,2</sup>, Васюк Е.Ю.<sup>1</sup>, Лебеденко И.М.<sup>1,2</sup>✉, Найденов М.Г.<sup>2</sup>, Долгушин Б.И.<sup>2</sup>, Тюрин И.Е.<sup>2</sup>, Бугаёв В.Е.<sup>2,3</sup>, Кононец П.В.<sup>2,3</sup>, Виршке Э.Р.<sup>2</sup>, Козак Е.Н.<sup>2</sup>, Ахвердиева Г.И.<sup>1,2</sup>, Лаптева М.Г.<sup>2</sup>, Закурдаева А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ; Россия, 115409, Москва, Каширское шоссе, 31

<sup>2</sup> Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России; Россия, 115478, Москва, Каширское шоссе, 24

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); Россия, 119991 Москва, ул. Трубецкая, 8, с.2

✉ Ирина Матвеевна Лебеденко, imlebedenko@mail.ru, +7 (985) 915-64-63

### РЕФЕРАТ

**Цель:** Оценить дозовую нагрузку на медицинский персонал при проведении биопсии под контролем компьютерной томографии (КТ) у больных с периферическими образованиями легких и обосновать необходимость внедрения специальных технологий для снижения и предотвращения лучевой нагрузки на персонал.

**Материалы и методы:** Измерения дозовой нагрузки излучения компьютерного томографа на кисти руки, область органов зрения и щитовидной железы хирурга для всех этапов взятия пункции без учета ослабления излучения средствами индивидуальной защиты хирурга и с учетом их проведены с использованием дозиметра RadiaScan-801M. Измерения эквивалентной дозы в области головы и шеи хирурга для всех этапов взятия биопсии с учетом фартука на пациенте и на антропоморфном фантоме AldersonRando проведены с использованием двух дозиметров — RadiaScan-801M и ДКС-АТ1123.

**Результаты:** Показано, что максимальные значения эквивалентных доз, получаемых хирургом при взятии биопсии, приходятся на кисти рук, находящиеся в зоне сканирующего пучка. Существенному воздействию рассеянного рентгеновского излучения подвержены области головы и шеи. Средняя эквивалентная доза и средняя мощность дозы для всех этапов биопсии составили  $D = 1850 \pm 874$  мкЗв,  $\dot{D} = 21 \pm 2$  мкЗв/с. При этом, с учетом особенностей распространения рассеянного рентгеновского излучения при КТ, обусловленного вращением трубки, радиозащитные очки не могут полноценно выполнять свою функцию. Средняя эквивалентная доза в области головы и шеи и средняя мощность эквивалентной дозы составили  $D = 148,8 \pm 116$  мкЗв и  $\dot{D} = 1,5 \pm 0,5$  мкЗв/с соответственно. Предложен и обоснован дополнительный несложный способ снижения уровня рассеянного излучения, эффективность которого доказана в эксперименте на фантоме. Рассмотрены некоторые пути уменьшения лучевой нагрузки за счет автоматизации процесса.

**Заключение:** Полученные результаты свидетельствуют о необходимости поиска мер более безопасного проведения процедур взятия биопсии под контролем КТ с максимально возможным уменьшением дозовых нагрузок на персонал.

**Ключевые слова:** рентгеновская компьютерная томография, биопсия, рак легкого, дозовые нагрузки на хирурга, антропоморфный фантом

**Для цитирования:** Гармаш А.А., Буйденко Ю.В., Васюк Е.Ю., Лебеденко И.М., Найденов М.Г., Долгушин Б.И., Тюрин И.Е., Бугаёв В.Е., Кононец П.В., Виршке Э.Р., Козак Е.Н., Ахвердиева Г.И., Лаптева М.Г., Закурдаева А.В. Оценка дозовых нагрузок на медицинский персонал при проведении биопсии периферических образований лёгких под контролем компьютерной томографии. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):77-89.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-77-89>

## ASSESSMENT OF STAFF DOSE LOADS DURING COMPUTER TOMOGRAPHY-GUIDED BIOPSY

Aleksandr A. Garmash<sup>1</sup>, Yuriy V. Buydenok<sup>1,2</sup>, Egor Yu. Vasyuk<sup>1</sup>, Irina M. Lebedenko<sup>1,2</sup>✉, Mihail G. Naidenov<sup>2</sup>, Boris I. Dolgushin<sup>2</sup>, Igor E. Tyurin<sup>2</sup>, Vladislav E. Bugaev<sup>2,3</sup>, Pavel V. Kononets<sup>2,3</sup>, Eduard R. Virshke<sup>2</sup>, Elena N. Kozak<sup>2</sup>, Gyulya I. Akhverdieva<sup>1,2</sup>, Mariya G. Lapteva<sup>2</sup>, Aleksandra V. Zakurdaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute). 31 Kashirskoye Highway, Moscow, Russia 115409

<sup>2</sup> N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology; 24 Kashirskoye Highway, Moscow, Russia 115478

<sup>3</sup> Sechenov First Moscow State Medical University; 8-2. Trubetskaya str., Moscow, Russia 119991

✉ Irina Matveevna Lebedenko, imlebedenko@mail.ru, tel. +7 (985) 915-64-63

### ABSTRACT

**Purpose:** To assess the radiation exposure of personnel during biopsy of lung cancer patients under X-ray computed tomography control (CT) and to justify the need to implement specialized technologies to reduce and prevent radiation exposure to personnel.

**Materials and methods:** Measurement of the radiation dose in the X-ray computed tomography beam on the surgeon's hands, organs of vision and thyroid gland for all stages of puncture taking without taking into account the attenuation of radiation in the surgeon's protective apron and taking it into account was carried out using a RadiaScan-801M dosimeter. The measurement of the equivalent dose in the surgeon's head and neck area for all stages of biopsy taking, taking into account the apron on the patient and on the Alderson Rando anthropomorphic phantom, was carried out using two dosimeters: RadiaScan-801M and DKS-AT1123.

**Results:** It has been shown that the maximum equivalent doses received by the surgeon during biopsy procedures were received by the hands, located within the scanning beam. The head and neck areas are significantly exposed to scattered X-ray radiation. The average equivalent dose and average dose rate for all biopsy stages were  $D = 1850 \pm 874$   $\mu$ Sv,  $\dot{D} = 21 \pm 2$   $\mu$ Sv/s. However, given the specific propagation of scattered X-rays during CT scanning due to tube rotation, radiation protective goggles cannot fully perform their function. The average equivalent dose in the head and neck area and average equivalent dose rate were  $D = 148.8 \pm 116$   $\mu$ Sv

and  $\bar{D} = 1.5 \pm 0.5 \mu\text{Sv/s}$ , respectively. An additional simple method for reducing scattered radiation levels is proposed and validated, the effectiveness of which was demonstrated in a phantom experiment. Several ways to reduce radiation exposure through process automation are discussed.

**Conclusion:** The obtained results indicate the need to find measures to make CT-guided biopsy procedures safer while minimizing radiation exposure to personnel.

**Key words:** X-ray computed tomography, biopsy, lung cancer, , surgeon dose anthropomorphic phantom

**For citation:** Garmash A.A., Buydenok Yu.V., Vasyuk E.Yu., Lebedenko I.M., Naidenov M.G., Dolgushin B.I., Tyurin I.E., Bugaev V.E., Kononets P.V., Virshke E.R., Kozak E.N., Akhverdiev G.I., Lapteva M.G., Zakurdaeva A.V. Assessment of Staff Dose Loads During Computer Tomography-Guided Biopsy. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):77-89. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-77-89>

## Введение

Рентгеновская компьютерная томография (КТ) является одним из ключевых методов современной лучевой диагностики и широко применяется, в том числе, для навигации при малоинвазивных интервенционных процедурах. Использование КТ при навигации обеспечивает превосходное качество визуализации глубоко расположенных небольших узловых образований. Это делает биопсию с КТ-навигацией наиболее надежным, а иногда и единственным методом верификации новообразований органов грудной клетки. Метод КТ широко применяется для визуального контроля при выполнении аблации опухолей, дренировании жидкостных образований, обезболивании, при вертебропластике и маркировке новообразований для прицельной лучевой терапии или хирургической резекции. Широкое внедрение этих методик позволяет сократить необходимость в открытых хирургических вмешательствах, уменьшить продолжительность восстановительного периода и улучшить качество жизни пациентов [1].

Однако использование КТ сопряжено с лучевой нагрузкой как на пациента, так и на медицинский персонал. Основным способом защиты персонала от радиационного воздействия остается использование индивидуальных средств защиты из материалов на основе тяжелых элементов, таких, как свинец. Традиционные свинцовые фартуки и экраны имеют существенные недостатки: обладают большим весом, ограничивают обзор, вызывают дополнительную физическую нагрузку и ограничивают подвижность оператора.

Вопрос радиационной безопасности врачей, выполняющих интервенционные процедуры под контролем ионизирующего излучения, привлекает особое внимание исследователей ввиду риска развития неблагоприятных эффектов. К наиболее значимым последствиям ионизирующего излучения относятся повреждение хрусталика глаза (катаракта) и потенциальное увеличение риска развития злокачественных опухолей головы и шеи.

Ранее считалось, что пороговая доза для развития радиационно-индуцированной катаракты

относительно высока, однако последние исследования показали, что этот порог существенно ниже и может составлять менее 0,1 Гр. Например, Miller et al. считают, что даже малые дозы (менее 0,5 Гр) ассоциируются со стойкими субклиническими изменениями хрусталика [2]. В исследовании Коренкова И.П., Охрименко С.Е. и др. проведена количественная оценка эквивалентных доз облучения персонала, участвующего в ангиографических и эндоскопических процедурах [3]. Результаты дозиметрических наблюдений за месяц и год демонстрируют, что во многих случаях врачи, в частности кардиохирурги, могут получать дозы на хрусталик глаза, превышающие предельно допустимые значения. Аналогичные данные приводятся в зарубежных источниках при сравнении эквивалентных доз для различных категорий персонала, включая хирургов, специалистов по рентгенэндоваскулярным вмешательствам и стоматологов [4–9].

Необходимо отметить, что проблема радиационного риска для врачей, подвергаемых рентгеновскому излучению, не ограничивается развитием катаракты. Некоторые работы указывают на возможный повышенный риск возникновения опухолей головного мозга и шеи у персонала, постоянно подвергающегося воздействию ионизирующего излучения [10]. Однако, других данных и убедительных доказательств данного риска нами не найдено. Проблема контроля за дозой усугубляется техническими аспектами: современные рентгеновские аппараты, включая КТ, работают преимущественно в импульсном режиме, предназначенном для снижения общей дозы облучения и улучшения качества изображений. Также проблема усложняется использованием различных электронных дозиметров, отличающихся принципами регистрации и скоростью обработки данных, сопоставление которых невозможно [11, 12]. По данным Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), методология дозиметрии (точка измерения, выбранная дозиметрическая величина, условия экспозиции) существенно влияет на величину регистрируемой дозы. Это осложняет и затрудняет прямое сравнение результатов различных исследований [13].

В последние годы активно ведутся разработки новых средств защиты от нежелательного излучения (экраны, системы с дистанционным управлением, модифицированные мобильные конструкции). Однако большая масса, сложность интеграции в операционное пространство и особые требования к организации рабочего места зачастую ограничивают повсеместное применение данных средств защиты [14, 15]. Современные публикации [16, 17] демонстрируют значительный интерес к вопросам картирования и моделирования зон рассеянного излучения при КТ, а также к оптимизации конструкций защитных экранов и дополнительных средств индивидуальной защиты. Из более простых дополнительных методов защиты пациентов, применимых при КТ, представляет интерес укрывание области таза пациента свинцовым фартуком, описанное в работе Kiarouh и et. al. [18], что позволяет снизить дозу облучения половых органов у мужчин более чем в два раза (на 56 %) и уменьшить вероятность развития мутаций у потомства с  $4,6 \times 10^{-5}$  % до  $2,0 \times 10^{-5}$  %. Возможно применение этой меры окажется также полезным для уменьшения лучевой нагрузки на врача, выполняющего биопсию под КТ.

В настоящее время активно внедряют роботизированные системы навигации, которые постоянно развиваются и уже представлены на рынке различными коммерческими решениями. Их ключевые преимущества включают значительное снижение лучевой нагрузки на врача за счёт дистанционного управления, повышение точности позиционирования инструментов при биопсиях и абляциях, а также минимизацию человеческого фактора. Внедрение таких систем ограничивается высокой стоимостью оборудования, необходимостью специального обучения персонала, увеличением времени процедур на начальном этапе и отсутствием убедительных данных о превосходстве над ручными методиками для сложных случаев [19]. В связи с этим можно с уверенностью утверждать, что проблемы и решения, рассмотренные в данной статье, сохраняют высокую актуальность и будут оставаться значимыми в обозримом будущем.

Цель настоящего исследования заключалась в оценке лучевого воздействия и обосновании необходимости усовершенствования и внедрения специальных технологий для снижения лучевой нагрузки на персонал на примере биопсий узловых новообразований легких под КТ-контролем. В задачи работы входили: поиск методов регистрации дозы, организация системы измерений, не препятствующей работе оператора, проведение измерений и анализ результатов для разработки рекомендаций по оптимизации радиационной защиты и рассмотрение перспектив развития метода с удаленным участием оператора вне лучевого воздействия.

## Материалы и методы

### Средства дозиметрии

Измерения при проведении биопсий узловых новообразований легких выполнены дозиметром-радиометром RadiaScan-801M производства ООО ЗМТ, ООО «Скан Электроникс», Россия. Заводской номер RS801M-000138. Государственное свидетельство о поверке средства измерения № С-ДЦС/14-08-2024/362621813. Дозиметр-радиометр RadiaScan-801M предназначен для измерения амбиентного эквивалента дозы и мощности амбиентного эквивалента дозы гамма- и рентгеновского излучения. Прибор портативен, работает автономно в зоне радиационного излучения, накапливая данные в памяти с минимальным интервалом в 1 с, которые в последующем в виде массива данных переносятся на ПК с помощью программы RadiaScan.

Для подтверждения выявленных эффектов нами были проведены эксперименты на фантоме. С этой целью мы использовали дополнительно дозиметр ДКС-АТ1123 производства УП «Атомтех», Беларусь, используемый в службе радиационной безопасности НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина МЗ РФ. Дозиметр ДКС-АТ1123 работает на основе сцинтилляционного детектора. Применяется для оценки эквивалентной дозы с последующим расчетом мощности дозы.

### Рентгеновский компьютерный томограф

Рентгеновскую компьютерную томографию КТ выполняли на 64-срезовом адаптивном сканере SOMATOM Definition AS, Siemens (ФРГ). Апертура гантри – 80 см, полный круговой оборот рентгеновской трубки может выполняться за 0,3 с, имеются функции улучшения изображения и снижения лучевой нагрузки. Компьютерный томограф укомплектован интервенционным модулем с включением технологии HandCARE для снижения лучевой нагрузки на врача путем возможного выключения рентгеновской трубки при попадании рук хирурга в зону облучения. При выполнении процедур использовали протокол сканирования CARE Vision [20].

### Характеристика клинического материала

Трансторакальные пункции выполнялись в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина МЗ РФ пациентам с новообразованиями легких с целью получения материала из периферических узловых новообразований легких для последующей гистологической верификации. В течении самой процедуры выполняли 1 или 2 попытки забора материала, при сомнениях выполняли 3 попытку. При отсутствии удовлетворительного морфологического результата выполняли повторную процедуру. Так в 2024 г. было выполнено 555 процедур пункций

у 492 больных. При этом повторные процедуры были выполнены у 57 (12,8 %) больных. У 6 (1,2 %) больных процедуры биопсии выполняли трижды.

При проведении core-биопсии игла, закрепленная на автоматическом биопсийном устройстве, вводилась в тело пациента под контролем КТ. На рис. 1 показан момент выполнения биопсии, на томограммах хорошо визуализируются внутренние органы пациента, опухолевый узел, игла, кисти рук хирурга и дозиметр.

### Клинические группа и методика выполнения биопсии

Общее количество вошедших в наше исследование пациентов составило 26 человек (17 мужчин и 9 женщин). Все больные подписывали информированное согласие и на момент выполнения процедуры находились в удовлетворительном состоянии. Из исследования исключались пациенты с выраженными сопутствующими заболеваниями и повышенными эмоционально-стрессовыми реакциями. Каждый больной перед проведением дозиметрии обсуждался с хирургом и рентгенологом с целью оптимального взаимодействия во время проведения процедуры. Поэтому выполненные измерения ни в одном из случаев не сказались на увеличении продолжительности интервенционного вмешательства и, соответственно, лучевой нагрузки.

Процедура включала несколько последовательных этапов: предварительная томография, разметка, анестезия, биопсия, контрольная томография. Для выбора наилучшей точки пункции с помощью иглы и лазерной разметки томографа выбирали траекторию к визуализируемому узловому новообразованию. После антисептической обработки и укрытия поля стерильным материалом выполняли местную анестезию (10–20 мл 0,5 % новокаина), затем производили биопсию. После завершения процедуры биопсии обязательно проводили контрольную томографию для своевременного обнаружения возможных осложнений.

### Распределение пациентов и дозиметрия

В рамках исследования были сформированы 3 клинические группы пациентов.

В первую группу, состоящую из 11 человек, вошли пациенты, у которых при взятии пункции проведены измерения дозовой нагрузки на кисти рук хирурга для каждого этапа взятия пункции. При разметке кисти рук хирурга располагались на расстоянии 4–6 см от плоскости сканирующего рентгеновского пучка. Во время проведения анестезии и биопсии кисти рук хирурга попадали в зону пучка излучения. При положении пациента лежа на животе или на спине в течение всей процедуры дозиметр-радиометр располагался на теле пациента симметрично рукам хирурга (рис. 1). Благодаря

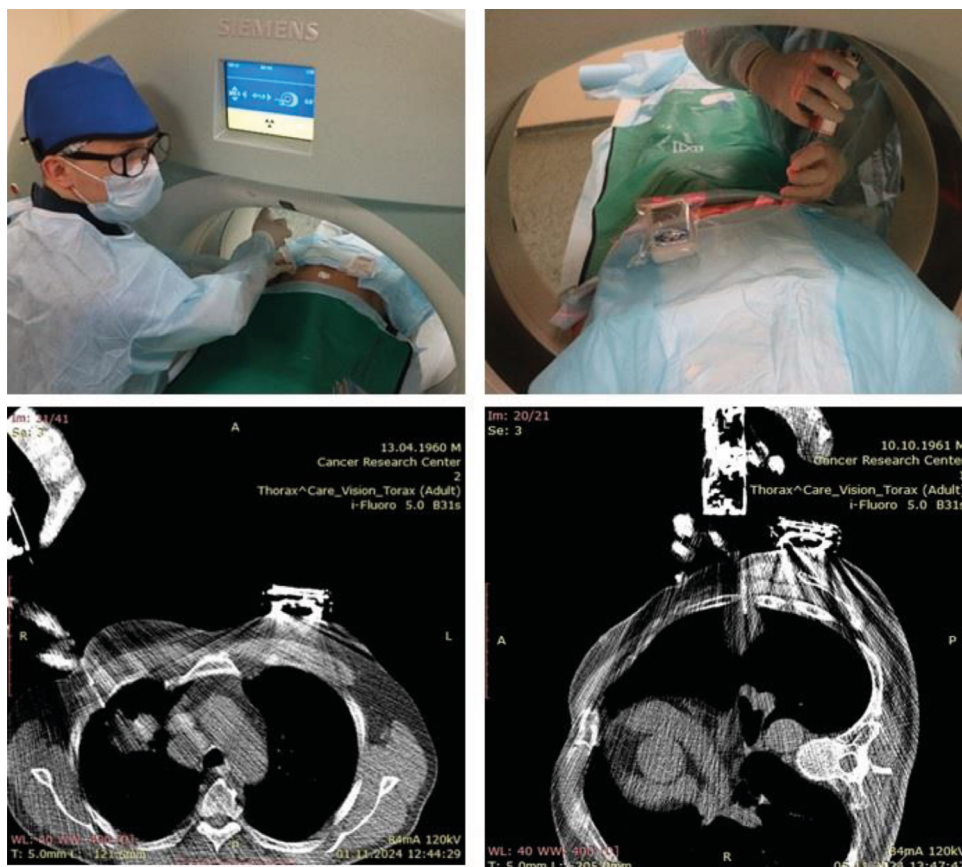


Рис. 1. Моменты выполнения пункций в положении пациента на спине и на боку  
Fig. 1. Moments of performing punctures with the patient in the supine and lateral positions



Рис. 2. Расположение дозиметра для оценки эффекта накрывания пациента радиозащитной пластиной (фартуком) на дозу в предполагаемых областях головы и шеи хирурга

Fig. 2. Position of the dosimeter for assessing the effect of covering the patient with a radioprotective plate (apron) on the dose to the intended areas of the surgeon's head and neck

симметрии дозиметр регистрировал дозу, соответствующую дозе в точке ввода иглы. Дозиметр не требовал специальной стерилизации, так как располагался на достаточном расстоянии от места пункции. Для более полного соблюдения асептики его помещали в одноразовый зип-пакет, обработанный снаружи антисептиком.

Во вторую группу вошли 12 пациентов, у которых при взятии пункции оценивалась доза рассеянного излучения на хирурга без учета (у 6 пациентов) и с учетом (у 6 пациентов) ослабления излучения защитным фартуком и воротником хирурга на всех этапах взятия пункции. Для оценки уровня воздействия ионизирующего излучения без защиты на область головы и шеи, дозиметр фиксировался в области шеи поверх радиозащитного фартука и воротника. Для оценки снижения уровня воздействия ионизирующего излучения, дозиметр располагали в той же области под фартуком и воротником.

Третью группу, состоящую из 9 человек, сформировали для оценки целесообразности и эффективности применения дополнительного способа защиты пациента и врача от рассеянного излучения. В нее вошли пациенты, которым выполняли минимум две и более попытки пункции. Дозиметр закрепляли стационарно в направлениях и на расстояниях, имитирующих положение головы и шеи хирурга на противоположной стороне. Первая попытка совершалась без дополнительной защиты, перед второй попыткой на пациента укладывалась импровизированная радиозащитная пластина из рентгенозащитного фартука (рис. 2).

Дозиметр RadiaScan-801M фиксировался на ручке экрана монитора на протяжении всей процедуры, при этом часть процедуры проводилась с использованием радиозащитного фартука, другая часть — без него.

Стационарное положение дозиметра сводило к минимуму влияние положения тела хирурга во время проведения процедуры на изменения уровня мощности излучения.

Учитывая отмеченные нами эффекты от применения дополнительной защиты (см. результаты), для подтверждения гипотезы о целесообразности накрывания пациента радиозащитной пластиной во время процедуры была выполнена имитация взятия биопсии с использованием антропоморфного фантома AldersonRando (США). При этом измерения выполнялись дозиметром ДКС-АТ1123, стационарно расположенным на предполагаемом месте расположения головы и шеи хирурга. Измерения проводились по 15 с, с оценкой эквивалентной дозы и последующим расчетом мощности дозы. Были выполнены 5 измерений с накрыванием фантома радиозащитными пластинами (фартуками) со свинцовым эквивалентом последовательно увеличивавшимся от 0,25 мм до максимальной величины эквивалента 1 мм.

## Результаты

Получены значения эквивалентной дозы, поглощенной в кистях рук хирурга на этапе разметки процедур core-биопсии у 11 пациентов первой группы. В процедуре № 11 этап разметки был пропущен, найдены средняя эквивалентная доза и средняя мощность дозы по 10 процедурам (пациентам) на этапе разметки, которая составила  $D = 102 \pm 136$  мкЗв,  $\dot{D} = 6 \pm 5$  мкЗв/с. Значения эквивалентных доз, поглощенных в кистях рук хирурга, на этапе анестезии составили  $D = 254 \pm 237$  мкЗв, мощности доз —  $\dot{D} = 15 \pm 7$  мкЗв/с.

Определены значения эквивалентной дозы, поглощенной в кистях рук врача на этапе выполнения первой пункции по 11 процедурам (пациентам), которые составляют  $D = 1040 \pm 830$  мкЗв,



Рис. 3. Гистограмма эквивалентных доз, поглощенных в кистях рук хирурга, на каждом из этапов при выполнении 11 процедур биопсии

Fig. 3. Histogram of equivalent doses absorbed in the surgeon's hands at each stage during 11 biopsy procedures

Рис. 4. Гистограмма суммарных для всех этапов взятия биопсии эквивалентных доз, поглощенных в кистях рук хирурга, со средним значением (пунктир), при выполнении 11 процедур (мкЗв)

Fig. 4. Histogram of the total equivalent doses absorbed in the surgeon's hands for all stages of biopsy taking, with the average value (dotted line), when performing 11 procedures ( $\mu\text{Sv}$ )

мощности  $\bar{D} = 24 \pm 4$  мкЗв/с. Значения эквивалентной дозы, поглощенной в кистях рук на этапе выполнения второй пункции, по процедурам составили  $D = 667 \pm 495$  мкЗв, мощности дозы  $\bar{D} = 24 \pm 4$  мкЗв/с. По итогам расчета доз для всех этапов построены общие гистограммы эквивалентных доз для всех 11 случаев (пациентов) (рис. 3) и гистограмма суммарных для всех этапов взятия биопсии эквивалентных доз, поглощенных в кистях рук хирурга, со средним значением (пунктир) (рис. 4). Пропуски и отсутствие столбика на рис. 3 отражают отсутствие одного из этапов.

Таким образом, наибольшие значения доз на руки хирурга наблюдаются при взятии биопсий 1 и 2 (рис. 3). Средняя эквивалентная доза и средняя мощность дозы за 11 процедур (пациентов) для всех этапов биопсии составили  $D = 1850 \pm 874$  мкЗв,  $\bar{D} = 21 \pm 2$  мкЗв/с (рис. 4).

Попытки снизить степень лучевого воздействия на кисти рук хирурга путем использования защитных просвинцованных перчаток приводили к появлению множества артефактов, сильно искажавших изображение компьютерной томограммы. Уменьшение лучевой нагрузки при снижении напряжения на трубке и с помощью секторальной томографии не всегда подходило за счет ухудшения изображения целевых узлов небольших размеров.

Эквивалентная доза, поглощенная в области головы и шеи, а также мощность дозы измерены при выполнении процедур у 6 пациентов второй группы. Дозиметр располагался на шее хирурга на радиозащитном фартуке и воротнике (без учета защиты) и под ними (с учетом защиты). Значения доз (без учета защиты) отражены на гистограммах рис. 5. Средняя эквивалентная доза, поглощенная в области головы и шеи и средняя мощность эквивалентной дозы составили  $D = 148,8 \pm 116$  мкЗв и  $\bar{D} = 1,5 \pm 0,5$  мкЗв/с

Оценка эквивалентных доз на хирурга на область щитовидной железы (с защитой) и мощность дозы были произведены при выполнении 6 реальных процедур у пациентов.

Результаты измерений проиллюстрированы на гистограммах рис. 6. Средняя эквивалентная доза и мощность дозы составили  $D = 28 \pm 21$  мкЗв,  $\bar{D} = 0,20 \pm 0,05$  мкЗв/с.

Полученные результаты свидетельствуют о существенном уменьшении дозы при наличии индивидуальной защиты на хирурге. Эквивалентная доза на область шеи и, соответственно щитовидную железу при наличии защитного фартука и воротника на хирурге уменьшается в 5,3 раза. Определить изменение дозы на хрусталик данным методом не представляется возможным. В связи с этим мы рассмотрели вариант дополнительной за-

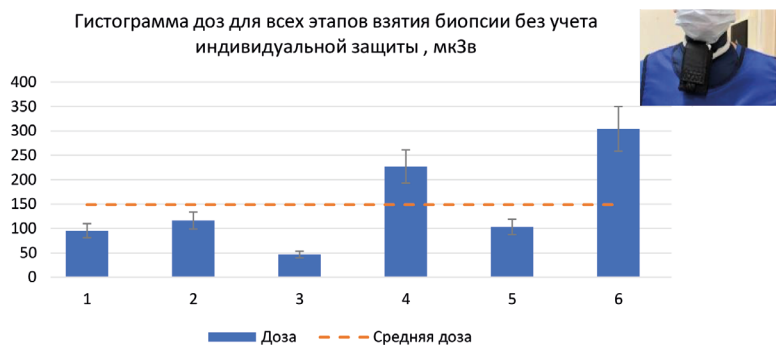


Рис. 5. Гистограмма эквивалентных доз, поглощенных в области головы, шеи хирурга, при выполнении биопсий у 6 пациентов второй группы, со средним значением (пунктир), мкЗв

Fig. 5. Histogram of equivalent doses absorbed in the head and neck area of the surgeon during biopsies in 6 patients of the second group, with the average value (dotted line),  $\mu\text{Sv}$

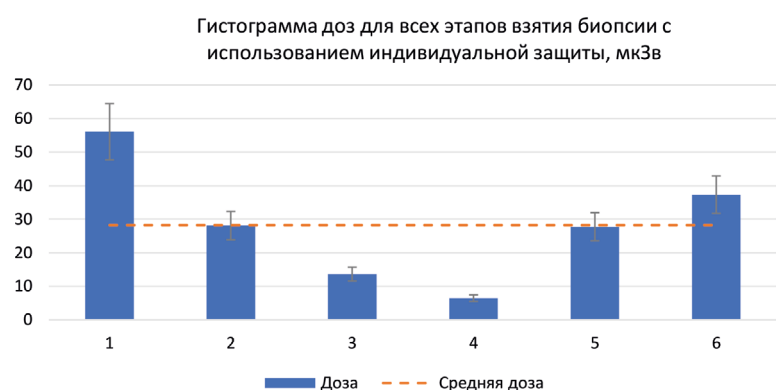


Рис. 6. Гистограмма эквивалентных доз, поглощенных в области головы и шеи хирурга, для всех этапов взятия биопсии каждого из 6 пациентов, со средним значением (пунктир), мкЗв (с защитой фартуком)

Fig. 6. Histogram of equivalent doses absorbed in the surgeon's head and neck area for all stages of biopsy for each of the 6 patients, with the average value (dotted line),  $\mu\text{Sv}$  (with apron protection)

**Таблица 1. Сводные данные по мощности эквивалентной дозы, поглощенной в области головы и шеи хирурга, во время взятия биопсии, с использованием защитной пластины (фартука) на пациенте и без нее**  
**Summary of equivalent dose rates absorbed in the surgeon's head and neck area during biopsy procedures, with and without a patient shield (apron)**

№ пациента	Мощн. дозы с защитой, мкЗв/с	Погрешн. мощн. дозы с защитой, мкЗв/с	Мощн. дозы без защиты, мкЗв/с	Погрешн. мощн. дозы без защиты, мкЗв/с	Кoeff. уменьшения дозы K	Погрешн. коэфф. уменьшения дозы
1	0,697	0,104	0,83	0,13	1,19	0,25
2	1,93	0,29	3,03	0,45	1,56	0,33
3	0,372	0,056	1,39	0,21	3,74	0,79
4	0,164	0,025	0,347	0,052	2,12	0,44
5	0,572	0,086	1,46	0,22	2,55	0,53
6	0,548	0,082	1,56	0,23	2,84	0,60
7	0,615	0,092	1,01	0,15	1,65	0,35
8	0,231	0,034	0,653	0,098	2,83	0,59
9	0,375	0,056	0,80	0,12	2,14	0,45

щиты от рассеянного излучения томографа путем укладывания просвинцованной пластины (фартука) на пациента со стороны хирурга (рис. 2).

Значения мощности эквивалентной дозы с использованием дополнительной защитной пластины, укладываемой на пациента и без нее, для 9 реальных процедур (пациентов) приведены в табл. 1. Для удобства анализа полученных результатов введен коэффициент уменьшения дозы K (предпоследняя графа табл. 1), равный отношению мощности эквивалентной дозы без использования дополнительной защиты от рассеянного излучения

к мощности эквивалентной дозы с использованием такой защиты. На рис. 7 представлена гистограмма мощности эквивалентной дозы по процедурам core-биопсии с использованием защитной пластины и без нее.

Из гистограммы можно сделать вывод, что для всех случаев мощность эквивалентной дозы при помещении защитной пластины (фартука) на пациента (с защитой) меньше в 1,19–3,74 раза мощности дозы без защиты. Это говорит о том, что при использовании защитной пластины на пациенте в то же количество K раз снижается дозовая нагрузка

Гармаш А.А., Буйденко Ю.В., Васюк Е.Ю. и др.  
Оценка дозовых нагрузок на медицинский...

Гистограммы мощности эквивалентной дозы мкЗв/с для каждой процедуры с использованием защитных фартуков на пациенте и без него

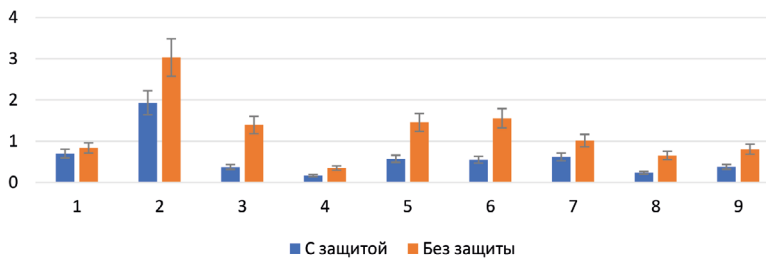


Рис. 7. Мощность эквивалентной дозы в области головы, шеи и, соответственно, щитовидной железы, хрусталиков глаз хирурга для каждого из 9 пациентов при наличии защитной пластины на пациенте и без нее

Fig. 7. Equivalent dose rate in the head, neck and, accordingly, thyroid gland, and lenses of the surgeon's eyes for each of the 9 patients with and without a protective plate on the patient

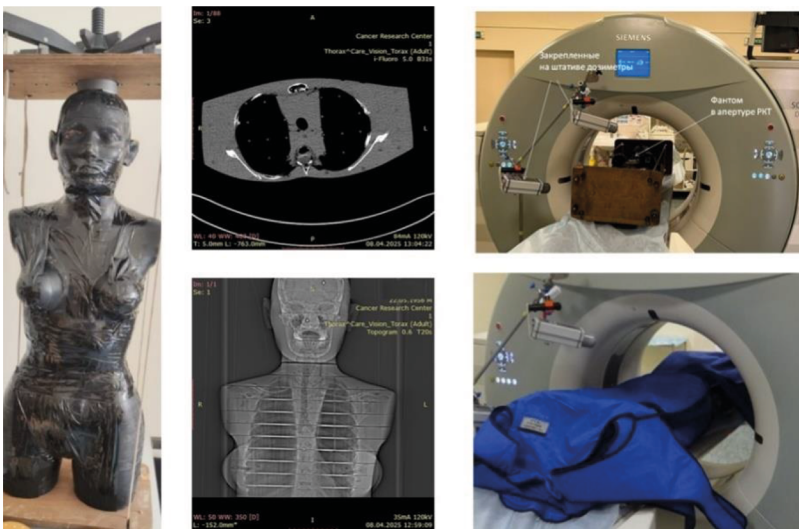


Рис. 8. Внешний вид фантома AldersonRando. Томограммы фантома. Фантом в проеме гантри без дополнительной защиты, с защитой (фартуком) и расположенные на штативе дозиметры RadiaScan-801M и ДКС-АТ1123

Fig. 8. External appearance of the AldersonRando phantom. Tomograms of the phantom. The phantom in the gantry opening without additional protection, with protection (apron), and the RadiaScan-801M and DKS-AT1123 dosimeters mounted on a tripod

на хирурга. Средний по 9 процедурам коэффициент снижения дозы составил величину  $K = 2,2 \pm 0,9$ .

Однако полученные значения мощности дозы значительно флуктуировали, варьируя от пациента к пациенту, что обусловлено различиями в анатомическом строении и физических характеристиках тела, влияющих на степень рассеяния рентгеновского излучения. Кроме того, значительный разброс показателей мог быть связанным с тем, что работа дозиметра происходит в импульсном режиме, а рентгеновская трубка находится в постоянном вращении. Для минимизации этой погрешно-

сти и повышения воспроизводимости результатов было принято решение провести серию измерений с использованием человекоподобного фантома AldersonRando (рис. 8), обладающего стандартизированными параметрами поглощения и рассеяния, с измерением дополнительным дозиметром, основанным на накопительном принципе, за фиксированный промежуток времени.

Результаты измерений эквивалентной дозы двумя дозиметрами при различной толщине (количестве) фартуков, которыми накрыт фантом при

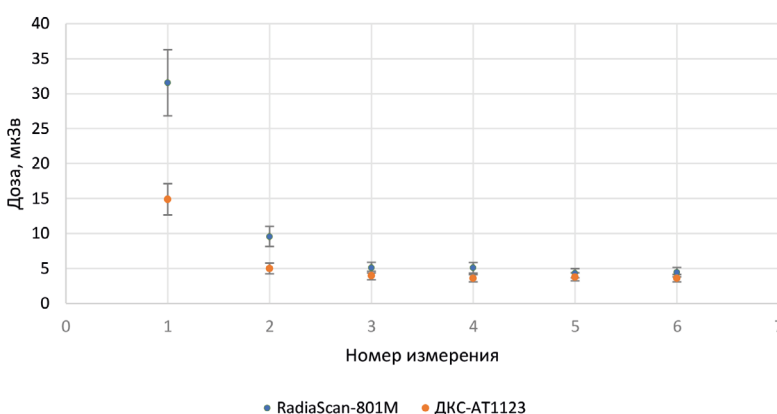


Рис. 9. Зависимость эквивалентной дозы рассеянного излучения для фантома на предполагаемые области головы и шеи хирурга, измеренной двумя дозиметрами от номера измерения, учитывающих толщину слоев фартука

Fig. 9. Dependence of the equivalent dose of scattered radiation for the phantom on the supposed areas of the surgeon's head and neck, measured by two dosimeters on the measurement number, taking into account the thickness of the apron layers

**Таблица 2. Эквивалентная доза на области головы шеи хирурга при разной толщине и расположении защитных фартуков на фантоме**

**Table 2. Equivalent dose to the area of the surgeon's head and neck for different thicknesses and locations of protective aprons on the phantom**

№	Эквивалент свинцу защиты (фартуки) нижней части, мм	Эквивалент свинцу защиты (фартуки) верхней части, мм	Эквивалентная доза (RadiaScan-801M), мкЗв	Погрешность, мкЗв	Эквивалентная доза (ДКС-АТ1123), мкЗв	Погрешность, мкЗв
1	0	0	31,6	4,7	15	2
2	0,25	0	9,6	1,4	5,0	0,8
3	0,5	0	5,1	0,8	4,0	0,6
4	0,75	0	5,1	0,8	3,6	0,5
5	1,0	0	4,3	0,7	3,8	0,6
6	1,0	0,25	4,5	0,7	3,6	0,5



Рис. 10. Радиозащитная пластина из просвинцованного винила для снижения воздействия рассеянного рентгеновского излучения на пациента и врача при выполнении малоинвазивных вмешательств под контролем КТ

Fig. 10. Radioprotective plate made of lead vinyl to reduce the impact of scattered X-ray radiation on the patient and the physician during minimally invasive interventions under CT control

проведении сканирования, представлены на рис. 9 и в табл. 2.

С увеличением толщины эквивалента свинцовой защиты доза рассеянного излучения на предполагаемую область головы и шеи хирурга снижается от 3 до 6 раз (более чем на 70 %). Причём основное снижение происходило при увеличении эквивалента до толщины 0,5 мм; при дальнейшем увеличении эффекта не отмечается. На основании этих данных была разработана специальная радиозащитная пластина для снижения рассеянного рентгеновского излучения на пациента и врача во время малоинвазивных вмешательств под контролем КТ.

Впоследствии радиозащитная пластина была изготовлена на предприятии ГК «Промет-Урал» (г. Екатеринбург, Россия) [21] из радиозащитного винила с эквивалентом по свинцу 0,5 мм, размерами 600×1200 мм и массой 5,5 кг. Такой размер и вес пластины признаны оптимальными, что обеспечивает удобство применения и максимально

возможное закрытие тела пациента во время выполнения интервенционного вмешательства.

### Обсуждение

Согласно современным представлениям, воздействие ионизирующего излучения в любых дозах сопряжено с определенными рисками развития неблагоприятных стохастических эффектов [22]. Для минимизации неблагоприятного радиационного воздействия действует сформулированный Международной комиссией по радиационной защите принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable), который гласит, что индивидуальные и коллективные дозы должны поддерживаться на максимально низком уровне, насколько это разумно возможно с учетом социальных и экономических факторов [2, 23, 24]. Реализация данного принципа основывается на трех ключевых направлениях: сокращении времени экспозиции (достигается оптимизацией рабочих процессов и высокой

квалификацией персонала), увеличении расстояния до источника излучения (что ограничено техническими особенностями интервенционных процедур, требующих близкого контакта хирурга с пациентом), а также использовании средств радиационной защиты (свинцовые фартуки, экраны, очки).

В НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина ежегодно выполняется более 500 трансторакальных биопсий под контролем КТ. Кроме этого, выполняется более 1000 пункционных интервенционных вмешательств под КТ-навигацией, включая биопсии костных новообразований, блокады нервных сплетений и вертебропластики. При этом с каждым годом наблюдается устойчивый рост количества таких процедур. При выполнении интервенционных процедур наибольшие значения дозовой нагрузки приходятся на кисти рук хирурга. В показателях эквивалентной дозы наблюдается значительное стандартное отклонение при относительно стабильных показателях мощности дозы. Данное наблюдение объясняется существенными различиями в продолжительности процедур, которые в отдельных случаях отличались более чем в три раза. Вариабельность времени выполнения биопсии обусловлена несколькими факторами, в первую очередь сложностью локализации опухоли и опытом хирурга. Максимальная эквивалентная доза на кисти рук хирурга за одну процедуру составила 2,9 мЗв. Лучевая нагрузка во время разметки и анестезии оказалась значительно меньше в связи с малой продолжительностью выполнения этапа и нахождением кистей рук на расстоянии от основного сканирующего пучка.

При оценке лучевой нагрузки на область головы и шеи хирурга, где расположены критически важные органы, чувствительные к ионизирующему излучению, такие как хрусталики глаз и щитовидная железа, было показано, что индивидуальная защита хирурга снижает интенсивность лучевого воздействия на область шеи в 5,3 раза, что практически соответствует требованиям к индивидуальной защите от рентгеновского излучения ГОСТ [25] и указывает на необходимость правильного применения средств индивидуальной защиты. Иногда врачи применяют неполный комплект средств индивидуальной защиты (игнорирование очков, воротников) и неправильно располагают радиозащитные фартуки, оставляя зазоры в области груди и живота [26].

Особому риску при выполнении интервенционных процедур в кабинете КТ подвергаются глаза хирурга. Обычно для их защиты используются спе-

циальные очки из просвинцованного стекла, которые предназначены для защиты от прямого излучения. Несмотря на то, что у нас не было возможности оценить мощность излучения на глаза и степень его уменьшения при использовании радиозащитных очков, мы убеждены, что при этих процедурах эффективность очков может существенно снижаться. Это связано с тем, что из-за вертикального вращения рентгеновской трубки значительная часть рассеянного излучения может поступать к глазам под косыми углами, минуя защитные стекла очков. Это еще раз убедило нас, что необходимы дополнительные меры защиты или совершенствование имеющихся средств индивидуальной защиты для глаз при интервенционных вмешательствах под контролем КТ.

В СанПиН 2.6.25 [27] указано на необходимость обязательного использования средств защиты для пациентов и врачей при проведении рентгенологических исследований, но нет четких рекомендаций по использованию средств защиты при КТ, поэтому нередко дополнительные средства защиты во время КТ не используются.

Kiarou et al [18] показали, что доза облучения тестисов у пациента при КТ снижалась более чем в два раза при накрывании области таза и бедер свинцовым фартуком, что эффективно защищало пациента от рассеянного излучения, исходящего сверху в ходе вращения рентгеновской трубки. В этой связи нами было высказано предположение, что аналогичным образом можно уменьшить влияние рассеянного излучения на хирурга, исходящего снизу во время работы рентгеновской трубки в нижнем положении, посредством аналогичного экранирования при накрывании пациента специальной радиозащитной пластиной.

Уже на первом этапе исследований мы зафиксировали существенное снижение мощности дозы излучения в области головы и шеи хирурга при использовании экранирования. В качестве импровизированной защиты применяли просвинцованный фартук с эквивалентом по свинцу 0,25 мм, которым накрывали пациента (рис. 3). Это позволило уменьшить мощность дозы в 1,2–3,7 раза по сравнению с отсутствием защиты, что снизило дозовую нагрузку на критические органы хирурга. Для подтверждения эффективности метода была проведена экспериментальная работа. При этом мы дополнительно использовали дозиметр ДКС-АТ1123 с измерением эквивалентной дозы за определенные периоды времени 15 сек и последующим расчетом мощности дозы. Исходные показатели различных дозиметров существенно отличались, что указыва-

ет на трудности регистрации ионизирующего излучения, исходящего от оборудования, работающего в импульсном режиме. Однако, при увеличении «толщины» свинцового эквивалента пластины, происходило снижение интенсивности излучения, причём основное снижение было зафиксировано при увеличении свинцового эквивалента с 0,25 до 0,5 мм, далее эффект был слабо выражен. Таким образом, доказана эффективность размещения просвинцованных пластин непосредственно на пациенте для защиты от рассеянного излучения, а оптимальный эквивалент свинца составляет 0,5 мм, поскольку дальнейшее увеличение может существенно утяжелить защиту и снизить её мобильность.

В результате проведённых нами испытаний была разработана и изготовлена дополнительная защита в виде винилового пластины с оптимальным эквивалентом свинца, размерами и массой, обеспечивающая эффективную защиту как пациента, так и врача. На сегодняшний день данное средство защиты от рассеянного излучения обязательно применяется при всех интервенционных процедурах под контролем КТ в нашем медицинском центре.

Сегодня КТ-навигация представляет собой наиболее надёжный способ визуального контроля для подтверждения диагноза периферических новообразований легких путем биопсии. Это указывает на потребность в разработке новых подходов повышения безопасности вмешательств с максимальным сокращением радиационной нагрузки на персонал. В какой-то степени мы немного достигли этого в своей работе. Перспективным решением этой проблемы видится автоматизация процесса.

В последние годы интенсивно создаются альтернативы ручному введению инструментов, включая роботизированные системы и навигационные комплексы с инфракрасными и электромагнитными трекерами, которые часто встраиваются в гибридные операционные [19, 28].

Полностью исключить ионизирующее излучение и добиться высокой контрастности мягких тканей при биопсии можно с помощью МРТ-навигации. В настоящее время наибольшее распространение получила биопсия под МРТ-наведением образований предстательной железы и образований молочных желез, не имеющих отображения при рентгеновском и ультразвуковом наведении [28, 29]. В отношении использования при образованиях органов грудной клетки, МРТ-навигация, ввиду высокой контрастности, имеет хороший потенциал для разграничения опухолевой ткани и других мягкотканых безвоздушных структур, например, пост-обструктивным ателектазом при раке легкого

или параканкрозной пневмонией [30]. Основные недостатки работы под МРТ-наведением связаны с длительным временем сканирования, трудностями мониторинга в режиме реального времени и доступа к зоне биопсии, проблемами с ферромагнитными инструментами, геометрическими искажениями (дисторсией), создаваемыми иглой, дорогостоящей оборудования, наличием у пациентов противопоказаний к проведению МРТ. Для устранения части этих проблем применяются быстрые МР-последовательности, такие как  $t_2$  turbo spin echo,  $t_1$  vibe 3d в режиме Dixon с синхронизацией с дыханием, немагнитные инструменты, открытые МРТ-сканеры, специальное безопасное электронное оборудование [31]. Современные исследования демонстрируют успехи в снижении артефактов и автоматизации навигации с помощью методов глубокого обучения [32, 33]. При трудностях с визуализацией границ образования по данным КТ также возможно использование технологии совмещения на одной консоли (fusion) нативной КТ в ходе биопсии с полученными на амбулаторном этапе данными МРТ или ПЭТ/КТ [34, 35].

Преодоление обозначенных трудностей и создание специального медицинского оборудования, способного эффективно функционировать в условиях воздействия рентгеновского излучения и сильных электромагнитных полей, требует объединения усилий ученых, врачей-радиологов, хирургов и инженеров, совместная работа которых является необходимым условием для разработки аппаратуры и рекомендаций по методике выполнения малоинвазивных лечебно-диагностических интервенционных вмешательств, обеспечивающих высокую точность исследований, безопасность пациентов и медперсонала.

#### Список литературы / References

1. Prabhakar AM, Misono AS, Hemingway J, et al. Radiology Practice Environment and Occupational Radiation Exposure: A Survey of Vascular and Interventional Radiologists. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. 2022;33(4):395-402. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2021.12.024>.
2. Miller DL, Vaňo E, Bartal G, et al. Occupational Radiation Protection in Interventional Radiology: A Joint Guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. *Cardiovascular and Interventional Radiology*. 2010;33(2):230-9. <https://doi.org/10.1007/s00270-009-9756-7>.
3. Кореньков ИП, Охрименко СЕ, Шандала НК и др. Оценка доз облучения хрусталика глаза и кожи персонала в современных медицинских технологиях. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2022;67(1):54-9.  
Korenkov IP, Okhrimenko SE, Shandala NK, et al. Assessment of Lens and Skin Radiation Doses to Personnel in Modern Medical Technologies. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2022;67(1):54-9. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2022-67-1-54-59>.

4. McParland BJ, Nosil J, Barry B. A Survey of Radiation Exposure Received by the Staff at Two Cardiac Catheterization Laboratories. *British Journal of Radiology*. 1990;63(755):885-888. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-63-755-885>.
5. Staffenino G, Rossetti V, Rubichini F, et al. Short Communication: Staff Dose Reduction during Coronary Angiography using Low Framing Speed. *British Journal of Radiology*. 1996;69(825):860-4. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-69-825-860>.
6. Li LB, Kai M, Takano K, et al. Occupational Exposure in Pediatric Cardiac Catheterization. *Health Physics*. 1995;69(2):261-4. <https://doi.org/10.1097/00004032-199508000-00011>.
7. Medeiros RB, Mennucci TA. Evolution of X-ray Exposure Dosage during Coronary Cineangiography. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 1990;55(1):31-3.
8. Охрименко СЕ, Рыжкин СА, Аكوпова НА, Алехнович АВ. Дозы облучения хрусталика глаза у медицинского персонала, работающего в условиях воздействия гамма- и рентгеновского излучения. *Медицинская физика*. 2020;1:44-5.  
Okhrimenko SE, Ryzhkin SA, Akopova NA, Alekhovich AV. Lens Doses to Medical Personnel Working under Conditions of Gamma and X-ray Radiation Exposure. *Medical Physics*. 2020;1:44-5. (In Russ.).
9. Karppinen J, Parvianen T, Servomaa A, et al. Risk and Exposure of Radiologists and patients during Coronary Angiography and percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty. *Radiation Protection Dosimetry*. 1995;57(1-4):481-5.
10. Guo Y, Mao L, Zhang G, et al. Conceptual Design and Preliminary Results of a VR-based Radiation Safety Training System for Interventional Radiologists. 2020;arXiv:2001.04839. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.04839>.
11. Cho JH, Kim JY, Kang JE, et al. A Study to Compare the Radiation Absorbed Dose of the C-arm Fluoroscopic Modes. *Korean J Pain*. 2011;24(4):199-204. <https://doi.org/10.3344/kjp.2011.24.4.199>.
12. Kuon E, Weitmann K, Hoffmann W, et al. Effect of Reduction of the Pulse Rates of Fluoroscopy and CINE-Acquisition on X-Ray Dose and Angiographic Image Quality During Invasive Cardiovascular Procedures. *Circulation: Cardiovascular Interventions*. 2014;7(4):441-6. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.001479>.
13. IAEA. Dosimetry. URL: <https://www.iaea.org/resources/hhc/medical-physics/radiology/dosimetry>. (05.01.2026).
14. Rizik D, Riley R, Burke R, et al. Comprehensive Radiation Shield Minimizes Operator Radiation Exposure and Obviates Need for Lead Aprons. *Journal of the Society for Cardiovascular Angiography & Interventions*. 2023;2:100603. <https://doi.org/10.1016/j.jscvi.2023.100603>.
15. Fattal P, Goldstein JA. A Novel Complete Radiation Protection System Eliminates Physician Radiation Exposure and Leaded Aprons. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*. 2013;82(1):11-20. <https://doi.org/10.1002/ccd.24625>.
16. Jones AK, Pasciak AS, Wagner LK. Best Practices Guidelines for CT-Guided Interventional Procedures. *Journal of the American College of Radiology*. 2022;19(11):1240-52. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2022.08.012>.
17. Takaki H, Kobayashi K, Kako Y, et al. Computed Tomography-guided Puncture: Preprocedural Preparation, Technical Tips, and Radioprotection. *Diagnostics (Basel)*. 2023; 13(18):2925. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13182925>.
18. Klapour M, Ebrahimnejad GK, Mehraeen R, et al. Can Common Lead Apron in Testes Region Cause Radiation Dose Reduction during Chest CT Scan? A Patient Study. *Journal of Biomedical Physics and Engineering*. 2021;11(4):447-56. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v11i4.2008-1133>.
19. Балахнин ПВ, Буровик ИА, Багненко СС. Технологии визуализации, наведения и слежения в интервенционной онкологии: современные возможности и перспективы дальнейшего развития. *Медицина высоких технологий*. 2024;(2):5-23.  
Balakhnin PV, Burovik IA, Bagnenko SS. Visualization, Guidance and Tracking Technologies in Interventional Oncology: Current Capabilities and Future Development Prospects. *High-Tech Medicine*. 2024;(2):5-23. (In Russ.).
20. Siemens Healthineers AG. URL: <https://www.siemens-healthineers.com>. (05.01.2026).
21. ГК «Промет-Урал». Екатеринбург. [Электронный ресурс]. URL: <https://рентгенозащита.рф>. (05.01.2026).  
Promet-Ural Group of Companies. Yekaterinburg. URL: <https://рентгенозащита.рф>. (05.01.2026). (In Russ.).
22. Ставицкий РВ, Блинов НН, Рабкин ИХ, Лебедев ЛА. Радиационная защита в медицинской рентгенологии. М: Кабур. 1994;272.  
Stavitsky RV, Blinov NN, Rabkin IH, Lebedev LA. Radiation Protection in Medical Radiology. M: Kabur. 1994;272 (In Russ.).
23. Frijia G, Schueler BA, Damilakis J, et al. Patient Safety in Medical Imaging: a joint paper of the European Society of Radiology (ESR) and the European Federation of Radiographer Societies (EFRS). *Insights Imaging*. 2019;10(1):45. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0721-y>.
24. ГОСТ 31114.3-2012 (МЭК 61331-3:1998, MOD). Средства защиты от рентгеновского излучения в медицинской диагностике. Часть 3. Защитная одежда. — М.: Стандартинформ, 2012. — 12 с.  
GOST 31114.3-2012 (IEC 61331-3:1998, MOD). Protective equipment against X-ray radiation in medical diagnostics. Part 3. Protective clothing. - M.: Standartinform, 2012. - 12 p. (In Russ.).
25. Faggioni L, Paolicchi F, Bastiani L, et al. Radiation Protection in Interventional Radiology. *Cardiovascular and Interventional Radiology*. 2021;44(6):857-67. <https://doi.org/10.1007/s00270-021-02807-3>.
26. СанПиН 2.6.4115–25. Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения. 2025.  
SanPiN 2.6.4115–25. Sanitary and epidemiological requirements in the field of radiation safety of the population when handling ionizing radiation sources. 2025 (In Russ.).
27. Боровков ИМ, Сехниаидзе ДД, Ельцов ИВ и др. Торакоскопическая пневмонэктомия: хирургическая техника и непосредственные результаты. *Хирургия и онкология*. 2025;15(4):19-33.  
Borovkov IM, Sekhniaidze DD, Eltsov IV et al. Thoracoscopic pneumonectomy in lung cancer patients: surgical technique and immediate outcomes. *Surgery and Oncology*. 2025;15(4):19-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/2949-5875-2025-15-4-19-33>
28. Sattin C, Pizzi C, Summers P, et al. Histopathologic Yields and Concordance of In-Bore MRI-targeted Biopsy for Prostate Cancer Diagnosis. *Radiology*. 2025;316(1):e241710. <https://doi.org/10.1148/radiol.241710>.
29. Мазо МЛ, Якобс ОЭ, Пучкова ОС и др. Первый опыт применения вакуумной аспирационной биопсии молочной железы под МТР-наведением. *Медицинский алфавит*. 2020;(29):25-31.  
Mazo ML, Jacobs OE, Puchkova OS et al. First experience with MRI-guided vacuum aspirated breast biopsy. *Medical alphabet*. 2020;(29):25-31. (In Russ.). <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-29-25-31>
30. Li P, Li C, Xu Y, et al. Feasibility of Multiparameter MRI-Guided Percutaneous Biopsy for Central Lung Lesions With Atelectasis. *Korean J Radiol*. 2025;26(5):498-507. <https://doi.org/10.3348/kjr.2024.0818>. PMID: 40307203; PMCID: PMC12055272.
31. Черкашин МА, Пучков ДД, Реут ЕА и др. Трепан-биопсии солидных опухолей под контролем компьютерной и магнитно-резонансной томографии. *РМЖ*. 2019;6:3–9.  
Cherkashin MA, Puchkov DD, Reut EA, et al. Trephine biopsy of solid tumours under the CT and MRI control. *RMJ*. 2019;6:3-9. (In Russ.).
32. He Z, Zhu Y-N, Chen Y, et al. A deep unrolled neural network for real-time MRI-guided brain intervention. *Nature Communications*. 2023;14(1):8257. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43966-w>.
33. Huang S, Lou C, Zhou Y, et al. MRI-guided robot intervention—current state-of-the-art and new challenges. *Med-X*. 2023;1(1): 4.
34. Sivanesan N, Diaz GM, Strachan S, et al. MRI-fusion biopsy era: the role of perineural invasion in low-risk prostate cancer. *Curr Probl Cancer*. 2025;59:101251. <https://doi.org/10.1016/j.currproblcancer.2025.101251>. PMID: 40946534.

#### Information about the authors.

Aleksandr A. Garmash, <https://orcid.org/0000-0002-1129-7220>  
Yuriy V. Buydenok, <https://orcid.org/0000-0002-0480-8467>  
Irina M. Lebedenko, <https://orcid.org/0000-0003-0634-7841>  
Boris I. Dolgushin, <http://orcid.org/0000-0001-7185-7165>  
Igor E. Tyurin, <http://orcid.org/0000-0003-3931-1431>

Vladislav E. Bugaev, <http://orcid.org/0000-0002-2410-780>  
Pavel V. Kononets, <http://orcid.org/0000-0003-4744-6141>  
Eduard R. Virshke, <http://orcid.org/0000-0002-4006-3642>  
Elena N. Kozak, <https://orcid.org/0000-0002-2174-1399>  
Gyulya I. Akhverdieva, <https://orcid.org/0000-0001-7381-0942>  
Mariya G. Lapteva, <https://orcid.org/0000-0002-1295-4106>

#### Вклад авторов

А.А. Гармаш: идея, организация проведения работ, коррекция текста статьи  
Ю.В. Буйденко: организация проведения исследовательских работ, получение экспериментальных данных, коррекция текста статьи  
Е.Ю. Васюк: получение экспериментальных данных, обработка полученного материала, построение графического материала, подготовка текста  
И.М. Лебедеко: анализ, компоновка текста статьи, оформление  
М.Г. Найденов: проведение дозиметрии  
Б.И. Долгушин: научный руководитель проекта, консультант, главный редактор статьи  
И.Е. Тюрин: разработка метода наведения радиологического контроля, редакция текста  
В.Е. Бугаев: хирургическое выполнение интервенционных процедур, практическое внедрение результатов  
П.В. Кононец: организация лечебно-диагностического процесса  
Э.Р. Виршке: выполнение интервенционных вмешательств  
Е.Н. Козак: радиологическое наведение и контроль при выполнении интервенционных процедур, практическое внедрение результатов  
Г.Э. Ахвердиева: аналитическая оценка возможности использования МРТ в качестве альтернативы КТ  
М.Г. Лаптева: аналитическая оценка возможности использования МРТ в качестве альтернативы КТ, редакция текста, оформление  
А.В. Закурдаева: разработка технических средств

**Финансирование.** Финансирование. Работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности НИЯУ МИФИ (Договор №02.а03.21.0005)

**Конфликт интересов.** Буйденко Ю.В., Долгушин Б.И., Тюрин И.Е и Лаптева М.Г. являются членом редакционной коллегии, главным редактором, заместителем главного редактора и ответственным секретарем журнала «Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия», соответственно, что не имеет никакого отношения к решению опубликовать данную статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета не требовалось.

**Информированное согласие.** Не требовалось подписания информированного согласия на участие в исследовании.

**Поступила:** 27.12.2025.

**Принята к публикации:** 05.02.2026.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

#### Authors' contributions

A.A. Garmash: idea, organization of work, correction of the article text.  
Yu. V. Buydenok: organization of research work, obtaining experimental data, correction of the article text.  
E. Yu. Vasyuk: obtaining experimental data, processing the obtained material, creating graphic material.  
I.M. Lebedenko: analysis, layout of the manuscript text, design.  
M.G. Naidenov: conducting dosimetry.  
B.I. Dolgushin: Project Scientific Director, Consultant, Editor-in-Chief.  
I.E. Tyurin: Development of the radiological control guidance method, text editing.  
V.E. Bugaev: surgical implementation of intervention procedures, practical implementation of results.  
P.V. Kononets: organization of the treatment and diagnostic process.  
E.R. Virshke: implementation of interventional procedures.  
E.N. Kozak: radiological guidance and control during interventional procedures, and practical implementation of the results.  
G.I. Akhverdieva: analytical assessment of the possibility of using MRI as an alternative to CT.  
M.G. Lapteva, analytical assessment of the possibility of using MRI as an alternative to CT, correction of the article text, design.  
A.V. Zakurdaeva: development of technical means.

**Funding.** The work was carried out with the support of the Program for Enhancement of Competitiveness of NRNU MEPhI (Agreement No. 02.a03.21.0005)

**Conflict of interests.** Yu. V. Buydenok, B. I. Dolgushin, I. E. Tyurin, and M. G. Lapteva are members of the editorial board, editor-in-chief, deputy editor-in-chief, and executive secretary of the journal "Journal of Oncology: Diagnostic Radiology, Radiotherapy," respectively, and had no role in the decision to publish this article. The article underwent the journal's peer-review process. The authors declared no other conflicts of interest.

**Ethical compliance.** Ethical committee approval was not necessary.

**Informed consent.** Not required.

**Received:** 27.12.2025.

**Accepted for publication:** 05.02.2026.

**Published online:** 26.03.2026.

## СОЛИТАРНАЯ ФИБРОЗНАЯ ОПУХОЛЬ ПЛЕВРЫ С НИЗКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ ЗЛОКАЧЕСТВЕННОСТИ (ОБЗОР И КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ)

Ажищева М.Е., Фролова И.Г., Родионов Е.О., Миллер С.В., Черемисина О.В., Лоос Д.М., Табакаев С.А., Бобер Е.Е., Суркова П.В.

Научно-исследовательский институт онкологии — филиал Томского национального исследовательского медицинского центра РАН; Россия, 634009 Томск, пер. Кооперативный, 5.

✉ Ажищева Марина Евгеньевна, E-mail: azischeva98@mail.ru, +79059909689.

### РЕФЕРАТ

**Актуальность:** Солитарная фиброзная опухоль (СФО) — редкая мезенхимальная опухоль фибробластической природы. Солитарная фиброзная опухоль не является собственно опухолью плевры в отличие от диффузной мезотелиомы. Впервые СФО описал E. Wagner в 1870 г. Неспецифические клинические проявления солитарной фиброзной опухоли осложняют диагностический поиск и значительно расширяют дифференциально-диагностический ряд.

**Цель:** Продемонстрировать редкий случай солитарной фиброзной опухоли плевры и показать на примере клинического случая трудности ее диагностики.

**Материалы и методы:** Пациентке с жалобами на кашель, одышку при интенсивной физической нагрузке, была проведена мультисрезовая компьютерная томография (МСКТ) органов грудной клетки, по данным которой было выявлено образование с четкими контурами, неоднородной структуры, расположенное субплеврально.

**Заключение:** Представленное наблюдение демонстрирует неспецифические рентгенологические проявления солитарной фиброзной опухоли, иллюстрирует важность правильной трактовки данных и выбора диагностического алгоритма.

**Ключевые слова:** солитарная фиброзная опухоль (СФО), мезенхимальная опухоль, мультисрезовая компьютерная томография (МСКТ), иммуногистохимическое исследование (ИГХ-исследование)

**Для цитирования:** Ажищева М.Е., Фролова И.Г., Родионов Е.О., Миллер С.В., Черемисина О.В., Лоос Д.М., Табакаев С.А., Бобер Е.Е., Суркова П.В. Солитарная фиброзная опухоль плевры с низким потенциалом злокачественности (обзор и клиническое наблюдение). Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):90-96.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-90-96>

## SOLITARY FIBROUS TUMOR OF THE PLEURA WITH LOW MALIGNANT POTENTIAL (REVIEW AND CLINICAL OBSERVATION)

Marina E. Azhishcheva, Irina G. Frolova, Evgeniy O. Rodionov, Sergey V. Miller, Olga V. Cheremisina, Dmitriy M. Loos, Stanislav A. Tabakaev, Ekaterina E. Bober, Polina V. Surkova

Oncology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center; 5 Kooperativny per., Tomsk, Russia 634009

✉ Marina E. Azhishcheva, azischeva98@mail.ru, +79059909689.

### ABSTRACT

**Introduction:** Solitary fibrous tumor (SFT) — a rare mesenchymal tumor of fibroblastic origin. Solitary fibrous tumor is not a tumor of the pleura itself, unlike diffuse mesothelioma. The SFT was first described by E. Wagner in 1870. Non-specific clinical manifestations of solitary fibrous tumor complicate the diagnostic search and significantly expand the differential diagnostic range.

**Purpose:** To demonstrate a rare case of solitary fibrous tumor of the pleura and to show, using a clinical case as an example, the difficulties of its diagnosis.

**Materials and methods:** Multislice computed tomography (MSCT) of the chest organs performed to the patient with complaints of cough and shortness of breath during intense physical activity. Formation was detected with clear contours, a heterogeneous structure, located subpleurally was revealed.

**Results:** The presented observation demonstrates non-specific radiological manifestations of a solitary fibrous tumor and illustrates the importance of correct interpretation of data and choice of diagnostic algorithm.

**Key words:** solitary fibrous tumor (SFT), mesenchymal tumor, multislice computed tomography, immunohistochemical study

**For citation:** Azhishcheva M.E., Frolova I.G., Rodionov E.O., Miller S.V., Cheremisina O.V., Loos D.M., Tabakaev S.A., Bober E.E., Surkova P.V. Solitary Fibrous Tumor of the Pleura with Low Malignant Potential (Review and Clinical Observation). Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):90-96. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-90-96>

### Введение

Подавляющее большинство плевральных новообразований вторично проникает в плевру и могут наблюдаться у пациентов с бронхогенной карциномой, раком молочной железы, лимфомой, а также карциномой яичников или желудка. Вторичные опухоли составляют около 90 % плевральных но-

вообразований; они включают метастатическое заболевание и редкие новообразования, такие как тимомы и лимфомы. Первичные плевральные новообразования встречаются реже, составляя около 10 % плевральных новообразований; специфическими типами клеток являются плевральная злокачественная мезотелиома, локализованная фиброз-

ная опухоль и плевральная липосаркома (Л. Бономо, Б. Ферагалли, Р. Сакко «Злокачественное заболевание плевры», 2000 г.) [1].

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) выделяют следующие типы опухолей плевры (International Agency for Research on Cancer, World Health Organization):

Мезотелиальные опухоли:

- Доброкачественные и преинвазивные мезотелиальные опухоли;
- Аденоматоидная опухоль плевры;
- Высокодифференцированная папиллярная мезотелиальная опухоль плевры;
- Мезотелиома *in situ*.

Мезотелиома:

- Локализованная плевральная мезотелиома;
- Диффузная плевральная мезотелиома.

Гематолимфоидные опухоли:

- Гематолимфоидные опухоли плевры и перикарда;
- Первичная выпотная лимфома;
- Диффузная В-крупноклеточная лимфома, связанная с хроническим воспалением плевры [2].

Солитарная фиброзная опухоль (СФО) является очень редкой доброкачественной веретенчатой мезенхимальной опухолью. Данную опухоль впервые описал E. Wagner в 1870 г. [3].

Чаще всего возникает из плевры и составляет 5 % всех опухолей плевры. В 10–20 % случаев эти опухоли являются локально агрессивными или злокачественными [4].

Общепринятой классификации СФО не существует. Наиболее часто встречается доброкачественный вариант опухоли, реже — злокачественный. В последнем случае размеры опухоли обычно превышают 10 см в диаметре с признаками инвазии в субплевральные слои легкого, грудной стенки, диафрагмы. При длительном существовании может

наблюдаться трансформация доброкачественного варианта СФО в злокачественный с диссеминацией по плевре [5].

### Цель исследования

В данном наблюдении мы хотели представить редкий случай солитарной фиброзной опухоли плевры с низким потенциалом злокачественности.

### Клинический случай

Пациентка К., 53 года, обратилась в НИИ онкологии Томского НИМЦ с жалобами на постоянные боли в грудной клетке слева, периодически сухой кашель, одышку при интенсивной физической нагрузке. Из анамнеза известно, что случайно при профилактическом осмотре в Абакане на рентгенограмме было выявлено образование в левом легком. В НИИ онкологии пациентке была выполнена МСКТ органов грудной клетки.

МСКТ органов грудной клетки на аппарате Siemens Somatom Confidence 64 с внутривенным болюсным контрастированием препаратом омнипак 350–100 мл, эффективная доза 32,13 мЗв (12.01.2019). МСКТ выполнена аксиальными срезами толщиной 2,5 мм, с последующей реконструкцией сагиттальных и фронтальных изображений срезами толщиной 1,25 мм.

Получены следующие КТ-изображения (рис. 1).

Слева в верхних отделах главной междолевой плевры отмечается наличие образования треугольной формы, неоднородного по структуре, средней плотностью в пределах от 32 НУ до 46 НУ, размерами до 33×25 мм в поперечнике, образование тесно прилежит к 5 ребру.

При контрастировании образование не накапливает контрастное вещество.

Заключение: выявленные изменения могут соответствовать новообразованию плевры.

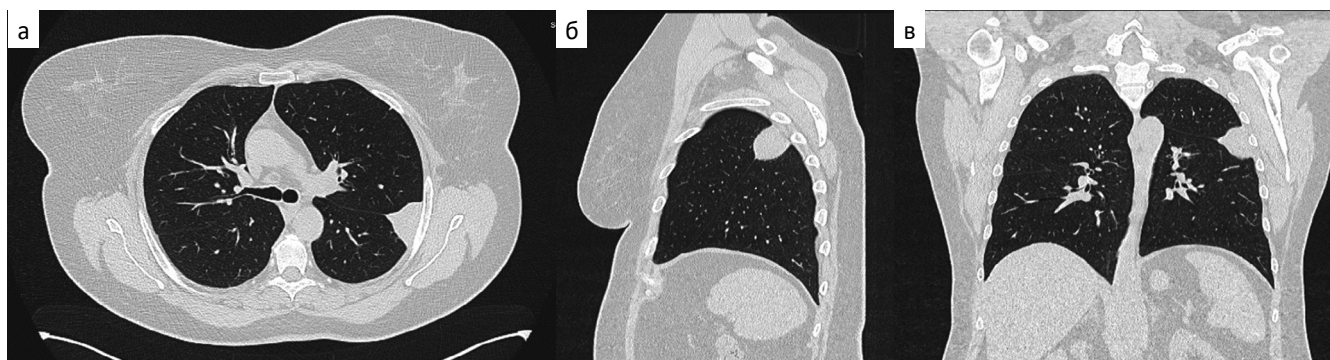


Рис. 1. МСКТ органов грудной клетки пациентки К. Аксиальная (1а), сагиттальная (1б), корональная (1в) проекции. В верхних отделах главной междолевой плевры левого легкого определяется образование треугольной формы  
Fig. 1. MSCT scan of the chest organs of patient K. Axial (1a), sagittal (1b), coronal (1v) projections. A triangular formation is determined in the upper sections of the main interlobar pleura of the left lung

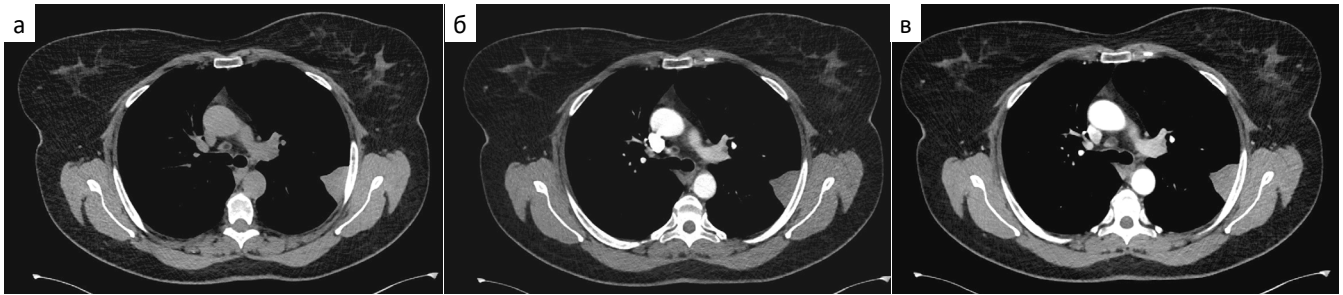


Рис. 2. МСКТ органов грудной клетки пациентки К. Аксиальная проекция. Образование в верхнем отделе главной междолевой плевры слева в нативную фазу (2а) со средней плотностью в пределах от 32 HU до 50 HU, в артериальную фазу (2б) со средней плотностью в пределах от 21 HU до 53 HU, в венозную фазу (2в) со средней плотностью в пределах от 18 HU до 53 HU

Fig. 2. MSCT scan of the chest organs of patient K. Axial projections. Formation in the upper part of the main interlobar pleura on the left in the native phase (2a) with an average density in the range from 32 HU to 50 HU, in the arterial phase (2б) with an average density in the range from 21 HU to 53 HU, in the venous phase (2в) with an average density in the range from 18 HU to 53 HU

С 13.01.2025 по 21.01.2025 пациентка К. находилась в НИИ онкологии на стационарном лечении. В условиях стационара было проведено предоперационное обследование:

Общий анализ крови (20.01.2025): эритроциты —  $4,57 \times 10^6 / \text{мм}^3$ , гемоглобин — 141 г/л, тромбоциты —  $249 \times 10^3 / \text{мм}^3$ , лейкоциты —  $7,13 \times 10^3 / \text{мм}^3$ , СОЭ — 18 мм/ч.

Биохимический анализ крови (20.01.2025): глюкоза 5,4 ммоль/л, АСТ 29 Ед/л, АЛТ 26 Ед/л, белок 69 г/л.

В условиях стационара выполнено хирургическое лечение в объеме видеоторакоскопии, резекции опухоли с резекцией прилежащих отделов верхней доли левого легкого.

В ходе операции после двукратной обработки операционного поля выполнен минидоступ слева в 4-ое межреберье. Введен торакоскоп. При ревизии в плевральной полости выпота и высыпаний по плевре не обнаружено. В верхней доле левого легкого субплеврально, на границе с S6 нижней доли, новообразование на узком основании около 4 см, с четкими, ровными контурами, без инвазии в грудную

стенку, подвижное. Выполнена атипичная резекция аппаратом COVIDIEN EGIA60AMT (x2). Контроль на инородные тела, гемостаз, аэростаз, послойное ушивание торакотомной раны с оставлением в плевральной полости 1 дренажа. Асептическая повязка. На кожу наложен степлерный шов.

Резецированная опухоль отправлена на гистологическое исследование.

Исследование биопсийного материала (от 20.01.2025) показало: макроскопически обнаруживается округлая опухоль полиморфного строения. Один компонент представлен бесструктурными солидными участками опухолевых клеток, сложенными кубическими полигональными клетками с гиперхромными ядрами, местами формирующих псевдососудистые щели. Строма опухоли на данных участках представлена плотными тяжами соединительной ткани с выраженным гиалинозом. В части полей зрения опухоли формирует короткие, беспорядочные пучково-вихревые структуры сложенные веретеновидными умеренно полиморфными клетками с умеренно выраженной эозинофильной цитоплазмы и вытянутыми нормо- и гиперхром-

Рис. 3.

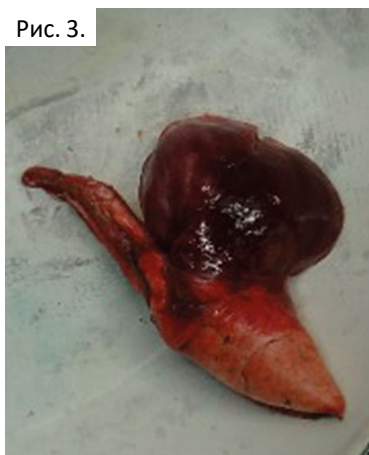


Рис. 4.

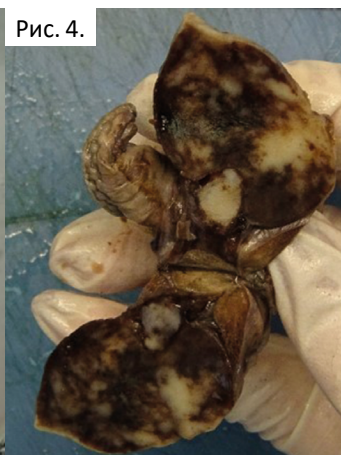


Рис. 3-4. Фрагмент атипичной резекции легкого 55×60×25 мм. Образование неправильной округлой формы размером 40×30×30 мм, плотной консистенции. Поверхность гладкая, блестящая, без дефектов (рис. 3). На разрезе образование представлено тканью серовато-коричневого цвета с участками темно-коричневого цвета и белесоватыми округлыми уплотнениями с нечеткими неровными контурами (рис. 4)

Fig. 3-4. A fragment of atypical lung resection 55×60×25 mm. Formation of irregular round shape, 40×30×30 mm in size, dense consistency. The surface is smooth, shiny, without defects (Fig. 3). In the section, the formation is represented by grayish-brown tissue with dark brown areas and whitish round seals with unclear uneven contours (Fig. 4).

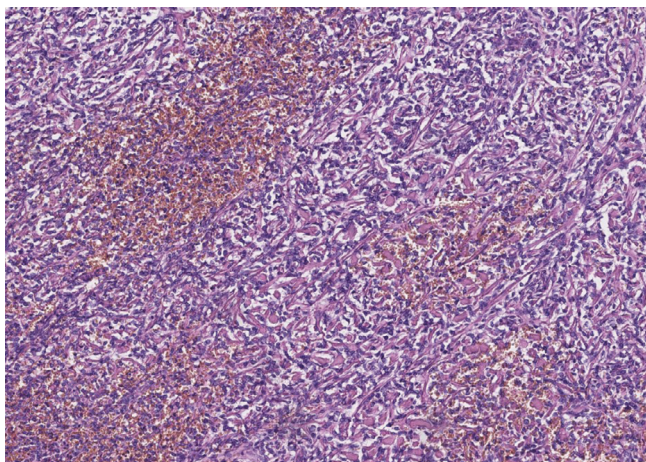


Рис. 5. Солитарная фиброзная опухоль. Беспорядочные короткие пучково-вихревые структуры, сложенные веретеновидными умеренно полиморфными клетками и солидными участками, состоящие из кубических и полигональных опухолевых клеток с гиперхромными ядрами, местами формирующие псевдососудистые щели. Строма опухоли представлена плотными тяжами соединительной ткани с выраженным гиалинозом и формированием глобулоподобных структур. Окраска гематоксилин-эозин, увеличение  $\times 100$

Fig. 5. Solitary fibrous tumor. Irregular short tuft-vortex structures composed of spindle-shaped moderately polymorphic cells and solid areas consisting of cubic and polygonal tumor cells with hyperchromatic nuclei, sometimes forming pseudovascular clefts. The tumor stroma is represented by dense connective tissue strands with pronounced hyalinosis and the formation of globule-like structures. Hematoxylin-eosin staining, magnification  $\times 100$

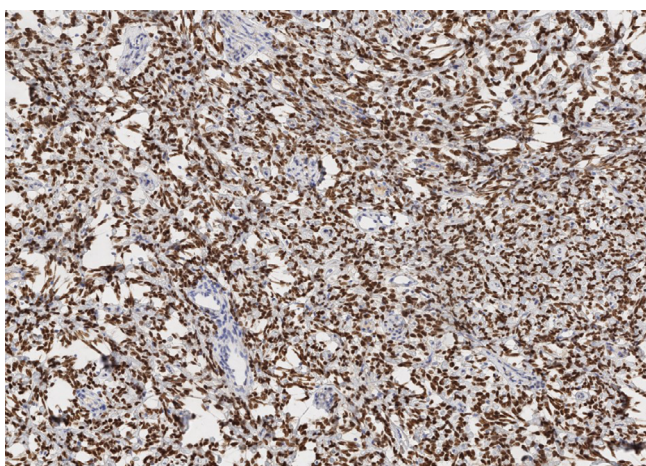


Рис. 6. Яркое диффузное ядерное окрашивание опухолевых клеток SFT. Иммуногистохимическое исследование с применением антитела STAT-6 (клон EP325, Cell Marque). Увеличение  $\times 100$

Fig. 6. Bright diffuse nuclear staining of SFT tumor cells. Immunohistochemistry using STAT-6 antibody (clone EP325, Cell Marque). Magnification  $\times 100$

ными ядрами. Строма опухоли на данных участках скудная, гиалинизированная. Местами в пределах препаратов строма опухоли представлена гиалиновыми глобулами, в части фокусов — тонкими фиброзными тяжами. Митотическая активность опухоли низкая, определяется не более 1-2 митозов на 10 полей зрения.

Проведено ИГХ исследование №102/25 с использованием иммуноштейнера Leica Bond Max на срезах с парафинового блока №100(2)/25.

В опухолевых клетках определяется диффузное окрашивание Vimentin (клон V9, Dako) и CD 34 (клон QBEnd 10, Leica), гетерогенное слабое окрашивание CD 99 (клон EPR3097Y, Cell Marque) и диффузное яркое ядерное окрашивание STAT-6 (клон EP325, Cell Marque). Окрашивание Ki 67 (клон SP6, Cell Marque) определяется в 10 % опухолевых клеток.

В опухолевых клетках отсутствует окрашивание Multi-Cytokeratin (клон AE1/AE3, Leica), Cytokeratin 7 (клон RN7, Leica), Cytokeratin 20 (клон NCL-L-CK20, Leica), Calcitonin (polyclonal, Leica), PAX8 (Polyclonal, Cell Marque), p40 (клон ZR8, Cell Marque), CD31 (клон JC70A, Dako), ERG (clone EP111, Dako) и S-100 (Polyclonal, Dako).

Заключение: Морфологическая картина, с учетом данных ИГХ-исследования, соответствует солитарной фиброзной опухоли плевры.

### Обсуждение

Солитарная фиброзная опухоль (СФО) — редкая мезенхимальная опухоль фибробластической природы. Солитарная фиброзная опухоль не является собственно опухолью плевры в отличие от диффузной мезотелиомы.

Этиология этих опухолей не изучена в полной мере. Экзогенные факторы, такие как табачный дым, асбест, связанные с опухолями легких и плевры, в данном случае не играют сколько-либо значимой роли. Генетические мутации, выявляемые в этих опухолях, также разнородны и не позволяют сделать однозначных выводов относительно этиологии заболевания, хотя есть сообщения о наследственной предрасположенности (J. V. Chest, 2005) [6].

Частота возникновения составляет 2,8 случая на 100 тыс. населения. На сегодняшний день в литературе описано 900 случаев этого заболевания. Поскольку СФО происходят из мезенхимальных клеток, также возможно, что они возникают экстраплеврально и поэтому более известны как экстраплевральные солитарные фиброзные опухоли. Их можно обнаружить, например, в полости носа, глазницах, ротовой полости, слюнных железах, щитовидной железе, почках, спинном мозге и в других местах. В редких случаях СФО также встре-

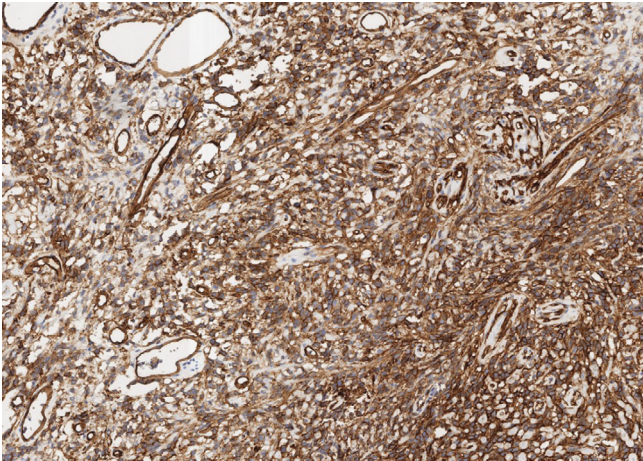


Рис. 7. Яркое диффузное мембранное окрашивание опухолевых клеток SFT. Иммуногистохимическое исследование с применением антитела CD 34 (клон QBEnd 10, Leica). Увеличение  $\times 100$ .

Fig. 7. Bright diffuse membranous staining of SFT tumor cells. Immunohistochemical study using CD 34 antibody (clone QBEnd 10, Leica). Magnification  $\times 100$

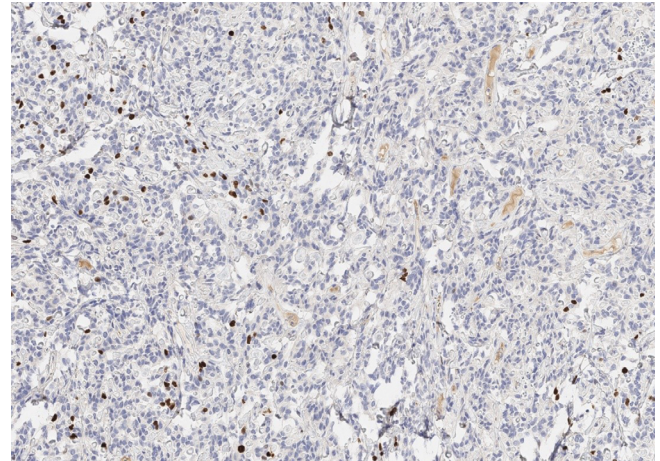


Рис. 8. Ядерное окрашивание Ki67 в 10 % опухолевых клеток SFT. Иммуногистохимическое исследование с применением антитела Ki67 (клон SP6, Cell Marque). Увеличение  $\times 100$

Fig. 8. Ki67 nuclear staining in 10 % of SFT tumor cells. Immunohistochemistry using Ki67 antibody (clone SP6, Cell Marque). Magnification  $\times 100$

чаются в паренхиме легких, где они возникают в результате трансформации мезенхимальных клеток в междольковых перегородках [3].

В 1931 г. Клемперер и Рабин классифицировали эти опухоли как (так называемые) доброкачественные (локализованные) мезотелиомы без доказанного воздействия асбеста, в отличие от злокачественной (диффузной) мезотелиомы, для которой такая корреляция была доказана. Именно в 1980-х гг. на основе иммуногистохимических методов было определено, что происхождение этих солитарных опухолей основано не на выстилке мезотелия плевры, а на слое мезенхимальных клеток, отложенных субплеврально [3].

Возникать СФО могут в различном возрасте (от 5 до 87 лет), однако наиболее часто они выявляются у пациентов 60–70 лет, при этом соотношение мужчин и женщин примерно равно [7]. СФО плевры не имеет семейной предрасположенности. В литературе описан лишь один случай возникновения опухоли у членов одной семьи (матери и дочери) [8].

Хотя СФО часто называют локальными, фиброзными или доброкачественными мезотелиомами, эта терминология неуместна, поскольку считается, что фиброзные опухоли возникают из субмезотелиальных мезенхимальных клеток, а не из мезотелиальных выстилающих клеток, и, кроме того, они существуют в доброкачественных и злокачественных формах. Микроскопически около 60 % локализованных фиброзных опухолей являются доброкачественными, а 40 % — злокачественными. Различие между доброкачественными и злокачественными формами можно провести на основе морфологи-

ческого строения, но это различие не всегда возможно, и наличие ножки является лучшим доказательством доброкачественности. Этот признак присутствует примерно у 50 %, а ножка может достигать 9 см в длину. Около 80 % локализованных фиброзных опухолей возникают в висцеральной плевре, а остальные 20 % — в париетальной плевре [1].

Доброкачественная СФО плевры обладает медленным экспансивным ростом, она не прорастает в окружающие ткани, не рецидивирует после удаления. В этих опухолях редко можно встретить обызвествление, некрозы и кровоизлияния. Злокачественные формы СФО характеризуются инфильтрирующим ростом в висцеральную плевру, наличием клеточного атипизма, полиморфизмом, высокой митотической активностью, ростом опухоли на широком основании без ножки, большими размерами, нетипичным расположением (в области париетальной плевры, междольковых щелей и эндифитным ростом опухоли в ткань легкого) [8].

Несмотря на, как правило, большие размеры опухоли, средний размер которой, по данным литературы, составляет 6–8 см, клинические проявления заболевания отсутствуют у большинства пациентов, и в 40 % новообразование выявляется случайно при рентгенографии органов грудной клетки. Жалобы появляются только на поздних стадиях заболевания, когда опухоль достигает огромных размеров и сдавливает близлежащие органы, появляются кашель, хрипы, одышка, при вовлечении в процесс париетальной плевры может отмечаться боль в грудной клетке. Опухоль боль-

ших размеров может проявляться паранеопластическим синдромом в связи с продукцией инсулиноподобного фактора роста [9].

Симптомы могут быть либо интраторакальными из-за сдавления легкого в результате роста опухоли, либо из-за образовавшегося плеврального выпота, а также экстраторакальными из-за выработки специфических веществ собственно опухолевыми клетками. Наиболее распространенными интраторакальными симптомами являются кашель, боль в груди, одышка и кровохарканье. Наличие плеврального выпота регистрируется в 16 % случаев, особенно при СФО с высоким злокачественным потенциалом. Потеря веса была описана у 10 % пациентов. Экстраторакальные (паранеопластические) симптомы могут включать боль в суставах и парестезию пальцев, вызванные выработкой фактора роста печени (фактор роста гепатоцитов — HGF) или избыточной выработкой гиалуроновой кислоты как части синдрома Пьера-Мари-Бамберга (гипертрофическая легочная остеоартропатия) [3]. У 10–20 % больных заболевание сопровождается гипертрофической остеоартропатией (утолщение концевых фаланг пальцев рук — синдром Пьер-Мари-Бамбергера) вследствие гиперпродукции гепатоцитарного фактора роста или гиалуроновой кислоты [7].

Из симптомов встречается также перемежающаяся гипогликемия (синдром Доега—Поттера), вызванная выработкой IGF-II (инсулиноподобного фактора роста II). Синдром Доега—Поттера колеблется от 2 % до 4 %, редко до 14 % и чаще описывается при опухолях, локализующихся в правой плевральной полости, размером более 20 см и с высоким митотическим потенциалом опухолевых клеток [3].

Менее чем у 5 % больных в клинической картине на первый план выходят явления стойкой гипогликемии вследствие продукции опухолью инсулиноподобного фактора роста II (синдром Додж—Поттера), которые сопровождаются вечерними (ночными) потами, усталостью, эпизодами неустойчивой походки и дизартрии. Высокий уровень инсулиноподобного фактора роста II обычно сочетается с низким уровнем инсулина и инсулиноподобного фактора роста I, который возвращается к норме на 3–4 день после удаления опухоли [7].

В редких случаях у некоторых пациентов также наблюдались гинекомастия и галакторея [3].

На рентгенограммах грудной клетки опухоль обычно выглядит как одиночное, хорошо очерченное однородное затемнение, иногда связанное с плевральным выпотом, чаще всего в средней и нижней частях плевральной полости. При рентгенологическом исследовании, компьютерной томографии органов грудной клетки выявляется гомо-

генное, округлое образование с четкими, ровными контурами, реже по достижении опухолью больших размеров встречаются участки неоднородности за счет зон кровоизлияний и некроза [7].

Плотность опухоли при компьютерном томографическом исследовании колеблется в пределах 25–40 единиц Хаунсфилда, отличается богатым кровоснабжением. Наличие центрального некроза или неоднородная структура опухоли могут затруднить дифференциацию СФО от других плевральных новообразований и рака легких или дифференциацию СФО с низким злокачественным потенциалом [3].

Небольшая опухоль, исходящая из париетальной плевры, формирует на компьютерных томограммах тупой угол между опухолью и грудной стенкой. При больших размерах новообразования на ножке указанный угол может быть острым, что ошибочно может навести на мысль о внутрилегочной локализации образования. Отличить доброкачественный и злокачественный вариант СФО по данным компьютерной томографии невозможно. У небольшого числа больных при рентгенологическом исследовании диагностируют плеврит, компрессию прилежащих отделов легкого и органов средостения. Для морфологической верификации диагноза применяют трансторакальную биопсию, позволяющую установить диагноз до операции не более чем в 40 % [7].

## Заключение

Солитарная фиброзная опухоль плевры — редкое новообразование мезенхимального происхождения, наиболее часто локализующееся на висцеральной плевре и составляющее менее 5 % первичных плевральных опухолей.

Несмотря на, как правило, большие размеры опухоли, средний размер которой, по данным литературы, составляет 6–8 см, клинические проявления заболевания отсутствуют у большинства пациентов и в 40 % новообразование выявляется случайно при рентгенографии органов грудной клетки. Жалобы появляются только на поздних стадиях заболевания, когда опухоль достигает огромных размеров и сдавливает близлежащие органы, отмечается кашель, хрипы, одышка, при вовлечении в процесс париетальной плевры может отмечаться боль в грудной клетке. Опухоль больших размеров может проявляться паранеопластическим синдромом в связи с продукцией инсулиноподобного фактора роста [9].

СФОП является доброкачественной опухолью со злокачественным потенциалом (10–20 % случаев). Метастазирует СФО чрезвычайно редко, преимущественно в печень, головной мозг, селезенку,

брюшину, надпочечник, почку, кости. Описанное наблюдение демонстрирует сложность определения органной принадлежности и определения потенциала злокачественности опухоли на дооперационном этапе [9].

Основными проблемами дифференциальной диагностики СФО являются особенности ее кровоснабжения, редкая частота встречаемости и отсутствие специфической клинической симптоматики.

Достоверно дифференцировать СФО от других более агрессивных злокачественных новообразований плевры, таких как мезотелиома и саркома, позволило совершенствование иммуногистохимических методов исследования и электронной микроскопии.

В нашем случае МСКТ-исследование органов грудной клетки с внутривенным контрастированием было важным методом диагностической визуализации, которое продемонстрировало характерные особенности опухоли. Тем не менее, подтвержденный диагноз и дифференциальная диагностика по-прежнему зависели от последующих гистологических и иммуногистохимических исследований [10].

#### Список литературы / References

1. Bonomo L, Feragalli B, Sacco R, et al. Malignant pleural disease. *European Journal of Radiology*. 2000;34(2):98-118. (In Russ.). [https://doi.org/10.1016/S0720-048X\(00\)00168-6](https://doi.org/10.1016/S0720-048X(00)00168-6).
2. International Agency for Research on Cancer, World Health Organization.
3. Vejvodova S, Spidlen V, Mukensnabl P, et al. Solitary Fibrous Tumor — Less Common Neoplasms of the Pleural Cavity. *Annals of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2016;23(1):12–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.5761/atcs.oa.16-00108>.
4. Sharma S, Eshpuniyani P, Bhushan K, et al. Giant Solitary Fibrous Tumor: A Rare Case Report. *South Asian Journal of Cancer*. 2019;8(1):17. (In Russ.). [https://doi.org/10.4103/sajc.sajc\\_204\\_18](https://doi.org/10.4103/sajc.sajc_204_18).
5. Рябов АБ, Пикин ОВ, Абу-Хайдар ОБ. Злокачественный вариант солидарной фиброзной опухоли плевры в сочетании со стойкой гипогликемией: клиническое наблюдение. *Сибирский онкологический журнал*. 2020;19(2):147-52.

6. Пищик ВГ, Оборнев АД, Зинченко ЕИ и др. Гигантские солидарные фиброзные опухоли плевры: обзор литературы и собственный опыт. ФГБУЗ «Клиническая больница № 122 имени Л. Г. Соколова Федерального медико-биологического агентства». 2016;2(16):66-70. eLIBRARY ID: 26203289.
7. Пикин ОВ, Франк ГА, Трахтенберг АХ и др. Солидарная фиброзная опухоль плевры. *Онкохирургия*. 2010;2(4):37-41.
8. Вишня ЮЕ, Гринберг ЛМ. Солидарная фиброзная опухоль плевры. *Уральский медицинский журнал*. 2012; 13(105):78-82.
9. Печетов АА, Есаков ЮС, Гриццота АО и др. Солидарная фиброзная опухоль плевры и легкого (отдельные клинические наблюдения и обзор литературы). *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2016;(1):33-9.
10. Yong-Hao Y, Rong-Ting L, Zhang Yi. A large solitary fibrous tumour of the pleura: a case report and review of the literature. *Journal of International Medical Research*. 2018;46(4):1672-7. <https://doi.org/10.1177/0300060517750534>.

#### Information about the authors

Marina E. Azhishcheva, <https://orcid.org/0009-0006-2219-5314>  
Irina G. Frolova, <https://orcid.org/0000-0001-5227-006X>  
Evgeniy O. Rodionov, <https://orcid.org/0000-0003-4980-8986>  
Sergey V. Miller, <https://orcid.org/0000-0002-5365-9840>  
Olga V. Cheremisina, <https://orcid.org/0000-0001-7234-4708>  
Dmitriy M. Loos, <https://orcid.org/0000-0002-4098-6076>  
Stanislav A. Tabakaev, <https://orcid.org/0000-0002-1427-0162>  
Ekaterina E. Bober, <https://orcid.org/0000-0002-6235-5611>  
Polina V. Surkova, <https://orcid.org/0000-0001-6845-6037>

#### Вклад авторов

М.Е. Ажищева, И.Г. Фролова: разработка дизайна исследования, сбор данных, анализ полученных данных, написание и оформление текста статьи; Е.О. Родионов, С.В. Миллер, О.В. Черемисина: сбор данных; Д.М. Лоос: интерпретация данных гистологического исследования; С.А. Табакаев, Е.Е. Бобер, П.В. Суркова: обзор публикаций по теме.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета не требовалось.

**Информированное согласие.** Пациенты подписали информированное согласие на публикацию данных.

**Поступила:** 07.08.2025.

**Принята к публикации:** 25.10.2025.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

#### Authors' contributions

М.Е. Ажищева, И.Г. Фролова: development of research design, data collection, analysis of the obtained data, writing and formatting of the article text; Е.О. Rodionov, S.V. Miller, O.V. Cheremisina: data collection; Д.М. Лоос: interpretation of histological examination data; С.А. Tabakaev, Е.Е. Bober, P.V. Surkova: review of publications on the topic.

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** Not declared.

**Ethical compliance.** Ethical committee approval was not necessary.

**Informed consent.** The patients signed informed consent for the publication of the data.

**Received:** 07.08.2025.

**Accepted for publication:** 25.10.2025.

**Published online:** 26.03.2026.

## КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТА С НЕОПЕРАБЕЛЬНЫМ ВЫСОКОДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ РАКОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЕТОДОМ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ ГИПОФРАКЦИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Заялов И.Ф., Галаева Х.Т. ✉

АО «Европейский медицинский центр»; Россия, 129090, Москва, ул. Дурова, 26, корп. 1

✉ Хадिशат Тагировна Галаева, khgalaeva@omshospital.ru, +7 (967) 333-47-89

### РЕФЕРАТ

Основным методом лечения высокодифференцированных опухолей щитовидной железы является хирургическое лечение, в части случаев требуется адъювантная радиойодоблация, и используется противоопухолевая лекарственная терапия. Дистанционная лучевая терапия, в особенности стереотаксическая лучевая терапия с радикальной целью, используется крайне редко. В статье представляется редкий клинический случай лечения первичной опухоли пациенту с высокодифференцированным раком щитовидной железы методом стереотаксической гипофракционной лучевой терапии.

**Ключевые слова:** щитовидная железа, высокодифференцированный рак, стереотаксическая гипофракционная лучевая терапия, клинический случай

**Для цитирования:** Заялов И.Ф., Галаева Х.Т. Клинический случай лечения пациента с неоперабельным высокодифференцированным раком щитовидной железы методом стереотаксической гипофракционной лучевой терапии. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):97-102.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-97-102>

## STEREOTACTIC BODY RADIATION THERAPY OF PRIMARY TUMOR FOR INOPERABLE NON-METASTATIC DIFFERENTIATED THYROID CARCINOMA: A CASE-REPORT

Ilyas F. Zalyalov, Khadishat T. Galaeva ✉

European Medical Center PJSC; 26 Durova str., Moscow 129090, Russia

✉ Khadishat Tagirovna Galaeva, khgalaeva@omshospital.ru, +7 (967) 333-47-89

### ABSTRACT

The main treatment methods for differentiated thyroid carcinoma are surgery and radioactive iodine ablation. In some cases, systemic therapy is useful. The use of external beam radiation therapy, especially stereotactic body radiation therapy applied with a curative intent, is highly debated. This article reports a rare clinical case of primary tumor treatment in a patient with inoperable differentiated thyroid carcinoma using stereotactic body radiation therapy and reviews the world data on the issue.

**Keywords:** differentiated thyroid carcinoma, stereotactic body radiation therapy, case report

**For citation:** Zalyalov I.F., Galaeva Kh.T. Stereotactic Body Radiation Therapy of Primary Tumor for Inoperable Non-Metastatic Differentiated Thyroid Carcinoma: a Case-Report. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):97-102. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-97-102>

### Введение

Злокачественные опухоли щитовидной железы в 2022 г. были диагностированы у более чем 820 тыс. пациентов во всем мире и занимали 7-е место по частоте среди всех онкологических заболеваний по данным всемирной базы GLOBOCAN Международного агентства по изучению рака ВОЗ (рис. 1) [1]. Рак щитовидной железы (РЩЖ) встречается в 3 раза чаще у женщин, чем у мужчин, а его частота ежегодно растет, что связывают с лучшей диагностикой на субклинических стадиях [2]. Фактором риска развития высокодифференцированного РЩЖ (ВДРЩЖ) может быть воздействие радиации, в особенности в детском возрасте, в малом проценте случаев причиной может являться отягощенная наследственность по РЩЖ (напр., семейный аденоматозный полипоз, синдром DICER1). Высокодифференцированные опухоли щитовидной железы составляют до 90 % всех случаев РЩЖ, их источником развития являются фолликуляр-

ные клетки щитовидной железы, включая клетки Ашкенази-Гюртле при Гюртле-клеточных опухолях [3].

В РФ количество пациентов с РЩЖ неуклонно увеличивается с 96,7 до 146 человек на 100 тыс. населения с 2014 по 2024 гг. соответственно. При этом доля пациентов, состоящих на учете в онкологических диспансерах более 5 лет с момента установления диагноза, остаётся стабильно высокой — 68–72 %, а летальность пациентов в течение года с момента установления диагноза остаётся стабильно низкой — 1,9–4,7 %, что свидетельствует о благоприятном течении заболевания и его успешном лечении, из чего проистекает хороший прогноз заболевания [4].

ВДРЩЖ составляют отдельную группу диагнозов и имеют принципиально отличные патогенез, субстрат и гистологическое строение, нежели медуллярные опухоли щитовидной железы [5]. Хирургическое вмешательство остаётся основным радикальным методом лечения, и в 2024 г.

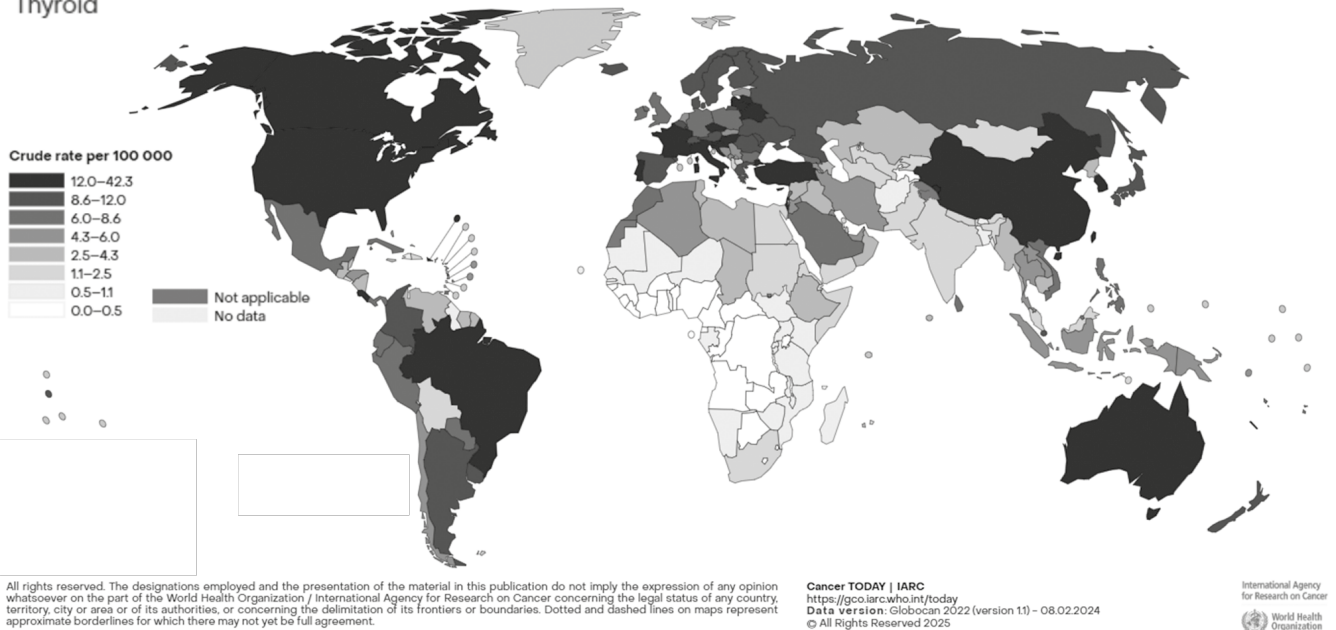
Crude rate per 100 000, Incidence, Both sexes, age [0-74], in 2022  
Thyroid

Рис. 1. Частота встречаемости рака щитовидной железы в мире на 100 тыс. населения в 2022 г. Данные Международного агентства по изучению рака ВОЗ [6]

Fig. 1. Crude rate of thyroid cancer incidence in the world per 100 000 people in 2022. Data by WHO's International Cancer Research Agency [6]

применялось у 86,3 % пациентов с злокачественными опухолями щитовидной железы в РФ [4]. Радиойодабляция является важным адъювантным методом лечения ВДРЩЖ, цель которого — снизить риск рецидива заболевания после хирургического лечения у пациентов высокой группы риска. Противоопухолевая лекарственная терапия и, в особенности, дистанционная лучевая терапия, в лечении ВДРЩЖ используются значительно реже. Однако существует определенный контингент пациентов, для которых проведение хирургического лечения сопряжено с высокими анестезиологическими и хирургическими рисками. Лечение таких пациентов включает лекарственную терапию, и, в исключительных случаях, лучевую терапию. Согласно клиническим рекомендациям, дистанционная лучевая терапия рекомендуется пациентам с нерезектабельными опухолями, но применение ее в связи с низкой радиочувствительностью ВДРЩЖ ограничено [5].

В данной статье представляется редкий клинический случай проведения стереотаксической гипофракционной дистанционной лучевой терапии первичной опухоли пациенту с неметастатическим неоперабельным ВДРЩЖ. С учетом крайне малой представленности таких пациентов в клинической практике, российской и мировой научной литературе, редким использованием гипофракционной лучевой терапии в лечении первичного рака щитовидной железы, в статье также рассматривается мировой опыт проведения стереотаксической

лучевой терапии опухолей щитовидной железы, возможности современных методик лечения, даются рекомендации по планированию курса лучевой терапии.

### Клинический случай

Пациент С., 87 лет, обследован в феврале 2022 г. по поводу осиплости голоса. После комплексного обследования установлен диагноз высокодифференцированного папиллярного рака щитовидной железы III стадии  $cT_{4a}N_0M_0$ . При инициальном КТ-исследовании в верхнем средостении, по задне-правому контуру трахеи выявлено образование с четкими бугристыми контурами, неоднородной структуры за счет мелких кальцинатов, размерами  $39 \times 31 \times 36$  мм, стенозирующее и смещающее влево просвет трахеи. Выполнена тонкоигольная аспирационная биопсия новообразования, цитологически верифицирован папиллярный рак. При молекулярно-генетическом исследовании мутаций гена BRAF (V600E, V600E complex, V600K) не обнаружено, мутаций гена KRAS (Gly12Asp, Gly12Ala, Gly12Arg, Gly12Val, Gly12Ser, Gly12Cys, Gly13Asp) не обнаружено, мутаций гена NRAS (Gly12Asp, Gly12Cys, Gly12Ser, Gly13Asp, Gly13Arg во 2 экзоне и Gln61Lys, Gln61Leu, Gln61Arg в 3 экзоне) не обнаружено. Данных за вторичное распространение опухоли не получено.

Пациент был направлен на хирургическое лечение, однако с учетом серьезных сопутствующих сердечно-сосудистых заболеваний и после консультаций анестезиолога-реаниматолога и хирурга

вынесено решение о невозможности хирургического лечения ввиду высоких операционных рисков. В онкологическом центре Москвы по месту прикрепления пациента вынесено решение о проведении лекарственной терапии левватинибом 24 мг/сут. Лечение начато в мае 2022 г. На фоне лечения отмечена нейротоксичность, выполнена редукция дозы до 18 мг/сут. Явления токсичности сохранились. При обследовании в октябре 2022 г. данных за прогрессирование заболевания не выявлено. С учетом развития лекарственной токсичности на фоне приема левватиниба, в том числе в редуцированной дозе, на онкологическом консилиуме принято решение о смене режима таргетной терапии на сорафениб 800 мг/сут.

С ноября 2022 г. начата терапия сорафенибом. На фоне приема сорафениба при контрольном обследовании в мае 2023 г. выявлена КТ-картина отрицательной динамики в виде увеличения объёмного образования правой доли щитовидной железы на 15 % с 37×23 мм до 41×28 мм, что расценено как стабилизация в рамках критериев RECIST 1.1.

Пациент направлен на повторную оценку возможности хирургического лечения в июне 2023 г., с учетом распространенности опухолевого процесса и сопутствующей патологии в хирургическом лечении отказано, продолжена лекарственная терапия. При контрольных обследованиях в июле 2023 г., сентябре 2023 г., октябре 2023 г. образование правой доли щитовидной железы без динамики.

Пациент консультирован в федеральном онкологическом центре Москвы в феврале 2024 г. на предмет проведения радиойодтерапии. Вынесено заключение об отсутствии показаний к проведению радиойодтерапии с учетом невозможности проведения тотальной тиреоидэктомии. В онкологическом центре по месту прикрепления в апреле 2024 г. принято решение: учитывая отсутствие возможности проведения радикального лечения и продолжения лекарственной терапии, длительную стабилизацию по данным контрольных обследований, рекомендовано наблюдение онкологом и проведение контрольных обследований каждые 3 месяца.

При контрольных обследованиях в ноябре 2024 г., январе 2025 г. образование правой доли щитовидной железы без динамики.

В онкологическом центре по месту прикрепления решением консилиума в январе 2025 г. рекомендовано проведение лучевой терапии на область первичной опухоли.

В связи с низкой чувствительностью ВДРЦЖ к конвенциональной лучевой терапии было принято решение о проведении стереотаксической гипофракционной лучевой терапии для достижения максимального локального контроля заболевания.

Пациенту была проведена КТ-симуляция на томографе Siemens Somatom с толщиной среза 2 мм с использованием термопластической маски для проведения стереотаксической лучевой терапии и радиохирургии. Оконтуривание велось в программе Eclipse v. 15.6, для расчета плана использовалась модель Acuros, лечение пациента проводилось на линейном ускорителе Varian TrueBeam STX с 6D-столом методикой volumetric modulated arc therapy (VMAT) в Flattening Filter Free режиме с разовой очаговой дозой 8 Гр до суммарной очаговой дозы 40 Гр за 5 фракций, использовалась ежедневная верификация укладки пациента с использованием КТ в коническом пучке.

В качестве мишени (GTV) была околтурена видимая по КТ опухоль, использовался отступ на субклиническое распространение (CTV) 3 мм и использовался отступ для создания планируемого объема мишени (PTV) 3 мм. Из клинического объема мишени были исключены все близлежащие органы, кости и кровеносные сосуды. В качестве органов риска были околтурены пищевод, трахея, гортань, мышцы-констрикторы глотки, спинной мозг, правое плечевое сплетение, правая общая сонная артерия, правая подключичная артерия, легкие. Ограничения дозы на здоровые органы и фактические результаты после составления плана лучевой терапии представлены в табл. 1. Для создания плана лучевой терапии были использованы ограничения на здоровые органы из широко используемых таблиц Robert Timmerman [7]. КТ-пациента в аксиальной и корональной проекциях с околтуренными органами риска и мишенью представлены на рис. 2 и 3.

При создании плана лечения основной задачей было соблюдение ограничений на здоровые органы в ущерб покрытию дозой всей мишени. Гистограмма доза—объем рассчитанного плана

Табл. 1. Ограничения дозы, использованные при составлении плана лучевой терапии

Table 1. Radiation treatment plan dose constraints

Орган риска	Ограничение максимальной дозы (≤0,035 см <sup>3</sup> )	Фактический результат, макс. доза на 0,035 см <sup>3</sup>	Ограничение дозы на указанный объем	Фактический результат, доза на указанный объем
Спинной мозг	28 Гр	8,9 Гр	22 Гр < 0,35 см <sup>3</sup>	неприменимо
Пищевод	38 Гр	37,8 Гр	32,5 Гр < 5 см <sup>3</sup>	32,5 Гр = 2,7 см <sup>3</sup>
Плечевое сплетение	32,5 Гр	16,2 Гр	27 Гр < 3 см <sup>3</sup>	неприменимо
Крупные сосуды	53 Гр	41 Гр	47 Гр < 10 см <sup>3</sup>	неприменимо
Трахея и крупные бронхи	50 Гр	42,9 Гр	45 Гр < 5 см <sup>3</sup>	неприменимо

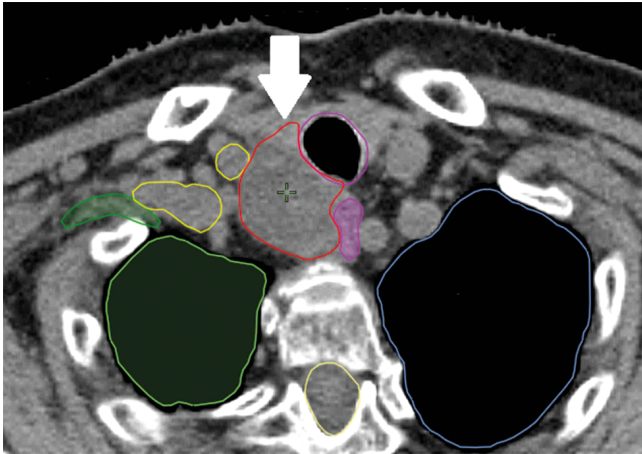


Рис. 2. КТ пациента с оконтуренными мишенью и органами риска в аксиальной проекции. Белой стрелкой указана опухоль

Fig. 2. Patient's simulation CT in the axial projection, the tumor is contoured in red and showed by white arrow

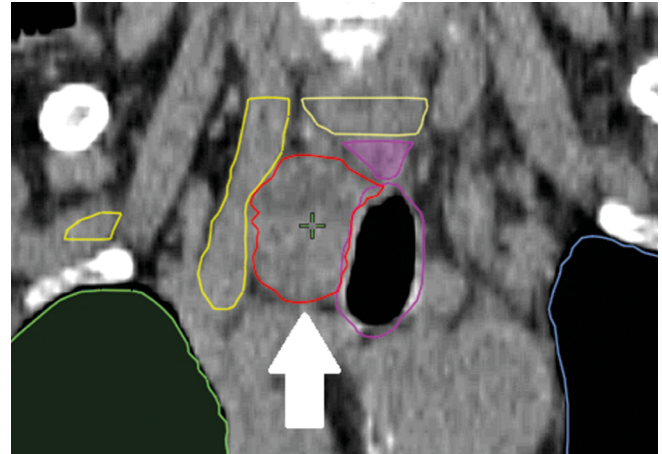
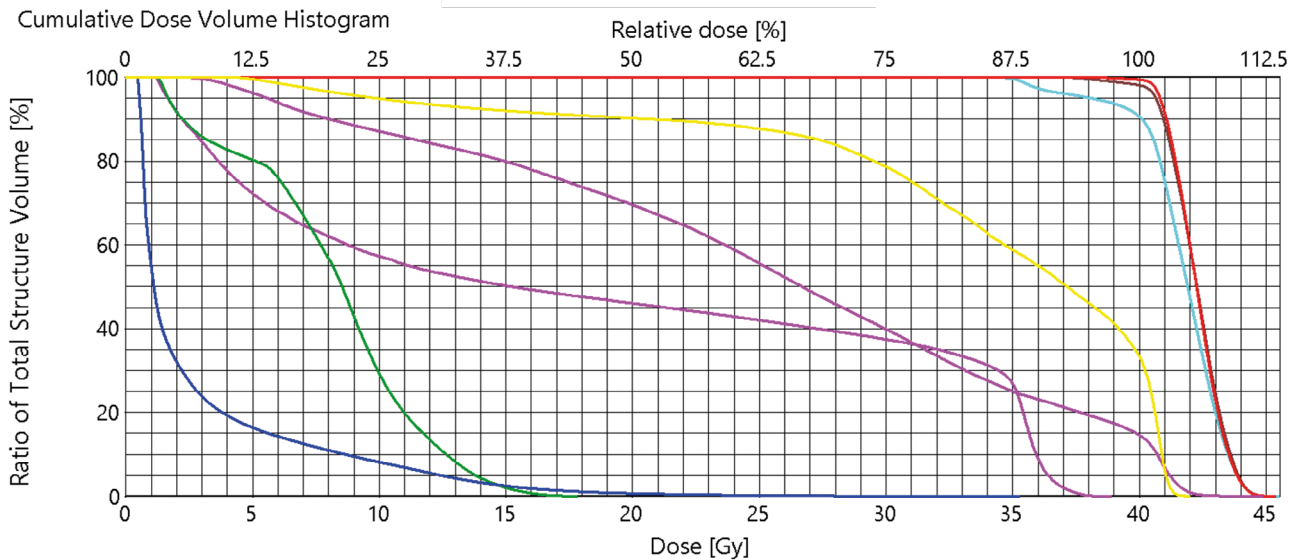


Рис. 3. КТ пациента с оконтуренными мишенью и органами риска в корональной проекции. Белой стрелкой указана опухоль

Fig. 3. Patient's simulation CT in the coronal projection, the tumor is contoured in red and showed by white arrow



DVH	Structure	Structure Status	Coverage [%/%)	Volume	Min Dose	Max Dose	Mean Dose	Modal Dose	Median Dose	Std Dev
—	GTVp	Approved	100.0 / 100.1	23.0 cm <sup>3</sup>	37.5 Gy	45.4 Gy	42.3 Gy	42.3 Gy	42.3 Gy	0.9 Gy
—	CTV	Approved	100.0 / 100.0	34.8 cm <sup>3</sup>	35.9 Gy	45.4 Gy	42.2 Gy	42.3 Gy	42.3 Gy	1.1 Gy
—	PTV	Approved	100.0 / 100.0	58.5 cm <sup>3</sup>	32.3 Gy	45.5 Gy	41.7 Gy	42.3 Gy	41.9 Gy	1.7 Gy
—	Trachea	Approved	100.0 / 100.2	24.6 cm <sup>3</sup>	2.0 Gy	44.9 Gy	25.7 Gy	40.6 Gy	26.7 Gy	11.3 Gy
—	Larynx	Approved	100.0 / 100.0	20.1 cm <sup>3</sup>	0.4 Gy	35.3 Gy	2.9 Gy	0.7 Gy	1.1 Gy	4.0 Gy
—	Esophagus	Approved	100.0 / 100.4	8.0 cm <sup>3</sup>	1.0 Gy	38.9 Gy	18.8 Gy	35.6 Gy	15.2 Gy	14.1 Gy
—	BrachialPlexus_R	Approved	100.0 / 100.1	5.6 cm <sup>3</sup>	1.2 Gy	17.8 Gy	8.1 Gy	8.6 Gy	8.5 Gy	3.6 Gy
—	A_Carotid	Approved	100.0 / 99.5	4.2 cm <sup>3</sup>	3.9 Gy	42.0 Gy	33.8 Gy	40.8 Gy	37.2 Gy	9.1 Gy

Рис. 4. Гистограмма доза—объем. Красной линией обозначен GTV, коричневой — CTV, голубой — PTV. Органы риска — желтой линией обозначена правая сонная артерия, верхней розовой линией — трахея, нижней розовой — пищевод, зеленой — правое плечевое сплетение, синей — гортань

Fig. 4. Dose—volume histogram. GTV is in red, CTV in brown, PTV in light blue. Right carotid artery is in yellow, trachea in upper magenta, esophagus in lower magenta, right brachial plexus in green, larynx in dark blue

лечения представлена на рис. 4. На гистограмме обращает на себя внимание покрытие мишеней — при практически полном покрытии дозой GTV и CTV (100 % дозы покрываются 99,4 % и 98,1 % объемов GTV и CTV соответственно) покрытие PTV в диапазоне от 87,5 % объема заметно ниже — в данном случае это принудительное снижение дозы в обла-

сти пересечения PTV и пищевода для выполнения дозно-объемных ограничений и снижения риска развития осложнений. Распределение дозы на КТ пациента представлено на рис. 5. Обращает на себя внимание как 95 % изодоза огибает пищевод для выполнения дозно-объемных ограничений.

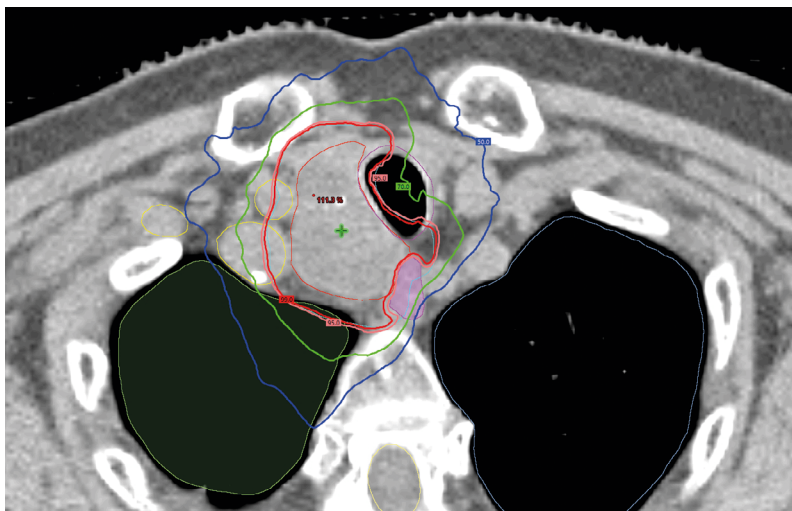


Рис. 5. Изодозовые кривые. Красной тонкой линией изображен GTV, голубой тонкой линией PTV. Красной толстой линией изображена 99 % изодоза, розовой толстой линией 95 % изодоза, зеленой толстой линией 75 % изодоза, синей толстой линией 50 % изодоза. Желтыми тонкими контурами изображены крупные сосуды – общая сонная артерия и подключичная артерия, розовым залитым контуром пищевод, розовым тонким контуром трахея

Fig. 5. Isodose levels. GTV is in thin red line, PTV in thin light blue. 99 % isodose is in thick red line, 95 % in thick pink, 75 % in green, 50 % in dark blue. Great vessels are in thin yellow, trachea in thin magenta, esophagus in magenta color

Была выполнена дозиметрия и верификация плана. Лечение было проведено согласно составленному плану в полном объеме. К завершению лечения у пациента развилась лучевая реакция в виде дисфагии 1 степени. Дисфагия купировалась самостоятельно в течение 2–3 недель после завершения лечения. Другой острой токсичности не наблюдалось. После завершения курса лучевой терапии пациент отметил купирование кашля, который его беспокоил до лечения. Осиплость голоса сохранилась, улучшения спустя 6 месяцев после завершения лечения пациент не отметил.

По данным контрольных КТ размеры опухоли оставались стабильными через 3 и 6 месяцев после завершения курса лечения, прогрессирования заболевания не отмечено. Поздних лучевых осложнений за период наблюдения в течение 6 месяцев не отмечалось.

## Обсуждение

Конвенциональная лучевая терапия в разовых дозах ~2 Гр до суммарных доз 66–70 Гр может использоваться в случаях невозможности полного хирургического удаления опухоли [8] и локального контроля удается достичь в 60–70 % случаев при периоде наблюдения от 2 до 5 лет [9]. Стереотаксическая радиохирургия и гипофракционная лучевая терапия известны способностью преодолевать радиорезистентность опухолей за счет отличной от конвенциональной лучевой терапии радиобиологии и успешно используются в лечении других радиорезистентных опухолей, например, рака почки и меланомы [10]. Ранее были опубликованы данные о лечении метастазов ВДРЩЖ методом гипофракционной лучевой терапии с достижением локального контроля в 80–90 % случаев при периоде наблюдения в течение 2–3 лет [11]. Помимо облучения метастазов были опубликованы небольшие серии данных о проведении стереотаксической гипофракционной лучевой терапии

первичных опухолей ВДРЩЖ, наиболее часто используемым режимом фракционирования являлась схема с разовой дозой 8 Гр за 5 фракций до суммарной дозы 40 Гр. Наиболее частым осложнением явилось развитие дисфагии 2 степени, серьезных острых лучевых реакций описано не было. Разброс локального контроля составил от 62 % до 89 % при периоде наблюдения от 1 до 5 лет в разных исследованиях [12–15].

Главной задачей лечения, кроме достижения локального контроля заболевания, является ограничение токсичности лечения. При проведении конвенциональной лучевой терапии главным ограничением является острая токсичность со стороны пищевода, которая может приводить к дисфагии высокой степени, нарушению питания и, как результат, невозможности подведения желаемой дозы 66–70 Гр. Частота развития дисфагии 3 степени и выше, описанная в литературе, составляет от 17 % [8] до 65 % [16] при проведении конвенциональной лучевой терапии. При проведении гипофракционной лучевой терапии развития дисфагии 3-ей степени и выше не отмечалось, дисфагия 2-ой степени развилась у 26 % пациентов [14].

Таким образом, в мировой практике стереотаксическая гипофракционная лучевая терапия используется для лечения ВДРЩЖ в исключительных случаях при невозможности проведения хирургического вмешательства. Такой вид лучевой терапии может быть использован как альтернатива конвенциональной лучевой терапии. Стереотаксическая лучевая терапия позволяет достичь высоких значений локального контроля при относительно низкой токсичности.

## Заключение

Проведение стереотаксической гипофракционной лучевой терапии первичной опухоли при неоперабельном высокодифференцированном раке щитовидной железы является возможной опцией

лечения и может рассматриваться на мультидисциплинарном онкологическом консилиуме с учетом состояния пациента и особенностей заболевания. При использовании современных методик лечения и соблюдении ограничений на здоровые органы такое лечение является безопасным, локального контроля удается достичь в большинстве случаев. Острые лучевые реакции бывают выражены в слабой степени и хорошо поддаются контролю. В связи с редким использованием дистанционной лучевой терапии для лечения первичной опухоли при ВДРЦЖ проведение проспективных исследований представляется маловероятным, однако, с учетом постоянного роста количества случаев ВДРЦЖ, публикация клинических случаев в будущем может открыть возможность проведения ретроспективных исследований.

#### Список литературы / References

- Shank JB, Are C, Wenos CD. Thyroid Cancer: Global Burden and Trends. *Indian Journal of Surgical Oncology*. 2021;13(1):40-45. <https://doi.org/10.1007/s13193-021-01429-y>. PMID: 35462648.
- Hansen EK, Roach M. *Handbook of Evidence-Based Radiation Oncology*. Springer; 2018.
- Devita VT, Lawrence TS, Rosenberg SA. *Devita, Hellman, and Rosenberg's cancer: principles et practice of oncology*. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2015.
- Каприн АД, Старинский ВВ, Шахзадова АО. Состояние онкологической помощи населению России в 2024 году. – Москва: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2025. – 275 с.  
Kaprin AD, Starinskiy VV, Shakhzadova AO. The State of Cancer Care in Russia in 2024. – Moscow: PA Herzen Moscow Oncology Research Institute – the Branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health; 2025. (In Russ.).
- Дифференцированный рак щитовидной железы. Рубрикатор клинических рекомендаций. 2024. [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/329\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/329_2).  
Differentiated thyroid carcinoma [Internet]. Clinical guidelines. 2024. Accessed 09.09.2025. Available from: [https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/329\\_2](https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/329_2).
- Cancer Today [Internet]. IARC – International Agency for Research on Cancer. Accessed 09.09.2025. Available from: <https://gco.iarc.who.int/>

- today/en/dataviz/maps-heatmap?mode=population&cancers=32&map\_nb\_color=8&palette=Greys&key=crude\_rate&age\_end=14.
- Timmerman R. A Story of Hypofractionation and the Table on the Wall. *International Journal of Radiation Oncology\*Biophysics*. 2022;112(1):4-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2021.09.027>. PMID: 34919882.
  - Kiess AP, Agrawal N, Brierley JD, et al. External-beam radiotherapy for differentiated thyroid cancer locoregional control: A statement of the American Head and Neck Society. *Head & Neck*. 2015;38(4):493-8. <https://doi.org/10.1002/hed.24357>. PMID: 26716601.
  - Nair LM, Ravikumar R, Rafi M, et al. External Beam Radiotherapy in Differentiated Thyroid Cancer. *IntechOpen eBooks*. Published online November 28, 2022. <https://doi.org/10.5772/intechopen.108466>.
  - Joiner M, Van A. *Basic Clinical Radiobiology*. Crc Press/Taylor & Francis Group; 2019.
  - Michael Brent Bernstein, Chang EL, Amini B, et al. Spine Stereotactic Radiosurgery for Patients with Metastatic Thyroid Cancer: Secondary Analysis of Phase I/II Trials. *Thyroid*. 2016;26(9):1269-75. <https://doi.org/10.1089/thy.2016.0046>. PMID: 27334245.
  - Kaur S, Gui B, Ghaly M, Nagashree Seetharamu. Utilizing stereotactic body radiation therapy in combination with tyrosine kinase inhibitors for therapeutic benefit in thyroid cancer. *Journal of Clinical Oncology*. 2024;42(16\_suppl):e18065-e18065. [https://doi.org/10.1200/jco.2024.42.16\\_suppl.e18065](https://doi.org/10.1200/jco.2024.42.16_suppl.e18065).
  - Buchberger DS, Dennert K, Campbell SR, et al. Definitive Radiotherapy for the Treatment of Gross Disease in Unresected Differentiated Thyroid Cancer. *International Journal of Radiation Oncology\*Biophysics*. 2023;117(2):e568-e569. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2023.06.1895>. PMID: 30105947.
  - Gui B, Wu YR, Kaur S, et al. Stereotactic Body Radiotherapy with Tyrosine Kinase Inhibitors for Refractory Locoregional Progression of Non-Anaplastic Thyroid Cancer. *International Journal of Radiation Oncology\*Biophysics*. 2024;120(2):e755-e756. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2024.07.1659>.
  - Simontacchi G, Sparano C, Loi M, et al. The Role of Stereotactic Radiotherapy in Deferring the Need for Systemic Therapies in Patients with Progressive Oligometastatic Iodine-Refractory Thyroid Cancer. *International Journal of Radiation Oncology\*Biophysics*. 2023;117(2):e626-e626. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2023.06.2015>.
  - van den End JW, Jager EC, Verbeek HHG, et al. Toxicity and Quality of Life After Locoregional Radiotherapy in Patients With Thyroid Cancer. *Head & Neck*. Published online January 22, 2025. <https://doi.org/10.1002/hed.28076>. PMID: 39840437.

#### Information about the authors

Ilyas F. Zalyalov, <https://orcid.org/0009-0008-1736-1386>

Khadishat T. Galaeva, <https://orcid.org/0009-0002-2698-5760>

**Благодарности:** авторы выражают признательность к.м.н. Жмаевой Е.М. за помощь с корректурой текста рукописи.

#### Вклад авторов

И.Ф. Заялов: обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, подготовка изображений.

Х.Т. Галаева: подготовка текста рукописи, написание текста рукописи.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета не требовалось.

**Информированное согласие.** Пациенты подписали информированное согласие на публикацию данных.

**Поступила:** 14.10.2025.

**Принята к публикации:** 10.12.2025.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

#### Authors' contributions

I.F. Zalyalov: literature review, manuscript writing, images preparation.

Kh.T. Galaeva: draft preparation, manuscript writing.

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** Not declared.

**Ethical compliance.** Ethical committee approval was not necessary.

**Informed consent.** The patients signed informed consent for the publication of the data.

**Received:** 14.10.2025.

**Accepted for publication:** 10.12.2025.

**Published online:** 26.03.2026.

**СРАВНЕНИЕ ПЭТ/КТ С <sup>68</sup>GA-FAPI-04 И <sup>68</sup>GA-FAP-2286 IN VIVO ПРИ ВОСПАЛИТЕЛЬНОМ И ОНКОЛОГИЧЕСКОМ ЗАБОЛЕВАНИЯХ. КЛИНИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ**

Тулин П.Е.✉, Деньгина Т.А., Соломяный В.В., Филимонов А.В., Невзоров Д.И., Долгушин Б.И.

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России;  
Россия, 115478 Москва, Каширское шоссе, 24

✉ Тулин Павел Евгеньевич, p.tulin@ronc.ru, 89168709913

**РЕФЕРАТ****Цель:** Изучить фармакокинетику <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 при опухолевом и воспалительном заболеваниях, сравнить диагностические возможности <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 и <sup>68</sup>Ga-FAPI-04, в том числе в аспекте потенциального использования для отбора пациентов для радионуклидной терапии <sup>177</sup>Lu-FAP-2286.**Материалы и методы:** Двум пациентам — с онкологическим заболеванием и с воспалительным процессом — проведены ПЭТ/КТ-исследования с <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 и <sup>68</sup>Ga-FAPI-04. ПЭТ/КТ-сканирование с <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 проведено в три этапа — через 5 мин, через 60 мин и 180 мин после введения РФЛП с последующей оценкой динамики изменения показателя SUV<sub>max</sub> в целевых областях. ПЭТ/КТ-сканирование с <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 проведено в один этап — через 60 мин.**Заключение:** <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 и <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 обладают схожими диагностическими характеристиками. Также были выявлены различия в фармакокинетике <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в опухолевых и воспалительных изменениях.**Ключевые слова:** ПЭТ/КТ, позитронная эмиссионная томография, <sup>68</sup>Ga-FAPI-04, <sup>68</sup>Ga-FAP-2286**Для цитирования:** Тулин П.Е., Деньгина Т.А., Соломяный В.В., Филимонов А.В., Невзоров Д.И., Долгушин Б.И. Сравнение ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 и <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 *in vivo* при воспалительном и онкологическом заболеваниях. Клинические наблюдения. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):103-108.<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-103-108>**COMPARISON OF PET/CT WITH <sup>68</sup>GA-FAPI-04 AND <sup>68</sup>GA-FAP-2286 IN VIVO FOR INFLAMMATORY AND ONCOLOGICAL DISEASES. CLINICAL CASES**Pavel E. Tulin✉, Tamara A. Dengina, Viktor V. Solomyany, Aleksandr V. Filimonov,  
Denis I. Nevzorov, Boris I. Dolgushin

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology; 24 Kashirskoe Shosse, Moscow 115478, Russia

✉ Tulin Pavel Evgenevich, p.tulin@ronc.ru, 89168709913

**ABSTRACT****Purpose:** To study the pharmacokinetics of <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 in oncological and inflammatory diseases and to compare the diagnostic capabilities of <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 and <sup>68</sup>Ga-FAPI-04, including in the context of its potential use for patient selection for <sup>177</sup>Lu-FAP-2286 radionuclide therapy.**Material and methods:** PET/CT studies with <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 and <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 were performed on two patients: one with an oncological disease and one with an inflammatory process. The <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 PET/CT scan was conducted in three phases — at 5 minutes, 60 minutes, and 180 minutes after radiopharmaceutical administration, followed by an assessment of the dynamics of SUV<sub>max</sub> changes in the target regions. PET/CT scanning with <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 was performed in a single step, 60 minutes post-injection.**Conclusion:** <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 and <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 have similar diagnostic characteristics. Differences in the pharmacokinetics of <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 between tumorous and inflammatory changes were also identified.**Key words:** PET/CT, positron emission tomography, <sup>68</sup>Ga-FAPI-04, <sup>68</sup>Ga-FAP-2286**For citation:** Tulin P.E., Dengina T.A., Solomyany V.V., Filimonov A.V., Nevzorov D.I., Dolgushin B.I. Comparison of PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 and <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 *in vivo* for inflammatory and oncological diseases. Clinical cases. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):103-108. (In Russ.).<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-103-108>**Введение**

Опухоль-ассоциированные фибробласты (cancer-associated fibroblasts, CAF) являются одним из наиболее распространенных компонентов опухолевой стромы и представляют собой мишень для визуализации солидных опухолей. Учитывая гиперэкспрессию белка активации фибробластов (fibroblast activation protein, FAP) на мембранах CAF и ограниченную экспрессию в неизмененных тканях, ПЭТ-визуализация опухолей с помощью меченых ингибиторов FAP (FAP inhibitor, FAPI) является

одним из наиболее изучаемых направлений ядерной медицины.

ПЭТ/КТ с вариациями FAPI-лигандов, меченных радионуклидами <sup>68</sup>Ga или <sup>18</sup>F, демонстрирует многообещающие результаты в диагностике различных видов опухолей, превосходя по эффективности ПЭТ/КТ с <sup>18</sup>F-ФДГ. Преимущество <sup>68</sup>Ga/<sup>18</sup>F-FAPI продемонстрировано при раке желудка, печени, колоректальном раке, раке поджелудочной железы, молочной железы, метастазах из невыявленного первичного очага и др. [1–5]. Наиболее распространенными в клинико-диагностической практике

являются соединения FAPI-04, FAPI-46 и FAPI-74.  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04 характеризуется интенсивным накоплением опухолевой ткани в течение 60 мин после введения и выведением преимущественно через почки и минимальным накоплением с неизменённых тканей. Несмотря на многообещающие результаты в диагностике опухолей, молекулы FAPI интегрируются в строму опухолей на непродолжительное время, что потенциально ограничивает их использование при создании тераностических пар для радионуклидной терапии (РНТ) [6, 7].

Для преодоления короткого времени удержания разработано соединение FAP-2286, включающее циклический пептид из семи аминокислот, в котором два остатка цистеина связаны ароматическим фрагментом [8]. Циклические пептиды обладают стабильной конформационной структурой и имеют преимущества за счёт более селективного связывания с рецепторами, большей устойчивости к расщеплению протеазами плазмы крови по сравнению с низкомолекулярными FAPI (FAPI-04/46). Помимо циклического полипептида, FAP-2286 включает хелатор — тетраазамакродекановую тетрауксусную кислоту (DOTA), к которой возможно присоединить терапевтический агент-радионуклид. Таким образом,  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 имеет более длительное удержание в опухолевых клетках и лучшую клеточную интернализацию в эндосомах, что делает возможным применение FAP-2286, меченого излучателем бета-частиц  $^{177}\text{Lu}$ , в РНТ [8]. Доклинические исследования также показали длительное удержание  $^{177}\text{Lu}$ -FAP-2286 в опухолевой ткани [9]. Биораспределение  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 соответствует биораспределению других соединений FAPI с наибольшим накоплением в мочевом пузыре, печени, селезёнке и почках, а диагностическая точность не уступает ПЭТ/КТ с другими FAPI-содержащими лигандами [10, 11].

В нашей работе мы представляем результаты первого в России сравнения диагностических возможностей  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04 и  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 у двух пациентов — с онкологическим заболеванием и воспалительным процессом, а также оценки фармакокинетики  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 у данных пациентов.

### Методика исследования

В исследование включены результаты ПЭТ/КТ-сканирования двух пациентов — с онкологическим заболеванием (рак желудка) и воспалительным процессом (холангит внутрипеченочных желчных протоков). Каждому пациенту выполнялось по два ПЭТ/КТ-сканирования — с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04 и  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 с разницей в 5 дней.

ПЭТ/КТ с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04 и  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 выполнялись идентично — без специальной подготов-

ки пациентов, вводимая активность составила 2,5 МБк/кг массы тела пациента. Область сканирования при ПЭТ/КТ с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04 — от основания черепа до середины бедра, положение рук — вверх; при ПЭТ/КТ с  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 — от талии до стоп, положение рук — вниз; продолжительность сканирования при обоих исследованиях сопоставима — 3 мин на одну «кровать». ПЭТ/КТ-сканирование с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04 выполнялось в один этап — спустя 60 мин после введения радиофармацевтического лекарственного препарата (РФЛП). ПЭТ/КТ-сканирование с  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 выполнялось в три этапа: 5 мин — 60 мин — 180 мин после введения РФЛП при сохранении зоны сканирования от талии до стоп. КТ-сканирование в рамках указанного трехэтапного исследования выполнялось только на первом этапе.

После реконструкции данных ПЭТ и КТ, анализ изображений осуществлялся двумя специалистами (врачом-рентгенологом и врачом-радиологом). Интерпретация результатов ПЭТ/КТ сканирования осуществлялась с использованием визуальной оценки формы и размеров и измерения стандартизованного показателя накопления  $\text{SUV}_{\text{max-bw}}$ .

На каждом этапе ПЭТ/КТ с  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 проводилось измерение показателей  $\text{SUV}_{\text{max}}$  в грудной аорте, правой доле печени и участке патологической ткани (опухолевая ткань / область воспаления) для оценки локальной фармакокинетики (в частности, степень и время удержания РФЛП патологическими тканями). При ПЭТ/КТ с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04, выполненной через 60 мин после введения РФЛП, также оценивались показатели  $\text{SUV}_{\text{max}}$  в грудной аорте, правой доле печени и участке патологической ткани.

Включение пациента с холангитом, при отсутствии очагов опухолевой ткани, было обусловлено потребностью сравнения динамики накопления  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 в опухолевых и неопухолевых очагах.

### Клиническое наблюдение 1

Пациентка С., 49 лет (Пациент 1). Рак тела желудка (диффузный тип, согласно классификации по Лаурену), состояние после гастрэктомии, химиотерапии в 2024 г. Прогрессирование: метастазы в яичниках, по брюшине, по капсуле печени и селезенки, по ходу толстой и тонкой кишки, в клетчатке большого сальника, по ходу мочеточников. Состояние после двусторонней нефростомии. На первом этапе проведена ПЭТ/КТ с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04 (рис. 1).

Вторым этапом через 5 дней проведена ПЭТ/КТ с  $^{68}\text{Ga}$ -FAP-2286 (рис. 2).

При ПЭТ/КТ с  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04 значения  $\text{SUV}_{\text{max}}$  на 60-й минуте после введения РФЛП составили: в опухолевой ткани — 6,17, в паренхиме правой доли

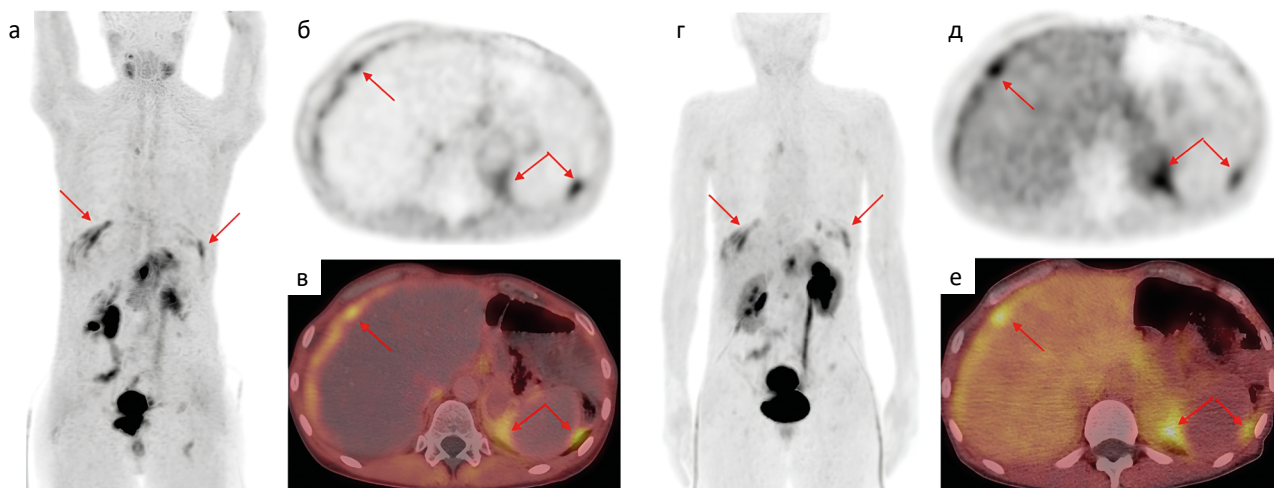


Рис. 1. Пациент 1. ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 и <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 (г, д, е), через 60 мин после введения РФЛП. На MIP ПЭТ (а, г), аксиальной проекции ПЭТ (б, д) и аксиальной проекции ПЭТ/КТ (в, е) определяются очаги патологического накопления РФЛП по капсулам печени и селезенки (красные стрелки). Также отмечается более высокое накопление <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в паренхиме печени и почек

Fig. 1. Patient 1. PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 and <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 (г, д, е), 60 minutes after radiopharmaceutical administration. On MIP PET (а, г), axial PET (б, д), and axial PET/CT (в, е) images, the foci of pathological radiopharmaceutical uptake are identified along the liver and the spleen capsules (red arrows). Higher uptake of <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 in the liver and the kidney parenchyma is also noted

печени — 0,89, в грудной аорте — 1,26. При ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 значения SUV<sub>max</sub> в опухолевой ткани, в паренхиме правой доли печени и в грудной аорте составили: на 1-м этапе (до 5 мин после введения РФП) — 5,18, 2,46 и 1,78 соответственно; на 2-м этапе (60 мин после введения РФП) — 5,84, 1,78 и 1,53 соответственно; на 3-м этапе (180 мин) — 4,39, 1,56 и 1,41 соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Пациент 1. Изменение показателей SUV<sub>max</sub> на трёх этапах ПЭТ/КТ-исследования с <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в опухолевой ткани, правой доле печени и грудной аорте

Patient 1. Changes in SUV<sub>max</sub> values across the three phases of the PET/CT study with <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 in the tumor tissue, the right hepatic lobe, and the thoracic aorta

	Опухоль	Печень	Аорта
5 мин	5,18	2,46	1,78
60 мин	5,84	1,78	1,53
180 мин	4,39	1,56	1,41

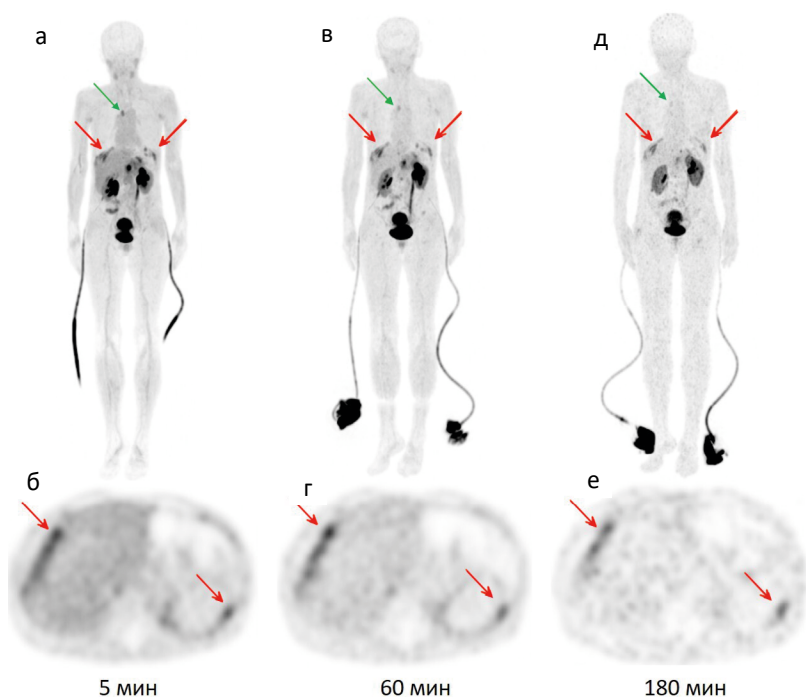


Рис. 2. Пациент 1. ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAP-2286. Представлена ПЭТ-часть трёх этапов исследования: через 5 мин (а, б), через 60 мин (в, г), через 180 мин (д, е) после введения РФЛП. На всех этапах определяются очаги патологического накопления РФЛП, соответствующие опухолевой ткани — по капсулам печени и селезенки (красные стрелки), во внутригрудных лимфоузлах (зеленые стрелки)

Fig.2. Patient 2. PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAP-2286. The PET portion of the three-phase study is presented: at 5 minutes (а, б), 60 minutes (в, г), and 180 minutes (д, е) after radiopharmaceutical administration. At all phases, foci of pathological radiopharmaceutical uptake are identified, corresponding to tumor tissue along the liver and the spleen capsules (red arrows) and in the intrathoracic lymph nodes (green arrows)

Количество опухолевых очагов и степень их визуализации были идентичны при обоих ПЭТ/КТ-исследованиях с <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 и <sup>68</sup>Ga-FAP-2286.

**Клиническое наблюдение 2**

Пациент Г., 58 лет (Пациент 2). Гепатоцеллюлярный рак. Хронический вирусный гепатит С. Цирроз печени Чайлд-Пью А. Состояние после трансартериальной химиоэмболизации (ТАХЭ) печени от 12.07.23. 2-й сеанс ТАХЭ от 31.08.2023. Состояние после 4 курса иммунотерапии и таргетной тера-

пии по 11.2023. Состояние после ТАХЭ от 21.05.2024. Ремиссия.

На момент проведения исследования ПЭТ/КТ-исследования — без признаков прогрессирования основного заболевания, ремиссия. По данным контрольной магнитно-резонансной томографии выявлены признаки холангита в левой доле печени в виде расширенных желчных протоков. В рамках настоящего исследования на первом этапе проведена ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 (рис. 3).

Вторым этапом через 5 дней проведена ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 (рис. 4).

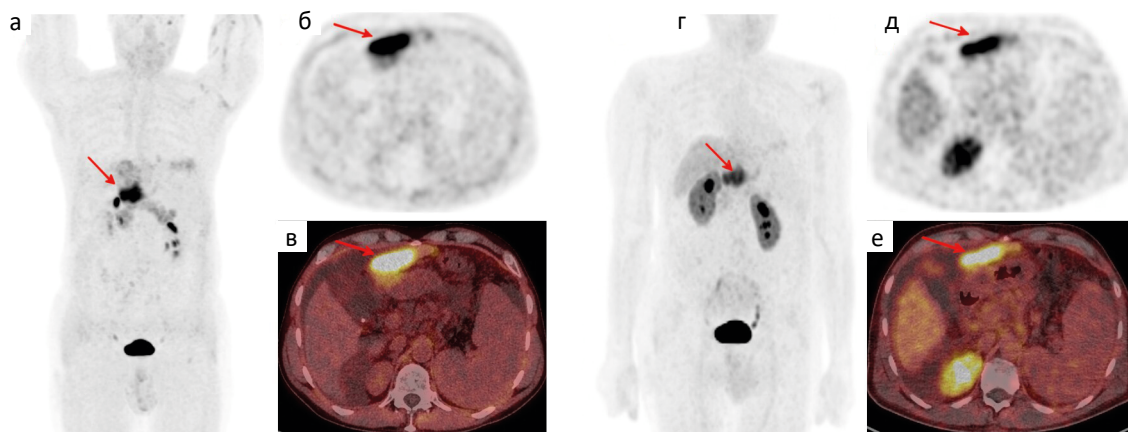


Рис. 3. Пациент 2. ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 (а,б,в) и <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 (г,д,е), через 60 мин после введения РФЛП. На MIP ПЭТ (а,г), аксиальной проекции ПЭТ (б,д) и аксиальной проекции ПЭТ/КТ (в,е) определяется очаг патологического накопления РФЛП в левой доле печени (красные стрелки). Также отмечается более высокое накопление <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в паренхиме печени и почек

Fig. 3. PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 (a, б, в) and <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 (г, д, е), 60 minutes after radiopharmaceutical administration. On MIP PET (a, г), axial PET (б, д), and axial PET/CT (в, е) images, the focus of pathological radiopharmaceutical uptake is identified in the left lobe of the liver (red arrows). Higher uptake of <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 in the liver and the kidney parenchyma is also noted

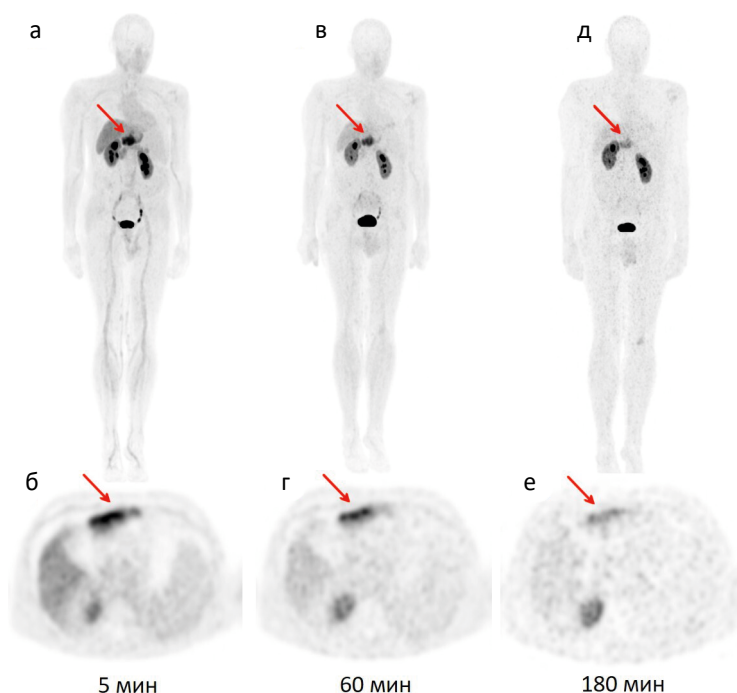


Рис. 4. Пациент 2. ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAP-2286. Представлена ПЭТ-часть трёх этапов исследования: через 5 мин (а,б), через 60 мин (в,г), через 180 мин (д,е) после введения РФЛП. На всех этапах определяется очаг патологического накопления РФЛП в левой доле печени (красные стрелки), соответствующий воспалительным изменениям

Fig. 4. Patient 2. PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAP-2286. The PET portion of the three-phase study is presented: at 5 minutes (а, б), 60 minutes (в, г), and 180 minutes (д, е) after radiopharmaceutical administration. At all phases, foci of pathological radiopharmaceutical uptake are identified in the left hepatic lobe (red arrows), corresponding to inflammatory changes

**Таблица 2. Пациент 2. Изменение показателей SUV<sub>max</sub> на трёх этапах ПЭТ/КТ-исследования с <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в области холангита в левой доле печени, в правой доле печени и грудной аорте**

**Patient 2. Changes in SUV<sub>max</sub> values across the three phases of the PET/CT study with <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 in the area of cholangitis, the left hepatic lobe, the right hepatic lobe and the thoracic aorta**

	Холангит (в левой доле печени)	Печень (правая доля)	Аорта
5 мин	11,75	5,1	2,26
60 мин	9,58	2,86	1,5
180 мин	7,72	2,23	1,39

При ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 значения SUV<sub>max</sub> на 60-й минуте после введения РФЛП составили: в области холангита в левой доле печени — 15,66, в паренхиме правой доли печени — 1,76, в грудной аорте — 1,43. При ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 значения SUV<sub>max</sub> в области холангита в левой доле печени, в паренхиме правой доли печени и в грудной аорте составили: на 1 этапе (до 5 мин после введения РФЛП) — 11,75, 5,1 и 2,26 соответственно; на 2 этапе (60 мин после введения РФЛП) — 9,58, 2,86 и 1,5 соответственно; на 3 этапе (180 мин) — 7,72, 2,23 и 1,39 соответственно (табл. 2).

Степень визуализации очага патологического накопления обоих РФЛП в левой доле печени была одинакова при обоих ПЭТ/КТ-исследованиях — с <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 и <sup>68</sup>Ga-FAP-2286.

## Результаты и обсуждение

В данную работу были включены два пациента: Пациент 1 — с онкологическим заболеванием (рак желудка) на этапе прогрессирования; Пациент 2 — с активным воспалительным процессом (холангит внутрипеченочных желчных протоков) и онкологическим заболеванием в анамнезе (гепатоцеллюлярный рак) в стадии ремиссии. Включение в

исследование пациента с активным воспалительным процессом было обусловлено потребностью проведения оценки динамического изменения показателей SUV<sub>max</sub> <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в зоне воспаления — выявленные особенности могли повлиять на дифференциальную диагностику между опухолевым и воспалительным процессом.

При сравнении диагностической эффективности не было выявлено различий между ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 и <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 — количество выявленных патологических очагов и степень их визуализации были идентичными.

Были выявлены отличия в фармакокинетике <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в опухолевых очагах (Пациент 1) и воспалительных изменениях (Пациент 2), выраженные в динамике SUV<sub>max</sub> во времени. У Пациента 1 отмечено повышение уровня накопления <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в опухолевой ткани с пиком на 60-й минуте, с последующим снижением накопления к 180-й минуте. При этом значения SUV<sub>max</sub> на 180-й минуте (4,39) не были существенно ниже значений SUV<sub>max</sub> на 5-й минуте (5,18). SUV<sub>max</sub> в печени и аорте характеризовались плавным снижением от 5-й минуты к 180-й минуте (рис. 5).

Отмечено, что SUV<sub>max</sub> <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 и SUV<sub>max</sub> <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 в опухолевой ткани на 60-й минуте существенно не отличались — 5,84 и 6,17 соответственно. Несколько более интенсивным было накопление на 60-й минуте <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в печени, чем <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 (1,78 и 0,89 соответственно).

У Пациента 2 отмечалось снижение уровня SUV<sub>max</sub> в области воспалительных изменений от 5-й минуты к 180-й минуте (от 11,75 до 7,72 соответственно), без образования промежуточного пика накопления. SUV<sub>max</sub> в печени и аорте характеризовались плавным снижением от 5-й минуты к 180-й минуте, однако значения SUV<sub>max</sub> в печени были выше, чем у Пациента 1 (5,1-2,86-2,23 у Пациента 2 и 2,46-1,78-1,56 у Пациента 1) (рис. 6).

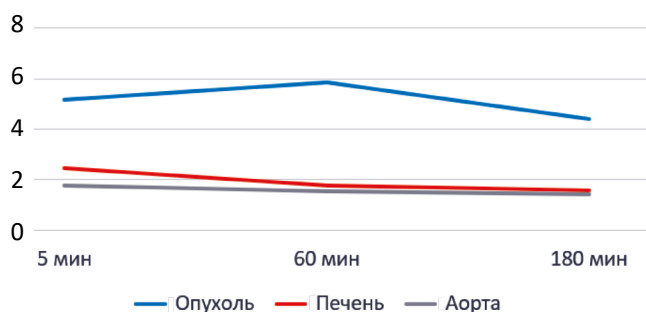


Рис. 5. Пациент 1. Динамика показателей SUV<sub>max</sub> <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в опухолевой ткани, правой доле печени, аорте

Fig. 5. Patient 1. Dynamics of SUV<sub>max</sub> values for <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 in the tumor tissue, the right hepatic lobe, and the aorta

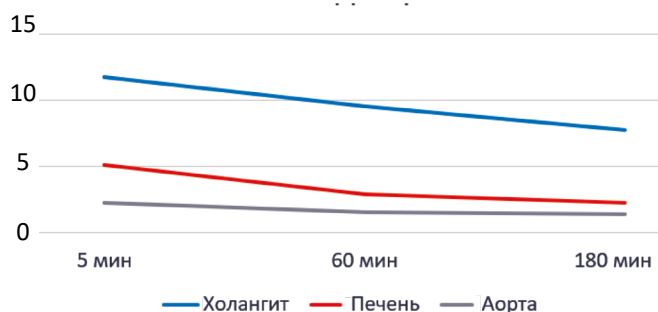


Рис. 6. Пациент 2. Динамика показателей SUV<sub>max</sub> <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в области холангита, в левой доле печени, в правой доле печени и грудной аорте

Fig. 6. Patient 2. Dynamics of SUV<sub>max</sub> values for <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 in the area of cholangitis, the left hepatic lobe, the right hepatic lobe and the thoracic aorta

Высокие фоновые значения накопления <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в паренхиме печени (исключая область холангита) были связаны с хроническим воспалительным процессом (хронический вирусный гепатит С, цирроз печени Чайлд-Пью А). Отсутствие пика накопления от 5-й минуты к 180-й минуте свидетельствует об отсутствии активной опухолевой ткани.

## Заключение

Установлено, что <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 и <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 обладают схожими диагностическими характеристиками, следовательно, в рутинной практике без планирования РНТ целесообразно применять <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 — синтез данного РФЛП наименее затратен в финансовом аспекте и наиболее прост технически при сравнении с другими FAPI (FAP)-содержащими РФЛП. Для использования в РНТ <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 представляется оптимальным РФЛП вследствие эффективной фармакокинетики, однако необходимо значительно более масштабное исследование, посвященное уточнению роли <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 как компонента тераностической пары. Также были выявлены различия в фармакокинетики <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 в опухолевых и воспалительных изменениях.

## Список литературы / References

1. Белкин ЕВ, Тулин ПЕ, Абу-Хайдар ОБ. ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI и <sup>18</sup>F-FDG в оценке метастатического поражения регионарных лимфоузлов при раке желудка. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2025;8(1):29-35.  
Belkin EV, Tulin PE, Abu-Khaydar OB. PET/CT with <sup>68</sup>Ga-FAPI and <sup>18</sup>F-FDG in the Detection of Metastases in Regional Lymph Nodes in Gastric Cancer. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2025;8(1):29-35. (In Russ.). <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-1-29-35>
2. Тулин ПЕ, Поляков АН, Пронин АИ. ПЭТ/КТ с <sup>68</sup>Ga-FAPI в диагностике рака неизвестной первичной локализации. Клиническое наблюдение. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2023;6(4):99-104.

## Вклад авторов

Тулин П.Е.: разработка дизайна статьи, обзор публикаций по теме статьи, анализ полученных данных, написание текста рукописи.  
Деньгина Т.А.: обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи.  
Невзоров Д.И., Соломяный В.В., Филимонов А.В., Долгушин Б.И.: редактирование статьи.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Долгушин Б.И. является главным редактором журнала «Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия», но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.  
**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета не требовалось.

**Информированное согласие.** Пациенты подписали информированное согласие на публикацию данных.

**Поступила:** 15.12.2025.

**Принята к публикации:** 04.02.2026.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

3. Wang H, Zhu W, Ren S, et al. <sup>68</sup>Ga-FAPI-04 versus <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in the detection of hepatocellular carcinoma. Frontiers in Oncology, 11, 2021;693640. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.693640>
4. Elboga U, Sahin E, Kus T, et al. Superiority of <sup>68</sup>Ga-FAPI PET/CT scan in detecting additional lesions compared to <sup>18</sup>F-FDG PET/CT scan in breast cancer. Annals of Nuclear Medicine 35, 2021;1321-31. <https://doi.org/10.1007/s12149-021-01672-x>
5. Kessler L, Hirmas N, Pabst KM, et al. <sup>68</sup>Ga-Labeled fibroblast activation protein inhibitor (<sup>68</sup>Ga-FAPI) PET for pancreatic adenocarcinoma: data from the <sup>68</sup>Ga-FAPI PET observational trial. Journal of Nuclear Medicine, 2023;64(12):1910-17. <https://doi.org/10.2967/jnumed.122.264827>
6. Loktev A, Lindner T, Burger EM, et al. Development of fibroblast activation protein-targeted radiotracers with improved tumor retention. Journal of Nuclear Medicine, 2019;60(10):1421-9. <https://doi.org/10.2967/jnumed.118.224469>
7. Fu K, Pang Y, Zhao L, et al. FAP-targeted radionuclide therapy with [<sup>177</sup>Lu]Lu-FAPI-46 in metastatic nasopharyngeal carcinoma. European Journal of Nuclear Medicine & Molecular Imaging 49, 2022;1767-9 <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05634-3>
8. Zboralski D, Hoehne A, Bredenbeck A, et al. Preclinical evaluation of FAP-2286 for fibroblast activation protein targeted radionuclide imaging and therapy. European Journal of Nuclear Medicine & Molecular Imaging 49, 2022;3651-67. <https://doi.org/10.1007/s00259-022-05842-5>
9. Yizhen P, Liang Zh, Tinghua M, et al. Journal of Nuclear Medicine, 2023;64 (3):386-94. <https://doi.org/10.2967/jnumed.122.264544>
10. Kline B, Yadav S, Seo Y, et al. <sup>68</sup>Ga-FAP-2286 PET of Solid Tumors: Biodistribution, Dosimetry, and Comparison with <sup>18</sup>F-FDG. Journal of Nuclear Medicine, 2024;65(6):938-943. <https://doi.org/10.2967/jnumed.123.267281>; PMID: 38697672; PMCID: PMC11149593
11. Pang Y, Zhao L, Meng T, et al. PET imaging of fibroblast activation protein in various types of cancer using <sup>68</sup>Ga-FAP-2286: comparison with <sup>18</sup>F-FDG and <sup>68</sup>Ga-FAPI-46 in a single-center, prospective study. Journal of Nuclear Medicine, 2023;64(3):386-94. <https://doi.org/10.2967/jnumed.122.264544>

## Information about the authors

Pavel E. Tulin, <https://orcid.org/0000-0001-7226-5129>

Tamara A. Dengina, <https://orcid.org/0009-0002-0651-9711>

Viktor V. Solomyany, <https://orcid.org/0009-0007-6294-5826>

Aleksandr V. Filimonov, <https://orcid.org/0009-0001-6694-9564>

Denis I. Nevzorov, <http://orcid.org/0000-0003-2969-0191>

Boris I. Dolgushin, <https://orcid.org/0000-0001-7185-7165>

## Authors' contributions

Pavel E. Tulin: developing the design of the article, reviewing publications on the topic of the article, analyzing the obtained data, writing the manuscript.

Tamara A. Dengina: reviewing publications on the topic of the article, writing the manuscript.

Viktor V. Solomyany, Aleksandr V. Filimonov, Denis I.

Nevzorov, Boris I. Dolgushin: editing of the article.

**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** B.I. Dolgushin is the editor-in-chief of the journal "Journal of oncology: diagnostic radiology and radiotherapy" but had no role in the decision to publish this article. The article has undergone the journal's established peer-review process. The authors have declared no other conflicts of interest.

**Ethical compliance.** Ethical committee approval was not necessary.

**Informed consent.** The patients signed informed consent for the publication of the data.

**Received:** 15.12.2025.

**Accepted for publication:** 04.02.2026.

**Published online:** 26.03.2026.

## ИТОГИ IX ВСЕРОССИЙСКОГО НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНГРЕССА С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ОНКОРАДИОЛОГИЯ, ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ»

13–14 февраля 2026 года в Москве состоялся IX Всероссийский научно-образовательный конгресс с международным участием «Онкорadiология, лучевая диагностика и терапия».

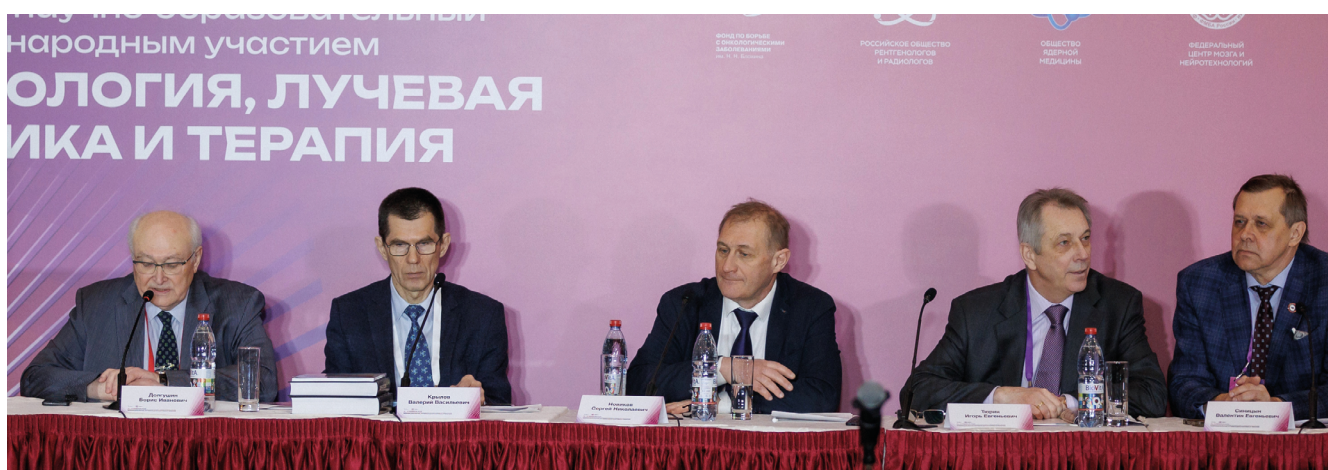
Традиционно выступая стартовым мероприятием годовой серии профессиональных форумов, Конгресс вновь подтвердил статус главной национальной площадки для диалога специалистов-онкологов в области лучевой диагностики, радиотерапии и ядерной медицины.

Мероприятие прошло в стенах отеля «Holiday Inn Moscow Sokolniki», собрав более 1100 очных участников — ведущих российских и зарубежных экспертов, практикующих врачей, медицинских физиков, молодых ученых и представителей индустрии. Еще 900 человек принимали участие в Конгрессе дистанционно. За два насыщенных дня работы участники смогли погрузиться в актуальную повестку, объединяющую фундаментальную науку и клиническую онкологическую практику.

Организаторами Конгресса выступил НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава РФ и ведущие профильные учреждения страны и медицинские ассоциации.

### Торжественное открытие

Торжественная церемония открытия состоялась в первом зале. С приветственными словами к участникам обратились председатель организационного комитета **Долгушин Борис Иванович**, президент Конгресса **Крылов Валерий Васильевич**, а также почетные гости и участники конгресса **Новиков Сергей Николаевич**, **Тюрин Игорь Евгеньевич** и **Синицын Валентин Евгеньевич**. В своих выступлениях они подчеркнули высокие темпы развития технологий лучевой и ядерной медицины, их определяющую роль в персонализации алгоритмов диагностики и противоопухолевого лечения, а также важность консолидации усилий научного и клинического сообществ для достижения целей национальной стратегии борьбы с онкологическими заболеваниями.





### Национальное руководство «Ядерная медицина»

На открытии Конгресса была проведена презентация фундаментального издания — Национального руководства «Ядерная медицина», подготовленного коллективом ведущих специалистов России под редакцией Б.И. Долгушина, В.И. Чернова, В.В. Крылова, А.А. Станжевского, М.Б. Долгушина, С.А. Рыжова.

В данном труде (1600 страниц) впервые за последние годы на столь высоком уровне обобщены фундаментальные основы ядерной медицины, базирующиеся на современных достижениях радиационной и ядерной физики, радиобиологии, радиофармацевтики и информатики. В издании подробно рассмотрены все основные технологии: планарная сцинтиграфия, однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), позитронная эмиссионная томография (ПЭТ), мультимодальная визуализация и радионуклидная терапия.

Особую ценность представляют разделы, посвященные клиническому применению методов ядерной медицины в кардиологии, онкологии, эндокринологии, неврологии и других областях. В руководстве представлена исчерпывающая характеристика современных радиофармацевтических лекарственных препаратов, описаны существующие и перспективные тераностические пары, проанализированы показания к исследованиям и варианты трактовки их результатов.

Издание предназначено для врачей-радиологов, онкологов, кардиологов, неврологов, медицинских физиков, а также для студентов, ординаторов, аспирантов и слушателей системы дополнительного профессионального образования, и станет настольной книгой для специалистов, стремящихся к углублению знаний в области ядерной медицины.

### Научная программа

Программа Конгресса отличалась масштабом. Работа велась одновременно в семи залах, где прошло 67 сессий, в числе которых 45 научных сессий, 15 школ и 4 сессии в формате круглого стола, 3 симпозиума. В рамках конгресса было озвучено 320 докладов и лекций.

На конгрессе ключевое внимание было уделено ядерной медицине и тераностике — персонализированному подходу, объединяющему диагностику и терапию. Участники обсуждали новейшие разработки в области радиолигандной терапии, включая ПСМА-терапию при раке предстательной железы, и успехи





отечественных ученых в создании новых радиофармпрепаратов. Состоялся междисциплинарный круглый стол по онкоурологии, где ведущие специалисты подчеркнули важность командной работы для эффективного лечения. Значительный опыт был представлен в секциях по радионуклидной терапии, где врачи из разных центров обменялись практикой применения современных методов. Традиционно сильные секции по медицинской физике и диагностической визуализации осветили вопросы дозиметрии, радиационной безопасности, роль искусственного интеллекта и дифференциальную диагностику онкологических заболеваний. Оживленная дискуссия развернулась вокруг междисциплинарных решений в онкоортопедии, где ключевым фактором успеха названо тесное сотрудничество хирургов и рентгенологов. Отдельное внимание было уделено развитию отечественного приборостроения, в частности, изучению инновационного метода flash-облучения. В области абдоминальной радиологии эксперты дискутировали о балансе между унификацией протоколов и индивидуальным подходом к пациенту. На конференции по ПЭТ в онкологии были представлены новые радиофармпрепараты и подчеркнута важность количественной оценки для точной диагностики. Также были освещены перспективные лучевые методы тераностики, включая фотодинамическую терапию и флуоресцентную навигацию в хирургии.

Конгресс подтвердил свой международный статус: с докладами выступили зарубежные коллеги из Беларуси, Казахстана, Китая и США.

В своих заключительных выступлениях председатели сессий отметили высокую динамику развития отрасли. Подводя итоги, организаторы поблагодарили участников за плодотворную работу и подчеркнули важность консолидации усилий всего профессионального сообщества.

### Всероссийская Олимпиада и Конкурс клинических случаев

Особое место в программе конгресса заняли мероприятия для молодых специалистов, направленные на выявление талантов и поддержку начинающих исследователей.

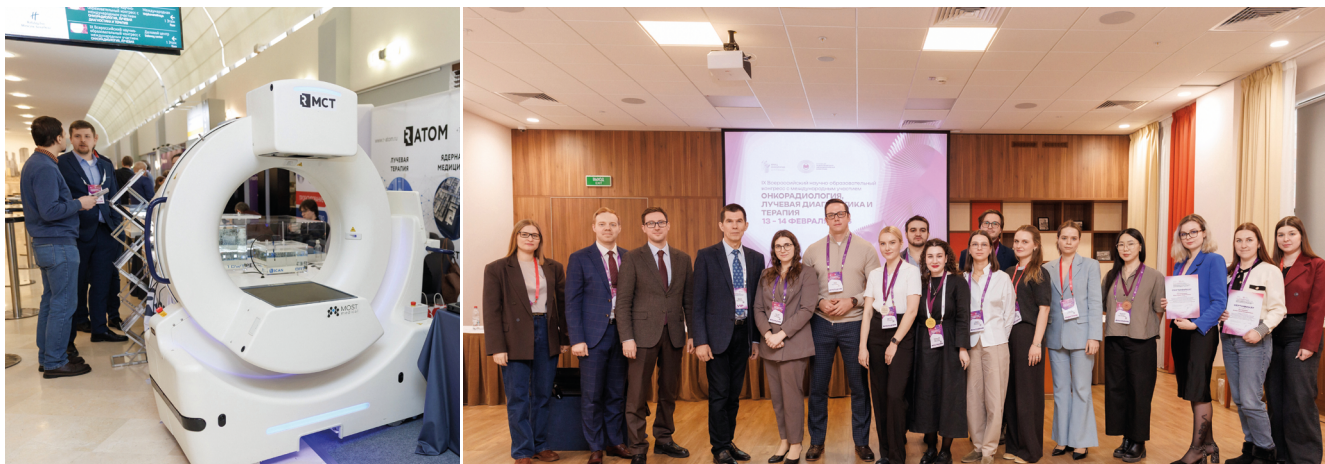
**Всероссийская олимпиада по лучевой диагностике для ординаторов** стала ярким и захватывающим событием первого дня. Команды и индивидуальные участники из разных регионов России соревновались в знании семиотики, умении интерпретировать сложные клинические случаи и быстроте принятия решений. Как было верно отмечено в приветствии организаторов, участие в Олимпиаде предоставило будущим специалистам уникальную возможность продемонстрировать свои навыки и знания, наладить новые контакты с обучающимися из других городов.

Параллельно в первый день работы конгресса прошел **Конкурс клинических случаев по лучевой диагностике онкологических заболеваний для молодых ученых, ординаторов и аспирантов**. Участники представили жюри свои самые интересные и поучительные наблюдения. География докладов охватила всю страну — от Санкт-Петербурга до Якутска. Молодые ученые получили бесценный опыт публичных выступлений и профессиональной оценки своих работ, а победители и призеры были награждены дипломами и ценными призами.

### Выставка: мост между наукой и производством

В выставочном пространстве конгресса была развернута экспозиция, где ведущие производители и дистрибьюторы медицинского оборудования и фармацевтических препаратов представили свои новейшие разработки.

Как и было обещано организаторами, выставка стала отличной возможностью лично по-



знакомиться с техническими новинками и обсудить их применение в клинической практике с производителями.

**Итоги Конгресса**

IX Всероссийский научно-образовательный конгресс «Онкорadiология, лучевая диагностика и терапия» продемонстрировал динамику развития отрасли и консолидацию профессионального сообщества. Участники отметили высокий научный уровень представленных докладов, практическую ориентированность образовательных школ и актуальность представленных на выставке разработок. Работа Конгресса способствовала обмену передовым опытом, определению новых направлений для научных исследований и внедрению в клиническую практику наиболее

эффективных методик лучевой диагностики и терапии.

IX Всероссийский конгресс «Онкорadiология, лучевая диагностика и терапия» завершил свою работу, задав новые стандарты и направления для развития отечественной онкологии. Впереди — новые вызовы и новые встречи.

Организационный комитет выражает благодарность всем участникам, спонсорам и партнерам за вклад в успешное проведение мероприятия.

Материалы IX Конгресса, как и предыдущих Конгрессов, будут размещены на сайте [oncoradiology.ru](http://oncoradiology.ru)

Приглашаем Вас принять участие в X, юбилейном Всероссийском конгрессе «Онкорadiология, лучевая диагностика и терапия» в середине февраля 2027 года.

*С уважением, Оргкомитет Конгресса*

Организаторы конгресса:



Информация о мероприятии на сайте <https://oncoradiology.ru>

## ПАМЯТИ РИЧАРДА ИППОЛИТОВИЧА ГАБУНИЯ

5 февраля 2026 года закончил свой земной путь старейший радиолог страны Ричард Ипполитович Габуня. Его долгая вековая жизнь является для нескольких поколений радиологов примером верного служения людям и стране. Его заслуги столь велики, что ещё при жизни он стал легендой.

Ричард Ипполитович родился 17 ноября 1925 года в Грузинской ССР.

Окончив 1942 году среднюю школу с отличием, он поступил в Закавказский институт инженеров железнодорожного транспорта. Но шла война, и он, проучившись 1 год, всё-таки ушёл из института и записался добровольцем. Однако его послали не на фронт, а в Краснодарское военное стрелково-минометное училище. При этом он каким-то образом сумел поменять документы, приписав себе несколько месяцев.

С 4 марта 1944 года Ричард Ипполитович воевал в составе в 149 стрелковой дивизии 1-й Украинского фронта. Будучи командиром минометного взвода 82 мм минометов, он проявил себя грамотным офицером и был награжден Орденом Красной Звезды. Несмотря на свой молодой возраст, он пользовался заслуженным авторитетом среди однополчан-ветеранов.

В 1945 г. получил тяжелую контузию и вынужден был 2 месяца проходить лечение в эвакогоспитале. После окончания войны дивизию расформировали, а его направили в Германию в комендатуру г. Митвойда.

Ещё в госпитале Ричард Ипполитович принял решение посвятить свою жизнь медицине и после окончания службы поступил на лечебный факультет Тбилисского мединститута. Его авторитет, членство в партии позволили ему занять пост секретаря комсомольской организации. Он пользовался безоговорочным авторитетом в институте и прекрасно учился, что позволило ему после института стать ассистентом на кафедре рентгенорадиологии Тбилисского мединститута. Здесь Ричард Ипполитович начал свою научную деятельность как радиолог. Его диссертация «Рентгенокимографическое изучение сердца больных тиреотоксикозом в динамике в связи с лечением радиоактивным йодом I-131» стала третьей по счёту в Советском Союзе, посвященной радионуклидной терапии.

В 1962 году был объявлен конкурс на руководителя делегации СССР, представляющей достижения отечественной медицинской промышленности в США и Канаде. Р.И. Габуня, с нуля выучив английский язык, с успехом его выиграл. Командировка прошла с большим успехом, и делегация Советского Союза была устроена встреча в Белом Доме с Президентом США Джоном Кеннеди.

В июне 1962 года по конкурсу прошел в Институт медицинской радиологии АМН СССР в городе Обнинске Калужской области, где работал старшим научным сотрудником отдела рентгенорадиологии и



Ричард Ипполитович Габуня  
(1 июня 1925 — 5 февраля 2026)

заместителем руководителя лаборатории радиометрии всего тела, а затем руководителем отдела радиоизотопной диагностики.

Работая в Обнинске, защитил докторскую диссертацию на тему «Изучение содержания калия в норме и при патологии с помощью измерения естественной радиоактивности человека». С 1973 года Р.И. Габуня — профессор.

С 1975 года он возглавлял крупнейшую в Союзе лабораторию радиоизотопной диагностики и отдел лучевой диагностики Всесоюзного онкологического научного центра АМН СССР. Одним из первых в России он применил стронций-89 для лечения больных с метастатической болезнью костей. Профессор Габуня Р.И. воспитал множество учеников, под его руководством выполнены и защищены 10 докторских и 33 кандидатские диссертации. Ему же принадлежит уникальный рекорд — 136 диссертаций защищены при его участии в качестве оппонента или рецензента. Соавтор пятитомного руководства «Клиническая рентгенодиагностика» (1985), под редакцией академика АМН СССР Г.А. Зедгенидзе, долгое время остававшегося настольной книгой рентгенологов и радиологов в СССР. За многолетний труд и научные достижения Р.И. Габуня был удостоен почетного звания «Заслуженный деятель науки СССР».

Ушел Человек-эпоха. Патриот своей Страны, безгранично преданный своему делу врач, настоящий Учитель.

Светлая память о Ричарде Ипполитовиче навсегда сохранится в не только наших сердцах, но и наших учеников. Его наследство — это достояние всей отечественной радиологии. Будем достойны его памяти.

*Сотрудники НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России  
Члены редколлегии «Онкологического журнала:  
Лучевая диагностика, лучевая терапия»*