

## НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ВОЗМОЖНОСТИ МРТ В УТОЧНЕНИИ КАТЕГОРИИ PI-RADS3 И PI-RADS4

Куплевацкая Д.И.<sup>1,2</sup>✉, Трофимова Т.Н.<sup>2</sup>, Куплевацкий В.И.<sup>1</sup>, Сурнин Н.В.<sup>1</sup>, Березина Н.А.<sup>1</sup>, Черкашин М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «Лечебно-диагностический центр Международного института биологических систем имени Сергея Березина», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Медицинский институт Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

✉ Дарья Игоревна Куплевацкая, [dkupl@ldc.ru](mailto:dkupl@ldc.ru), +79213023101

### РЕФЕРАТ

**Введение:** Рак предстательной железы (ПЖ) остается одной из ведущих причин онкологической смертности. Традиционные методы диагностики, включая определение уровня ПСА и ТРУЗИ, имеют ограничения в выявлении ранних стадий рака ПЖ. МРТ играет ключевую роль в диагностике, особенно для выявления клинически значимых опухолей, но система PI-RADS v2.1 имеет ограничения в количественной оценке патологических изменений.

**Цель:** Разработать и оценить количественные МРТ критерии для дифференциальной диагностики очагов категорий PI-RADS 3 и PI-RADS 4, установить статистически значимые предикторы наличия рака в очаге.

**Материалы и методы:** Ретроспективный анализ 105 пациентов (возраст 49–78 лет, медиана 65) с подозрением на рак ПЖ, проведенный в 2019–2024 гг. Пациенты разделены на группы по анамнезу: с отрицательной биопсией (34 %), повышенным ПСА и отрицательной динамикой МРТ (33 %), ростом ПСА без УЗИ-изменений (32 %). Выполнено МРТ ПЖ на томографах 1,5Тл и 3Тл (би- или мультипараметрическое), с оценкой по PI-RADS v2.1. Очаги PI-RADS 4 выявлены в 73,3 % случаев, PI-RADS 3 — в 26,7 %. Всем пациентам проведена стереотаксическая МРТ-направленная биопсия с забором из целевых очагов и системной биопсией. Статистический анализ включал частотные таблицы, критерии  $\chi^2$ , Фишера, t-test, Манна-Уитни и ROC-анализ.

**Результаты:** Рак ПЖ верифицирован в 78 % случаев (преимущественно аденокарциномы Gleason 7, ISUP 2). Очаги PI-RADS 3–4 чаще локализовались в периферических зонах (73,3 % задние отделы). Введены количественные показатели: отношение интенсивности сигнала на ДВИ с высоким b-фактором ( $b_1/b_2$ ) и на ИКД-карте ( $ИКД_2/ИКД_1$ ). Для всех очагов: порог  $b_1/b_2 > 1,56$  (чувствительность 81,7 %, специфичность 91,3 %);  $ИКД_2/ИКД_1 > 2,65$  (52,4 % и 82,6 %). Для PI-RADS 4: пороги  $b_1/b_2 > 1,57$  (87,1 % и 85,7 %) и  $ИКД_2/ИКД_1 > 2,2$  (81,4 % и 85,7 %) значимы как предикторы рака. Для PI-RADS 3: отношения не значимы. Динамическое контрастирование (34,2 % случаев) уточняло локализацию, но не определяло биопсию; кривые типа 3 коррелировали с раком в PI-RADS 4 (95 %).

**Обсуждение:** Внедрение количественных критериев ( $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$ ) позволяет объективизировать оценку очагов PI-RADS 4, снижая зависимость от опыта врача-рентгенолога. Эти параметры являются значимыми предикторами клинически значимого рака ПЖ, особенно для категории PI-RADS 4. Для категории PI-RADS 3 требуются дальнейшие исследования для поиска надежных количественных маркеров. Бипараметрическое МРТ (без контрастирования) было достаточно для принятия решения о биопсии в большинстве случаев (65,7 %), делая метод доступнее и безопаснее, а количественный анализ может помочь в выборе между би- и мультипараметрическим протоколом.

**Заключение:** МРТ с количественной оценкой  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$  улучшает диагностику клинически значимого рака ПЖ, особенно для категории PI-RADS 4. Количественные отношения  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$  — надежные предикторы рака для PI-RADS 4, снижают субъективность диагностики. Использование предложенных количественных пороговых значений может помочь в принятии более обоснованного решения о необходимости проведения биопсии у пациентов с сомнительными результатами МРТ (категории PI-RADS 3 и 4).

**Ключевые слова:** рак предстательной железы, магнитно-резонансная томография предстательной железы, МРТ, диффузионно-взвешенные изображения, ДВИ, ИКД

**Для цитирования:** Куплевацкая Д.И., Трофимова Т.Н., Куплевацкий В.И., Сурнин Н.В., Березина Н.А., Черкашин М.А. Новый взгляд на возможности МРТ в уточнении категории PI-RADS3 и PI-RADS4. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2025;8(4):60-71.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-4-60-71>

Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy

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

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА | DIAGNOSTIC RADIOLOGY

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-4-60-71>

## A NEW PERSPECTIVE ON THE ROLE OF MRI IN REFINING PI-RADS 3 AND PI-RADS 4 CATEGORIES

Daria I. Kuplevatskaya<sup>1,2</sup>✉, Tatyana N. Trofimova<sup>2</sup>, Vladimir I. Kuplevatsky<sup>1</sup>, Nikita V. Surnin<sup>1</sup>, Natalia A. Berezina<sup>1</sup>, Mikhail A. Cherkashin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Diagnostic and Treatment Center of the Sergey Berezin International Institute of Biological Systems, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Medical Institute, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

✉ Daria I. Kuplevatskaya, [dkupl@ldc.ru](mailto:dkupl@ldc.ru), +79213023101

### ABSTRACT

**Introduction:** Prostate cancer (PCa) remains one of the leading causes of cancer-related mortality. Traditional diagnostic methods, including PSA testing and transrectal ultrasound (TRUS), have limitations in detecting early-stage PCa. MRI plays a key role in diagnosis, particularly in identifying clinically significant tumors. However, the PI-RADS v2.1 system has limitations in the quantitative assessment of pathological changes.

**Purpose:** To develop and evaluate quantitative MRI criteria for the differential diagnosis of PI-RADS 3 and PI-RADS 4 lesions, and to identify statistically significant predictors of cancer presence in lesions.

**Materials and Methods:** A retrospective analysis was conducted on 105 patients (aged 49–78 years, median age 65) with suspected PCa from 2019 to 2024. Patients were grouped based on clinical history: negative biopsy (34 %), elevated PSA and negative MRI dynamics (33 %), and rising PSA without ultrasound changes (32 %). Prostate MRI was performed using 1.5 T and 3 T scanners (bi- or multiparametric), with assessment according to PI-RADS v2.1. PI-RADS 4 lesions were identified in 73.3 % of cases, and PI-RADS 3 lesions in 26.7 %. All patients underwent stereotactic MRI-targeted biopsy with sampling from target lesions and systematic biopsy. Statistical analysis included frequency tables, chi-square and Fisher's tests, t-test, Mann–Whitney test, and ROC analysis.

**Results:** PCa was confirmed in 78 % of cases (predominantly Gleason 7, ISUP grade 2 adenocarcinomas). PI-RADS 3–4 lesions were most often located in the peripheral zones (73.3 %, posterior regions). New quantitative parameters were introduced: the signal intensity ratio on high b-value DWI ( $b_1/b_2$ ) and on ADC maps ( $ADC_2/ADC_1$ ). For all lesions, a  $b_1/b_2$  threshold  $>1.56$  showed sensitivity of 81.7 % and specificity of 91.3 %;  $ADC_2/ADC_1 >2.65$  showed 52.4 % sensitivity and 82.6 % specificity. For PI-RADS 4 lesions, thresholds of  $b_1/b_2 >1.57$  (87.1 % sensitivity, 85.7 % specificity) and  $ADC_2/ADC_1 >2.2$  (81.4 % and 85.7 %, respectively) were significant predictors of cancer. For PI-RADS 3 lesions, these ratios were not significant. Dynamic contrast enhancement (performed in 34.2 % of cases) helped to refine lesion localization but did not influence the biopsy decision; type 3 curves correlated with cancer in PI-RADS 4 lesions (95 %).

**Discussion:** The introduction of quantitative criteria ( $b_1/b_2$  and  $ADC_2/ADC_1$ ) allows for a more objective assessment of PI-RADS 4 lesions, reducing the dependence on radiologist experience. These parameters are significant predictors of clinically significant PCa, particularly in PI-RADS 4. Further research is needed to identify reliable quantitative markers for PI-RADS 3 lesions. Biparametric MRI (without contrast) was sufficient for biopsy decision-making in most cases (65.7 %), making the method more accessible and safer. Quantitative analysis may assist in selecting between bi- and multiparametric MRI protocols.

**Conclusion:** MRI with quantitative assessment of  $b_1/b_2$  and  $ADC_2/ADC_1$  improves the detection of clinically significant PCa, especially for PI-RADS 4 lesions. The  $b_1/b_2$  and  $ADC_2/ADC_1$  ratios are reliable cancer predictors for PI-RADS 4 and reduce diagnostic subjectivity. Using the proposed quantitative thresholds can support more informed decision-making regarding the need for biopsy in patients with equivocal MRI findings (PI-RADS 3 and 4).

**Keywords:** prostate cancer, magnetic resonance imaging, diffusion-weighted imaging, DWI, apparent diffusion coefficient, ADC

**For citation:** Kuplevatskaya D.I., Trofimova T.N., Kuplevatsky V.I., Surnin N.V., Berezina N.A., Cherkashin M.A. A New Perspective on the Role of MRI in Refining PI-RADS 3 and PI-RADS 4 Categories. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2025;8(4):60-71. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-4-60-71>

## Введение

Рост онкологических заболеваний по-прежнему является одной из главных проблем здравоохранения как в России, так и в многих странах мира. Для решения этой проблемы постоянно совершенствуются методы выявления и верификации опухолевого процесса [1, 2].

Рак предстательной железы (рак ПЖ) во всем мире, и, в частности, в России, остается одной из самых частых причин смерти от онкологических заболеваний. Борьба с этим опухолевым процессом привлекает внимание врачей и исследователей из-за его широкой распространенности, недостаточно изученной эпидемиологии процесса, многообразия клинических проявлений, социальной значимости и разнообразия методов лечения этого заболевания [1–5].

Общепризнанный диагностический алгоритм при раке ПЖ, который включает в себя клиническое обследование, определение в крови простатспецифического антигена (ПСА) и его различных модификаций, а также трансректальное ультразвуковое исследование (ТРУЗИ), успешно применяется для выявления местнораспространенных и распространенных форм рака ПЖ T<sub>2b</sub>–T<sub>4</sub> стадий, а трансректальная биопсия под ультразвуковым контролем, в большинстве случаев, позволяет верифицировать диагноз [3, 4, 6, 7].

Известно, что ранние формы локализованного рака ПЖ (T<sub>1</sub>–T<sub>2a</sub> стадий) могут протекать бессимп-

томно, не определяются пальпаторно при клиническом обследовании и, в ряде случаев, не сопровождаются повышением уровня ПСА или приводят к незначительному повышению уровня ПСА [7–10].

На основании крупных мета-анализов клинических исследований, направленных на уточнении роли ПСА в выявлении рака ПЖ было установлено, что согласованных стандартов для определения уровня ПСА, свидетельствующего о наличии рака ПЖ, не существует, при этом в 16,7 % случаев у пациентов с уровнем ПСА менее 1,0 нг/мл был верифицирован рак ПЖ [8–10].

Роль и значение ТРУЗИ исследования разносторонне изучена в последние десятилетия, что нашло отражение в обновлённой версии клинических рекомендаций по раку ПЖ международной профильной группы EAU-EANM-ESTRO-ESUR-ISUP-SIOG 2024 [7, 8]. Установлено, что стандартное ТРУЗИ не является определяющим методом ранней диагностики непальпируемого клинически значимого рака ПЖ, а результаты трансректальной ТРУЗИ биопсии малоинформативны [11, 12].

Широкое применение МРТ исследования в диагностике рака ПЖ определило новый уровень диагностики этого патологического процесса, в том числе, возможность выявления более ранних стадий локализованной формы рака ПЖ [4–8, 12–22]. При этом важным остаётся поиск баланса между диагностикой непальпируемых, но клинически значимых форм рака ПЖ и опухолевых изменений,

которые не требуют медицинских вмешательств, и при которых показано активное наблюдение.

Во многих клинических исследованиях была проанализирована корреляция между результатами гистологического исследования образцов ткани, полученных при системной биопсии рака ПЖ, и результатов МРТ-исследований, и установлено, что МРТ обладает высокой чувствительностью (до 95 %) в выявлении и локализации клинически значимых опухолей группы ISUP  $\geq 2$ , особенно, если их диаметр превышает 10 мм [5, 14–16, 23]. МРТ менее чувствительна при выявлении рака ПЖ группы ISUP 1, и позволяет визуализировать менее 30 % случаев рака этой группы размером менее 5 мм в диаметре [5, 14–16, 23].

Благодаря многочисленным международным исследовательским группам, разработаны рекомендации по стандартизации и сопоставимости результатов МРТ в диагностике рака ПЖ в виде системы PI-RADS, которая определяет степень вероятности наличия опухолевого процесса [6–8, 16–20]. В 2019 г. совместный руководящий комитет выпустил обновленную версию PI-RADS v2.1, которая задумана как “живой” документ, который будет развиваться по мере накопления клинического опыта и научных данных [18–20]. В данной версии детально прописаны критерии выполнения и анализа МРТ-исследований, на основании которых врач-рентгенолог может дифференцировать выявленные патологические изменения в органе и соотнести их с категориями PI-RADS.

Однако в версии PI-RADS v2.1, сохраняется ряд ограничений, которые приводят к снижению чувствительности МРТ-исследований [18–20]. В обновленной версии PI-RADS v2.1 сохраняются только визуализационные характеристики выраженности снижения или повышения интенсивности сигнала на протоколах T<sub>2</sub> ВИ в подозрительном очаге, а также на протоколах ДВИ с высоким фактором диффузии и на параметрических ИКД-картах. Отсутствие данных количественной оценки выраженности патологической интенсивности МР-сигнала по сравнению с фоновым МР-сигналом в ткани ПЖ затрудняет оценку очаговых изменений и определения их категории по PI-RADS.

На данный момент существует необходимость анализа и разработки новых количественных критериев, которые помогут дифференцировать выявленные патологические очаговые изменения ПЖ при МРТ-исследованиях, и соотнести их с категориями PI-RADS, которые устанавливают вероятность наличия клинически значимого рака ПЖ и являются одним из критериев, определяющих необходимость выполнения биопсии ПЖ.

Цель — разработать и оценить диагностическую эффективность новых количественных МРТ-критериев в диагностике рака ПЖ, установить статистически значимые предикторы наличия рака в очагах категорий PI-RADS 3 и PI-RADS 4.

### Материалы и методы

Был проведен ретроспективный анализ клинико-лучевого и морфологического обследования 105 пациентов в возрасте от 49 до 78 лет (медиана 65 лет), проведенного на базе Медицинского института имени Сергея Березина с 2019 по 2024 гг.

Всем пациентам по направлению онкоуролога были выполнены: исследование простатспецифического антигена (ПСА), МРТ-исследование предстательной железы (ПЖ), по результатам которого установлены патологические изменения ПЖ категорий PI-RADS 3 и PI-RADS 4, а также стереотаксическая МРТ-направленная биопсия ПЖ. Критериями исключения из исследования были изменения категории PI-RADS 5, установленные по результатам МРТ-исследования.

В зависимости от значимости данных анамнеза пациенты были стратифицированы на несколько групп:

- группа 1 — пациенты с отрицательной биопсией в анамнезе, но клиническими данными, подозрительными на наличие рака ПЖ — 36 пациента (34 % случаев),
- группа 2 — пациенты с повышенным уровнем ПСА и отрицательной динамикой изменений в ПЖ по результатам МРТ-исследований — 35 пациентов (33 %);
- группа 3 — пациенты с ростом ПСА, отсутствием изменений при ультразвуковом исследовании (УЗИ) ПЖ, которым ранее не выполнялось МРТ исследование ПЖ — 34 пациента (32 %).

МРТ ПЖ была выполнена на томографах Siemens с магнитной индукцией 3 Тл (Verio, Skyra, Vida) с применением 18/30-элементной катушки body coil, на томографе Siemens с магнитной индукцией 1,5 Тл (Aera) с применением 18-элементной катушки body coil. Протокол МРТ-исследования включал в себя следующие последовательности:

- T<sub>2</sub> sag (TR 5300, TE 86, матрица 385×797, толщина среза 3 мм, интервал между срезами 0 мм, поле обзора 200 мм);
- T<sub>2</sub> tra high-resolution прицельно на предстательную железу (TR 7440, TE 104, матрица 346×384, толщина среза 3 мм, интервал между срезами 0 мм, поле обзора 200 мм);
- T<sub>2</sub> cor high-resolution прицельно на предстательную железу (TR 7040, TE 109, матрица 307×384, толщина среза 3 мм, интервал между срезами 0 мм, поле обзора 200 мм);

- DWI tra/cor b-values of 50, 400, 1400–2500 с автоматическим построением ADC-карт (матрица 114×114, толщина среза 3 мм, поле обзора 200 мм);
- T<sub>1</sub> tra FS (TR 5.6, TE 2.46/3.69, матрица 238×384, толщина среза 3 мм, интервал между срезами 0 мм, поле обзора 350 мм) до контрастирования,
- T<sub>2</sub> cor FS на область малого таза от бифуркации аорты до паховых областей включительно (TR 3200, TE 84, матрица 320×320, толщина среза 3 мм, интервал между срезами 0 мм, поле обзора 300 мм),
- T<sub>1</sub>ВИ градиентное эхо с динамическим болюсным контрастным усилением (TR 5.0 TE 1.95, матрица 179×224, толщина среза 3 мм, интервал между срезами 0 мм, поле обзора 200 мм, 40 повторений, временное разрешение 10 с).

Контрастное вещество гадобутрол 1 ммоль/мл вводилось по массе тела пациента, скорость инъекции 2–3 мл/с.

Качественная оценка изменений предстательной железы осуществлялась согласно рекомендациям PI-RADSv2.1 (Prostate Imaging-Reporting and Data System version 2.1, American College of Radiology, 2019) с помощью программного обеспечения для просмотра МРТ-изображений (Syngo Via, Radiant, Efilm), количественный анализ выявленных очаговых изменений также проводился с помощью программного обеспечения Syngo Via, Radiant, Efilm.

В каждом случае врач-рентгенолог присутствовал при выполнении МРТ-исследования и все полученные протоколы МРТ анализировались непосредственно после их выполнения.

При анализе МРТ-исследований изменения категории PI-RADS4 были установлены в 77 (73,3 %) случаях, изменения категории PI-RADS 3 — в 28 (26,7 %) случаях. У 14 (13,3 %) пациентов были выявлены многофокусные изменения ПЖ категории PI-RADS 3–4, в этих случаях оценке подлежал участок с более высокой категорией PI-RADS или участок большего размера, если очаговые изменения были одной категории.

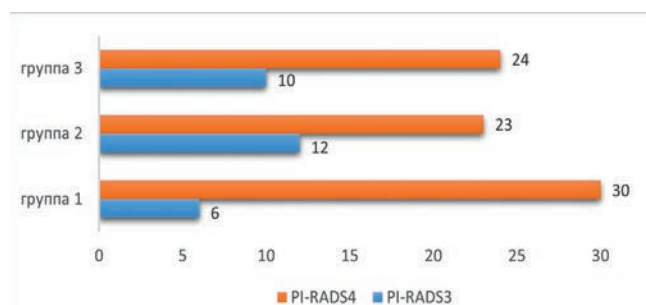


Рис. 1. Частота встречаемости измерений категории PI-RADS 3 и PI-RADS4 в стратифицированных группах по данным анамнеза

Fig. 1. Frequency of PI-RADS 3 and PI-RADS 4 categories in patient groups stratified by clinical history

Изменения категории PI-RADS 4 и 3 по стратифицированным группам распределялись следующим образом (рис. 1).

В зависимости от полученных данных врач-рентгенолог принимал решение об объеме МРТ-исследования: всем пациентам выполнялась бипараметрическая МРТ (бпМРТ) ПЖ, которая включала в себя все вышеперечисленные последовательности кроме серии динамических постконтрастных МР-томограмм (T<sub>1</sub>ВИ градиентное эхо с динамическим болюсным контрастным усилением), по необходимости исследование было дополнено серией динамических постконтрастных МР-томограмм с построением кинетических кривых и соответствовало общепринятому мультипараметрическому МРТ-исследованию (мпМРТ).

Распределение пациентов по стратифицированным группам и объему выполненных МРТ-исследований представлено в табл. 1.

По результатам МРТ-исследования ПЖ всем пациентам была выполнена стереотаксическая МРТ-направленная биопсия ПЖ с применением устройства для стереотаксического наведения под контролем МРТ (Регистрационное удостоверение на медицинское изделие от 21.03.2019, №РЗН2019/8219). Методика выполнения МРТ-направленной биопсии включала в себя забор образцов ткани из целевого очага категории PI-RADS 4 и PI-RADS 3, а также одновременного выполнения системной биопсии ткани ПЖ [24–30].

Рак ПЖ выявлен в 82 случаях (78 %), доброкачественные изменения установлены по результатам стереотаксической МР направленной биопсии ПЖ в 23 случаях (22 %).

Среди рака ПЖ преобладали аденокарциномы по шкале Глисон 7 (3+4), группа 2 по ISUP — 45 случаев (54,8 %) от общего числа выявленных аденокарцином ПЖ.

Распределение по степени злокачественности верифицированного рака ПЖ и изменений категории PI-RADS представлены в таблице 2.

**Таблица 1. Распределение пациентов по стратифицированным группам и объему выполненных МРТ-исследований**  
Distribution of patients across stratified groups and the number of MRI performed

Группы пациентов	МРТ		Итого	
	бпМРТ	мпМРТ		
1	Частота	24	10	36
	% в группе	66,70 %	29,40 %	
2	Частота	21	14	35
	% в группе	60,00 %	40,00 %	
3	Частота	24	12	34
	% в группе	70,60 %	33,30 %	
Итого	Частота	69	36	105
	% в группа	65,70 %	34,30 %	

**Таблица 2. Распределение по степени злокачественности верифицированного рака ПЖ и изменений категории PI-RADS**  
**Distribution of malignancy grades in verified prostate cancer and changes in PI-RADS categories**

Шкала Глисон	PI-RADS 3		PI-RADS 4		Всего
	частота	% в группе	частота	% в группе	
Глисон 6 (3+3)	6	50	9	12,8	15
Глисон 7 (3+4)	5	41,7	40	57,2	45
Глисон 7 (4+3)	1	8,3	14	20	15
Глисон 8 (4+4)	0	0	6	8,5	6
Глисон 9 (4+5)	0	0	1	1,5	1
Всего	12	100	70	100	82

Для описания разных значений категориальных данных определялись абсолютные частоты и проценты от общего количества наблюдений. Обработка категориальных данных проводилась с использованием таблиц частот, таблиц сопряженности, критерия  $\chi^2$  или точного критерия Фишера (в случае малого числа наблюдений).

Для количественных данных выполнялась проверка нормальности данных с помощью критериев Колмогорова—Смирнова или Шапиро—Уилки. Количественные нормально распределенные переменные описывались через среднее значение и стандартное отклонение  $M(SD)$ , переменные с распределением, отличным от нормального, — при помощи медианы, 25 и 75 квартилей  $Me(Q25; Q75)$ .

Для сравнения групп по нормально распределенным данным использовался критерий t-test, равенство дисперсий проверялось с помощью критерия Ливиня. Для данных, распределение которых отличалось от нормального, использовался критерий Манна—Уитни. Для оценки прогностического качества предикторов и определения оптимальных пороговых значений использовался ROC-анализ.

## Результаты

Ретроспективный анализ выявленных очаговых изменений в ПЖ состоял из двух этапов.

На первом этапе в каждом случае проводился пересмотр выполненных МРТ-исследований с визуальным анализом изменений в ткани ПЖ.

Согласно рекомендациям PI-RADS (Prostate Imaging-Reporting and Data System version 2.1), изменения категории PI-RADS 4 в периферических зонах были определены на протоколах  $T_2$  ВИ высокого разрешения как очаг, имеющий умеренно выраженный или значительно выраженный гипоинтенсивный сигнал с достаточно четкими контурами, максимальным размером менее 1,5 см. На протоколах ДВИ, которые являются доминирующей по-

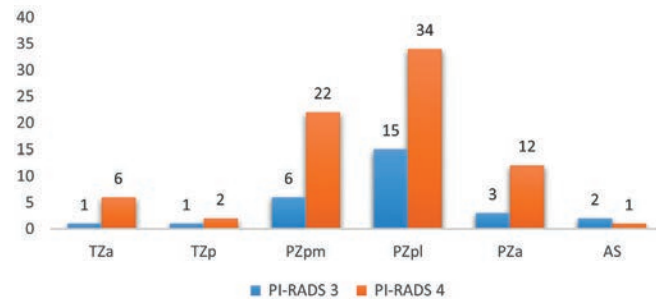


Рис. 2. Распределение локализации очагов категорий PI-RADS 3 и PI-RADS 4 по структурным зонам ПЖ согласно рекомендациям PI-RADS v2.1

Fig. 2. Distribution of PI-RADS 3 and PI-RADS 4 lesion localizations across structural prostate zones according to PI-RADS v2.1 recommendations

следовательностью в определении категорий в периферических зонах ПЖ, очаг категории PI-RADS4 определялся как очаг менее 1,5 см в наибольшем измерении, имеющий выражено гипоинтенсивный сигнал на параметрической ИКД-карте и выражено гиперинтенсивный сигнал при высоком b-факторе по сравнению с МР-сигналом наименее измененной ткани ПЖ в той же анатомической зоне, в которой очаг расположен.

Изменения категории PI-RADS 3 в периферических зонах на протоколах  $T_2$  ВИ в высоком разрешении были установлены как округлый или овальный очаг незначительно или умеренно пониженного МР-сигнала с нечеткими контурами, максимальным размером менее 1,5 см. На протоколах ДВИ участок категории PI-RADS 3, выявленный на  $T_2$  ВИ, визуализировался как очаг умеренно гипоинтенсивного сигнала на ИКД-карте и/или очаг умеренно повышенного МР-сигнала при высоком значении b фактора по сравнению с наименее измененной тканью периферической зоны, при этом выраженность изменений при высоком b факторе и на ИКД-карте не совпадала.

Наиболее часто (77 случаев, 73,3 %) очаговые изменения категории PI-RADS3, PI-RADS4 локализовались в задних отделах периферических зон ПЖ, в 19 % (20 случаев) от общего количества МРТ исследований участки патологических изменений локализовались в передних отделах ПЖ. Патологические изменения в транзитной зоне и фибромускулярной строме были выявлены значительно реже (12,4 %, 13 случаев) по сравнению с очагами, локализованными в периферических зонах, что полностью соответствует данным литературы [12, 14, 29].

Распределение очагов PI-RADS3, PI-RADS4 по анатомическим зонам ПЖ представлено на рис. 2.

Вторым этапом с целью установления более четких критериев ограничения диффузии в патоло-

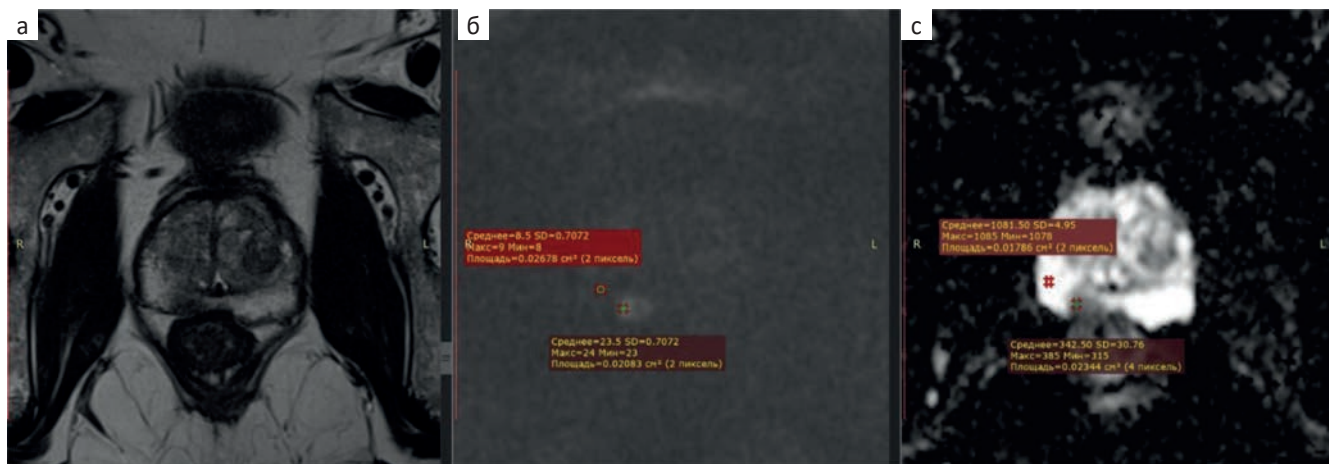


Рис. 3. МРТ предстательной железы, очаг категории PI-RADS 4 в периферической зоне справа, верифицирован рак ПЖ, Глисон 7 (3+4). а — T<sub>2</sub> ВИ высокого разрешения в аксиальной плоскости. На фоне неоднородного диффузного снижения МР-сигнала от периферических зон в сегменте PZpm визуализируется участок пониженного сигнала на T<sub>2</sub> ВИ с нечеткими контурами; б — ДВИ с высоким b фактором (2500 с/мм<sup>2</sup>). Значения интенсивности сигнала в участке повышенного сигнала (b<sub>1</sub> — 23 а.у.) и в неизменном участке периферической зоны (b<sub>2</sub> — 8 а.у.), b<sub>1</sub>/b<sub>2</sub> — 2,7 а.у.; с — ИКД-карта. Значение интенсивности сигнала в участке пониженного сигнала (ИКД<sub>1</sub> — 342×10<sup>-6</sup> мм<sup>2</sup>/с) и в неизменном участке периферической зоны (ИКД<sub>2</sub> — 1081×10<sup>-6</sup> мм<sup>2</sup>/с), ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub> — 3,1 а.у.

Fig. 3. Prostate MRI: PI-RADS 4 lesion in the right peripheral zone, histologically verified prostate cancer, Gleason score 7 (3+4). а — High-resolution axial T2WI. Against a background of diffuse heterogeneous signal reduction in the peripheral zones, a hypointense area with indistinct margins is visualized in the PZpm segment; б — DWI with high b-value (2500 s/mm<sup>2</sup>). Signal intensity values in the hyperintense lesion (b<sub>1</sub> — 23 a.u.) and in the unaffected peripheral zone (b<sub>2</sub> — 8 a.u.); b<sub>1</sub>/b<sub>2</sub> = 2.7 a.u.; с — ADC map. Signal intensity values in the hypointense lesion (ADC<sub>1</sub> — 342×10<sup>-6</sup> mm<sup>2</sup>/s) and in the unaffected peripheral zone (ADC<sub>2</sub> — 1081×10<sup>-6</sup> mm<sup>2</sup>/s); ADC<sub>2</sub>/ADC<sub>1</sub> = 3.1 a.u.

гическим очаге было проведено измерение интенсивности сигнала на ДВИ с высоким фактором b и на ИКД-карте в патологическом очаге и вне очага, в области наименее измененной ткани ПЖ, с помощью программного обеспечения для просмотра МРТ-изображений (рис. 3 а,б,с).

Количественное измерение интенсивности сигнала в очаге на высоком факторе диффузии (b = 1400–2500 сек/м<sup>2</sup>) проводилось на соответствующем МРТ-протоколе в относительных единицах а.у. (arbitrary units) с помощью инструментов (ROI) программного обеспечения. При этом в каждом случае проводилось измерение интенсивности сигнала в очаге (b<sub>1</sub>) и вне очага, в наиболее неизмененной ткани соответствующей анатомической зоны (b<sub>2</sub>), а также вычисление отношения полученных значений b<sub>1</sub> и b<sub>2</sub>. Установленное значение b<sub>1</sub>/b<sub>2</sub> определяло во сколько раз количественные значения интенсивности сигнала при высоком b-факторе в патологическом очаге ПЖ больше, чем вне патологического очага, в наиболее неизмененной части периферической зоны ПЖ (рис. 3б).

Количественное измерение ИКД проводилось на параметрической ИКД-карте с помощью инструментов (ROI) программного обеспечения в единицах мм<sup>2</sup>/сек. При этом в каждом случае проводилось измерение интенсивности сигнала в очаге (ИКД<sub>1</sub>) и вне очага, в наиболее неизмененной ткани соответствующей анатомической зоны (ИКД<sub>2</sub>), после чего

выполнялось вычисление отношения ИКД<sub>2</sub> и ИКД<sub>1</sub>, полученное значение ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub> показывало во сколько раз полученные значения ИКД вне патологического очага, больше, чем в патологическом очаге ПЖ (рис. 3с).

Статистический анализ показал, что значения b<sub>1</sub> в очаге при верифицированном раке ПЖ значительно отличались от значений b<sub>1</sub> у пациентов с установленными доброкачественными изменениями (p = 0,0020), показатель отношения b<sub>1</sub>/b<sub>2</sub> в исследовании варьировал от 1,03 до 4,00 а.у. со средним значением 1,83 а.у. Среднее значение отношения b<sub>1</sub>/b<sub>2</sub> у пациентов без рака составляло 1,32 а.у., с раком — 1,97 а.у. Значение отношения b<sub>1</sub>/b<sub>2</sub> значительно различались (p < 0,0001) у пациентов с наличием аденокарциномы ПЖ и с доброкачественными изменениями (рис. 4).

Показатель отношения ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub> в исследовании варьировал от 1,41 до 10,53 а.у. с медианным значением 2,56 а.у. Медианное значение отношения ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub> у пациентов без рака составляло 2,06 а.у., с раком — 2,69 а.у. Значения отношения ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub> значительно различались (p = 0,0007) у пациентов с наличием рака ПЖ и с доброкачественными изменениями (рис. 5).

Таким образом, статистический анализ показал, что отношения b<sub>1</sub>/b<sub>2</sub> и ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub> значительно отличаются у пациентов с верифицированным раком ПЖ и с доброкачественными изменениями.

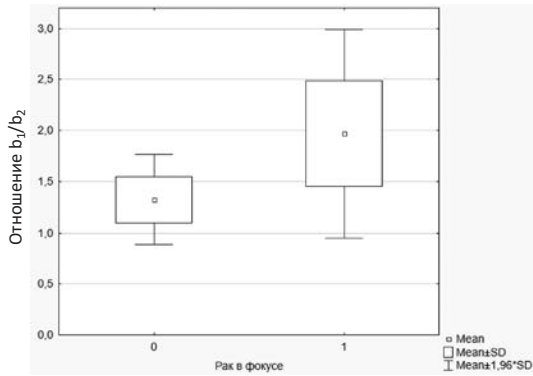


Рис. 4. Распределение показателя отношение  $b_1/b_2$  по группам без рака (0) и с раком ПЖ (1) в очаге  
Fig. 4. Distribution of the  $b_1/b_2$  ratio between groups without cancer (0) and with prostate cancer (1) in the lesion

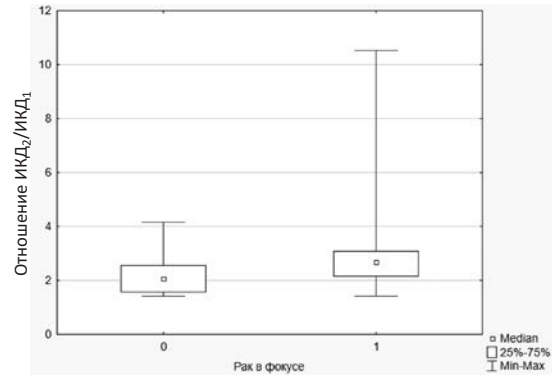


Рис. 5. Распределения показателя отношения  $ИКД_2/ИКД_1$  по группам без рака (0) и с раком в очаге (1)  
Fig. 5. Distribution of the  $ADC_2/ADC_1$  ratio between groups without cancer (0) and with cancer in the lesion (1)

Таблица 3. Результаты ROC-анализа отношений  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$   
Results of ROC analysis for  $b_1/b_2$  and  $ADC_2/ADC_1$  ratios

Тестовые переменные	Значение оптимального порога отсека	Чувствительность, %	Специфичность, %	AUC площадь под ROC-кривой	p	ДИ 95 % для AUC	
						Нижняя граница	Верхняя граница
Отношение $b_1/b_2$	<b>1,561</b>	81,7 %	91,3 %	<b>0,898</b>	<0,0001	0,830	0,966
Отношение $ИКД_2/ИКД_1$	<b>2,656</b>	52,4 %	82,6 %	<b>0,734</b>	=0,001	0,616	0,851

С помощью ROC-анализа были определены пороговые значения для отношений  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$ , а также определены чувствительность и специфичность этих значений (табл. 3).

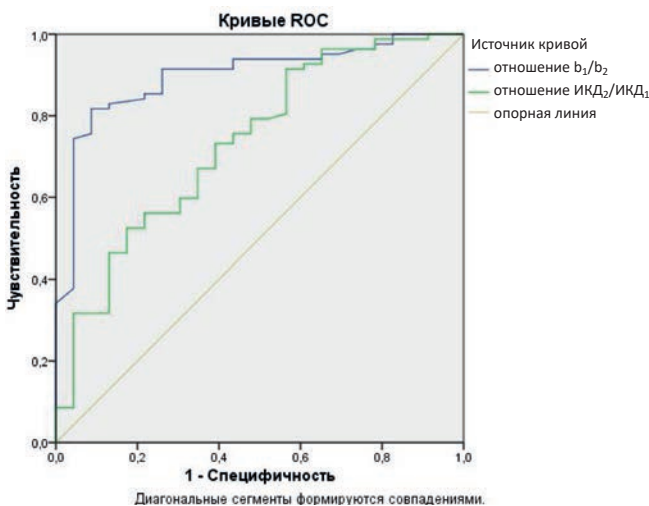


Рис. 6. ROC-кривые показателей отношений  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$   
Fig. 6. ROC curves for  $b_1/b_2$  and  $ADC_2/ADC_1$  ratios

Как видно из таблицы, значение порога отсека отношения  $b_1/b_2$  составляет 1,56 а.е., для отношения  $ИКД_2/ИКД_1$  — 2,65 а.е. Прогностическое качество показателя отношение  $b_1/b_2$  можно определить, как «очень хорошее» (площадь под кривой в диапазоне от 0,8 до 0,9 единиц), показателя отношение  $ИКД_2/ИКД_1$  — как «хорошее» (площадь под кривой в диапазоне от 0,7 до 0,8 единиц) (рис. 6).

Таким образом, в ходе исследования установлено, что оба показателя  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$  являются значимыми предикторами рака ПЖ ( $p < 0,0001$  и  $p = 0,001$  соответственно), при этом прогностическое качество показателя отношение  $b_1/b_2$  выше, как и значения чувствительности и специфичности, соответствующие его оптимальному значению.

Показатели отношений  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$  были проанализированы для случаев очаговых изменений категории PI-RADS4 и PI-RADS3.

Результаты ROC анализа отношений  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$  при изменениях категории PI-RADS4 представлены в табл. 4.

При очаговых изменениях ПЖ категории PI-RADS 4 для значения порога отсека отноше-

Таблица 4. Результаты ROC-анализа для очагов категории PI-RADS 4  
Results of ROC analysis for PI-RADS 4 lesions

Тестовые переменные	Значение оптимального порога отсека	Чувствительность, %	Специфичность, %	AUC-площадь под ROC-кривой	p	ДИ 95 % для AUC	
						Нижняя граница	Верхняя граница
Отношение $b_1/b_2$	1,573	87,1 %	85,7 %	0,867	0,001	0,717	1,000
Отношение $ИКД_2/ИКД_1$	2,201	81,4 %	85,7 %	0,794	0,011	0,573	1,000

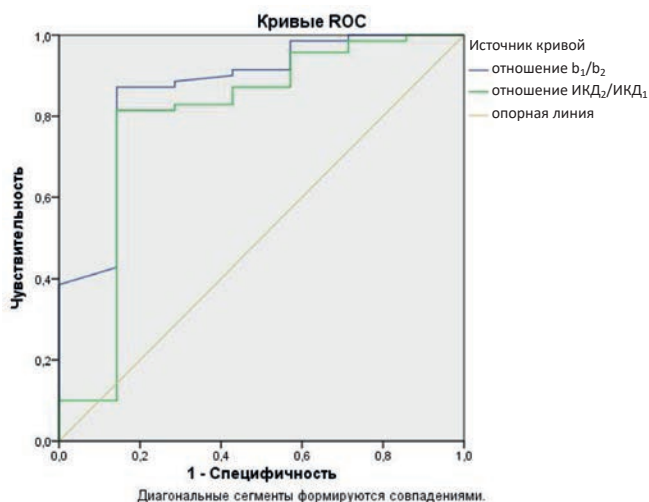


Рис. 7. ROC-кривые показателей отношений  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$  для категории PI-RADS4

Fig. 7. ROC curves for  $b_1/b_2$  and  $ADC_2/ADC_1$  ratios in PI-RADS 4 lesions

ния  $b_1/b_2 = 1,57$  а.у. в прогнозировании рака ПЖ была достигнута чувствительность 87,1 % и специфичность 85,7 %, а для значения порога отсечения отношения  $ИКД_2/ИКД_1 = 2,2$  а.у. чувствительность составила 81,4 %, специфичность — 85,7 %.

Таким образом установлено, что для категории PI-RADS 4 оба значения отношений  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$  являются значимыми предикторами наличия рака в фокусе ( $p = 0,001$  и  $p = 0,011$  соответственно),

при этом прогностическое качество показателя отношения  $b_1/b_2$  выше, как и значения чувствительности и специфичности, соответствующие его оптимальному значению (рис. 7).

В данном исследовании значения отношений  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$  были значимы как для изменений в периферических зонах ПЖ, так и для изменений в транзитной зоне (рис. 8).

При анализе отношений  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$  при изменениях категории PI-RADS3 среднее значение отношения  $b_1/b_2$  у пациентов без рака составляло 1,26 а.у., с раком — 1,48 а.у., среднее значение отношения  $ИКД_2/ИКД_1$  у пациентов без рака составляло 2,09 а.у., с раком — 2,14 а.у. Таким образом, показатели отношения  $b_1/b_2$  и  $ИКД_2/ИКД_1$  не являются значимыми предикторами рака ( $p = 0,109$  и  $p = 0,981$  соответственно).

Динамическое контрастирование было выполнено в 36 случаях (34,2 %) из 105 выполненных МРТ исследований. Решение о необходимости проведения динамического контрастирования принимал врач-рентгенолог непосредственно во время выполнения МРТ-исследования ПЖ после просмотра и анализа протоколов  $T_2$  ВИ высокого разрешения, а также оценки изменений на диффузионно-взвешенных изображениях. Динамическое контрастирование проводилось с целью уточнения категории выявленного патологического очага в ПЖ, а также с целью уточнения локализации гиперваскуляризи-

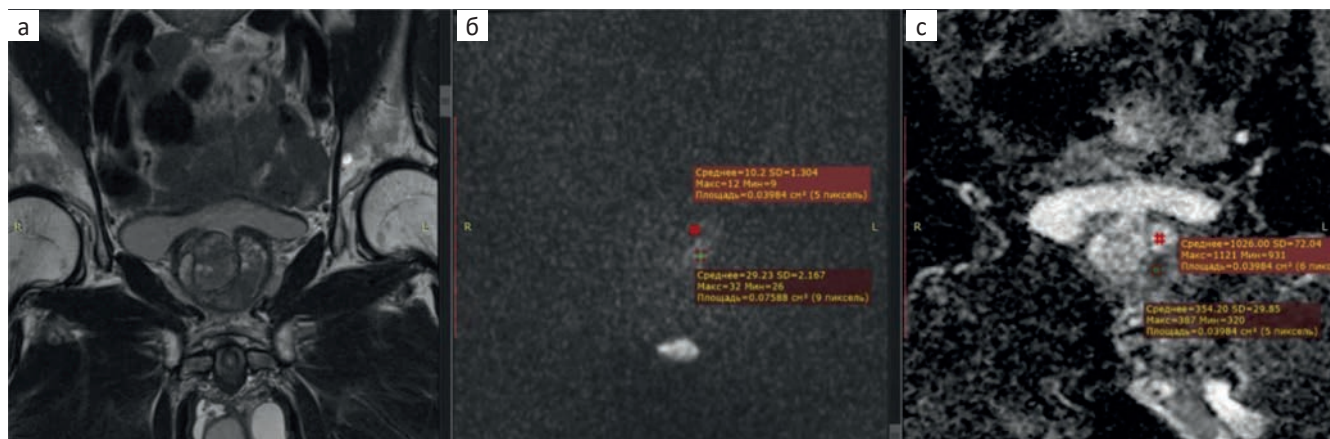


Рис. 8. МРТ предстательной железы, очаг категории PI-RADS4 в транзитной зоне слева, верифицирован рак ПЖ Глисон 7 (3+4). а —  $T_2$  ВИ высокого разрешения в корональной плоскости. На фоне узлов гиперплазии в транзитной зоне слева в сегменте TZp визуализируется участок умеренно пониженного сигнала на  $T_2$  ВИ с размытыми контурами; б — ДВИ с высоким фактором  $b$  ( $2500 \text{ с/мм}^2$ ). Значения интенсивности сигнала в участке повышенного сигнала ( $b_1 = 29$  а.у.) и в наименее измененной ткани транзитной зоны ( $b_2 = 10$  а.у.),  $b_1/b_2 = 2,9$  а.у.; в — ИКД-карта. Значение интенсивности сигнала в участке пониженного сигнала ( $ИКД_1 = 354 \times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$ ) и в наименее измененной ткани транзитной зоны ( $ИКД_2 = 1026 \times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$ ),  $ИКД_2/ИКД_1 = 2,9$  а.у.

Fig. 8. MRI of the prostate gland, a PI-RADS4 lesion in the left transition zone, verified prostate cancer Gleason 7 (3+4). а — High-resolution coronal  $T_2$ WI. Against a background of nodular hyperplasia in the left transition zone (TZp), a moderately hypointense area with blurred margins is visualized; б — DWI with high  $b$ -value ( $2500 \text{ s/mm}^2$ ). Signal intensity values in the hyperintense lesion ( $b_1 = 29$  a.u.) and in the least altered transition zone tissue ( $b_2 = 10$  a.u.);  $b_1/b_2 = 2.9$  a.u.; в — ADC map. Signal intensity values in the hypointense lesion ( $ADC_1 = 354 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ) and in the least altered transition zone tissue ( $ADC_2 = 1026 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ );  $ADC_2/ADC_1 = 2.9$  a.u.

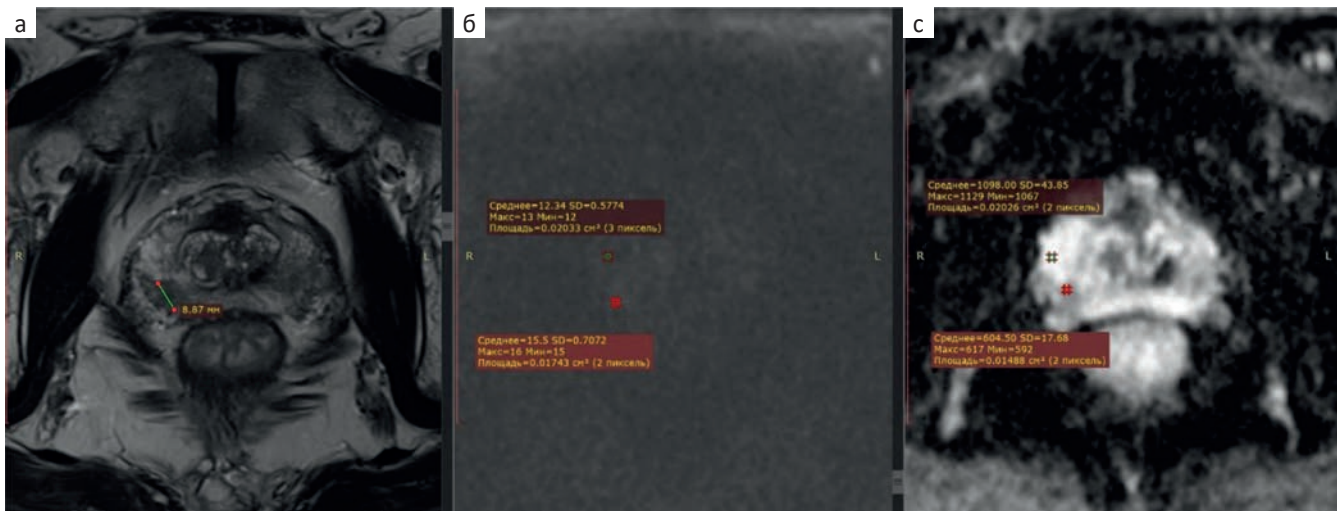


Рис. 9. МРТ предстательной железы, очаг категории PI-RADS 3 в периферической зоне справа.

а —  $T_2$  ВИ высокого разрешения в аксиальной плоскости. На фоне неоднородного диффузного снижения MR сигнала от периферических зон в сегменте PZpl визуализируется участок пониженного сигнала на  $T_2$  ВИ с нечеткими контурами; б — ДВИ с высоким фактором  $b$  ( $2500 \text{ с/мм}^2$ ). Значения интенсивности сигнала в участке слабо повышенного сигнала ( $b_1$  — 15 а.у.) и в неизменном участке периферической зон ( $b_2$  — 12 а.у.),  $b_1/b_2$  — 1,2 а.у.; в — ИКД-карта. Значение интенсивности сигнала в участке пониженного сигнала (ИКД<sub>1</sub> —  $604 \times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$ ) и в неизменном участке периферической зоны (ИКД<sub>2</sub> —  $1098 \times 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$ ), ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub> — 1,8 а.у.

Fig. 9. Prostate MRI: PI-RADS 3 lesion in the right peripheral zone. а — High-resolution axial  $T_2$ WI. Against a background of diffuse heterogeneous signal reduction in the peripheral zones, a hypointense area with indistinct margins is visualized in the PZpl segment; б — DWI with high  $b$ -value ( $2500 \text{ s/mm}^2$ ). Signal intensity values in the mildly hyperintense lesion ( $b_1$  — 15 a.u.) and in the unaffected peripheral zone ( $b_2$  — 12 a.u.);  $b_1/b_2$  = 1.2 a.u.; в — ADC map. Signal intensity values in the hypointense lesion ( $ADC_1$  —  $604 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ) and in the unaffected peripheral zone ( $ADC_2$  —  $1098 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ );  $ADC_2/ADC_1$  = 1.8 a.u.

рованной зоны для таргетной стереотаксической МР направленной биопсии ПЖ.

При анализе протоколов динамического контрастирования проводилась оценка всех полученных постконтрастных последовательностей на предмет наличия участков раннего контрастирования в периферических зонах ПЖ, а также построение кинетических кривых в выявленных участках раннего контрастирования, которые по локализации и размерам совпадали с очагами категории PI-RADS 3 и PI-RADS4, установленными на протоколах  $T_2$  ВИ и ДВИ.

Распределение очагов категории PI-RADS 3, PI-RADS4 и типа кинетической кривой представлено в табл. 5.

Таким образом, для очаговых изменений категории PI-RADS4, установленным по данным  $T_2$  ВИ и ДВИ, в 77,8 % случаев были получены кинетические кривые 3, при этом в 20 случаях (95 %) был верифицирован рак ПЖ по результатам таргетной стереотаксической МР-направленной биопсии ПЖ. Полученные данные подтверждают представление о наличии неангиогенеза в опухолевом очаге ПЖ, что соответствует литературным источникам [30].

В группе очаговых изменений категории PI-RADS 3, установленным по данным  $T_2$  ВИ и ДВИ,

Таблица 5. Соответствие типа кинетической кривой динамического контрастирования и очаговым изменениям категорий PI-RADS3, PI-RADS4  
Correlation between kinetic curve type on dynamic contrast-enhanced imaging and focal lesions classified as PI-RADS 3 or PI-RADS 4

Тип кривой ДК	PI-RADS3		PI-RADS4		Всего
	частота	% в группе	частота	% в группе	
Кривая 1 типа	4	44,4	0	0	4
Кривая 2 типа	5	55	6	22,2	12
Кривая 3 типа	0	0	21	77,8	22
Всего	9	100	27	100	36

не наблюдалось выраженного раннего контрастирования в выявленном очаге, кинетические кривые соответствовали 1 и 2 типу, при этом в 33 % (3 случаях) установлен рак ПЖ.

Результаты полученных данных при динамическом контрастировании в нашем исследовании не определяли показания к выполнению стереотаксической МР направленной биопсии, но помогли уточнить категории PI-RADS и более четко локализовать участок для таргетной биопсии.

## Обсуждение

Система оценки результатов МРТ-исследования PI-RADS v2.1 является общепризнанным руководящим документом для анализа МРТ-изображений ПЖ, как в зарубежных странах, так и в России [4, 6–8, 16–20]. Четко прописанный набор протоколов МРТ исследования ПЖ, параметры сканирования, определяющие необходимый уровень визуализации для оценки изображений, помогают стандартизировать как само МРТ-исследование ПЖ, так и его анализ.

Тем не менее, авторы системы PI-RADS отмечают наличие определенных ограничений, которые связаны прежде всего с большим разнообразием МР-томографов с различными техническими характеристиками, которые затрудняют унификацию этого исследования [19, 20].

С момента появления диффузионно-взвешенных изображений в арсенале протоколов МРТ, многие ученые изучали возможности этой последовательности в выявлении рака ПЖ. Многочисленные исследования установили, что в опухоли значения ИКД значительно ниже, чем в нормальной ткани. Также проведенные мета-анализы клинических исследований установили дополнительную ценность ДВИ последовательности в сочетании с  $T_2$  ВИ [22, 31–35].

Однако в рекомендациях PI-RADS v2.1 в качестве основного метода оценки протоколов ДВИ установлена именно визуальная качественная оценка интенсивности сигнала [25, 26]. Такой подход к определению выраженности сигнальных характеристик при высоком факторе  $b$  и на ИКД-картах требует большого опыта врача-рентгенолога, а значит является операторозависимым методом, определяющим соответствие выявленных патологических изменений в ПЖ категориям PI-RADS и определяющим показания к биопсии ПЖ.

В проведенном исследовании МРТ ПЖ выполнялись на разных томографах, измерения интенсивности сигналов на ДВИ и ИКД-карте в патологически очаге ПЖ были выполнены с помощью различных программ для просмотра МРТ-изображений. Для унификации измерений были выбраны не абсолютные значения интенсивности сигналов на ДВИ с высоким фактором  $b$  и на ИКД-карте в очаге, а их выраженность по отношению к фоновому сигналу — наименее измененной ткани ПЖ. Таким образом, установлены количественные соотношения между интенсивностью сигнала в патологическом очаге при высоком факторе диффузии и наименее измененной тканью в той же анатомической зоне (отношение  $b_1/b_2$ ), а также количественные соотношения между значениями ИКД в очаге и в наименее измененной ткани той же

анатомической зоны (ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub>). Анализ результатов исследования показал, что установленные пороговые значения  $b_1/b_2$  — 1,57 а.е. и ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub> — 2,2 а.е. являются значимыми предикторами рака ПЖ, с достаточно высокими значениями чувствительности и специфичности.

Выявленные отношения  $b_1/b_2$  и ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub> отражают степень выраженности ограничения диффузии в участке патологического сигнала и могут позволить более объективно определять принадлежность патологического очага к категориям PI-RADS 3 и PI-RADS 4, которые сложны для дифференциальной диагностики из-за их небольших размеров и нечеткой градации степени изменения интенсивности сигнала.

В рекомендациях PI-RADS v2.1 отдельное внимание уделено применению бипараметрического МРТ исследования [13, 20], при этом отмечено, что при определенных условиях, применение данного вида МРТ-исследований ПЖ делает его более доступным, благодаря уменьшению времени сканирования и удешевлению исследования за счет исключения применения инжектора и контрастного средства. Также МРТ-исследование без использования контрастного средства является более безопасным, благодаря отсутствию нежелательных явлений на введение контрастного препарата. В рекомендациях PI-RADS v2.1 также указано, что требуется дальнейшее изучение применения бипараметрической МРТ у пациентов с подозрением на рак ПЖ.

В данном ретроспективном анализе было установлено, что выполнение только бипараметрического МРТ исследования с применением протоколов  $T_2$  высокого разрешения в двух плоскостях и серии ДВИ протоколов с высоким фактором диффузии  $b$  1400–2500 было достаточно для определения показаний к биопсии ПЖ в 65,7 % случаев.

Установленные статистически значимые предикторы  $b_1/b_2$  и ИКД<sub>2</sub>/ИКД<sub>1</sub> наличия рака в очаге на серии ДВИ и ИКД-карте позволят уточнить необходимость выполнения бипараметрического или мультипараметрического МРТ исследования ПЖ и определить показания к выполнению биопсии.

## Заключение

Полученные результаты исследования подтверждают высокую диагностическую ценность МРТ-исследования в визуализации очаговых патологических изменений ПЖ у пациентов с клинической картиной, подозрительной на рак.

Анализ случаев верифицированного рака ПЖ и МР семиотики изменений категорий PI-RADS3 и PI-RADS4 позволил установить количественные значения сигнальных характеристик и их отношений на протоколах с высоким фактором диффузии и

на ИКД-картах, характерные для очагов категории PI-RADS3 и PI-RADS4. Измерение количественных отношений МР-сигналов, отражающих выраженность ограничения диффузии в патологическом участке при выполнении МРТ исследований ПЖ, позволит снизить зависимость выявления клинически значимого рака ПЖ от опыта врача-рентгенолога и поможет в уточнении показаний к проведению МРТ-направленной биопсии предстательной железы. Эти показатели требуют дальнейшего изучения для стандартизации и оптимизации диагностического процесса.

### Список литературы/ References

- Каприн АД, Старинский ВВ, Шахзадова АО. Злокачественные новообразования в России в 2023 г. (заболеваемость и смертность) — М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2024. Kaprin AD, Starinskiy VV, Shakhzadova AO. Malignant neoplasms in Russia in 2023 (morbidity and mortality). Moscow, 2024 (In Russ.)
- Prostate cancer. NCCN guideline version 4.2025.
- Клинические рекомендации предстательной железы. 2024. Clinical guidelines for the diagnosis and treatment of prostate cancer. 2024. (In Russ.)
- Носов ДА, Волкова МИ, Гладков ОА и др. Рак предстательной железы. Злокачественные опухоли. 2024;14(3s2-2):242-66. Nosov DA, Volkova MI, Gladkov OA, et al. Prostate cancer. Malignant tumors. 2024;14(3s2-2):242-66 <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2024-14-3s2-1.2-10> (In Russ.)
- Johnson DC, Raman SS, Mirak SA, et al. Detection of Individual Prostate Cancer Foci via Multiparametric Magnetic Resonance Imaging. *European Urology* [Internet]. 2019 May;75(5):712-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eururo.2018.11.031>
- European Association of Urology. EAU Guidelines on Prostate Cancer. 2020.
- Cornford P, van den Bergh RCN, Briers E, et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-ISUP-SIOG Guidelines on Prostate Cancer—2024 Update. Part I: Screening, Diagnosis, and Local Treatment with Curative Intent. *European Urology* [Internet]. 2024 Aug;86(2):148-63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eururo.2024.03.027>
- O'Shea A, Harisinghani M. PI-RADS: multiparametric MRI in prostate cancer. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine* [Internet]. 2022 May 21;35(4):523-32. <http://dx.doi.org/10.1007/s10334-022-01019-1>
- Thompson IM, Pauler DK, Goodman PJ, et al. Prevalence of Prostate Cancer among Men with a Prostate-Specific Antigen Level  $\leq 4.0$  ng per Milliliter. *New England Journal of Medicine* [Internet]. 2004 May 27;350(22):2239-46. <http://dx.doi.org/10.1056/nejmoa031918>.
- Merriell SWD, Pocock L, Gilbert E, et al. Systematic review and meta-analysis of the diagnostic accuracy of prostate-specific antigen (PSA) for the detection of prostate cancer in symptomatic patients. *BMC Medicine* [Internet]. 2022 Feb 7;20(1). <http://dx.doi.org/10.1186/s12916-021-02230-y>
- Smeenge M, Barentsz J, Cosgrove D, et al. Role of transrectal ultrasonography (TRUS) in focal therapy of prostate cancer: report from a Consensus Panel. *BJU International* [Internet]. 2012 Mar 30;110(7):942-8. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1464-410x.2012.11072.x>
- Rouvière O, Puech P, Renard-Penna R, et al. Use of prostate systematic and targeted biopsy on the basis of multiparametric MRI in biopsy-naive patients (MRI-FIRST): a prospective, multicentre, paired diagnostic study. *The Lancet Oncology* [Internet]. 2019 Jan;20(1):100-9. [http://dx.doi.org/10.1016/s1470-2045\(18\)30569-2](http://dx.doi.org/10.1016/s1470-2045(18)30569-2)
- Mannaerts CK, Engelbrecht MRW, Postema AW, et al. Detection of clinically significant prostate cancer in biopsy-naive men: direct comparison of systematic biopsy, multiparametric MRI- and contrast-ultrasound-dispersion imaging-targeted biopsy. *BJU International* [Internet]. 2020 May 13;126(4):481-93. <http://dx.doi.org/10.1111/bju.15093>
- Bratan F, Niaf E, Melodelima C, et al. Influence of imaging and histological factors on prostate cancer detection and localisation on multiparametric MRI: a prospective study. *European Radiology* [Internet]. 2013 Mar 15;23(7):2019-29. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-013-2795-0>
- Borofsky S, George AK, Gaur S, et al. What Are We Missing? False-Negative Cancers at Multiparametric MR Imaging of the Prostate. *Radiology* [Internet]. 2018 Jan;286(1):186-95. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2017152877>
- Turkbey B, Rosenkrantz AB, Haider MA, et al. Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2.1: 2019 Update of Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2. *European Urology* [Internet]. 2019 Sep;76(3):340-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eururo.2019.02.033>
- Jeffrey C, Weinreb, Jelle O. Barentsz, Peter L. Choyke, et al. PI-RADS Prostate Imaging — Reporting and Data System: 2015, Version 2. *Eur Urol* 2016;69:16-40. *European Urology* [Internet]. 2016 Nov;70(5):e136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eururo.2016.04.017>
- Oerther B, Engel H, Bamberg F, et al. Cancer detection rates of the PI-RADSV2.1 assessment categories: systematic review and meta-analysis on lesion level and patient level. *Prostate Cancer and Prostatic Diseases* [Internet]. 2021 Jul 6;25(2):256-63. <http://dx.doi.org/10.1038/s41391-021-00417-1>
- Panda A, Gulani V. Multiparametric MRI of Prostate: Analysis and Recommendations of Prostate Imaging Reporting and Data System (PI-RADS) Version 2.1. *Reading MRI of the Prostate* [Internet]. 2020;25-47. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-99357-7\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-99357-7_4)
- Padhani AR, Weinreb J, Rosenkrantz AB, et al. Prostate Imaging-Reporting and Data System Steering Committee: PI-RADS v2 Status Update and Future Directions. *European Urology* [Internet]. 2019 Mar;75(3):385-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eururo.2018.05.035>
- Nordström T, Adolfsson J, Grönberg H et al. Repeat Prostate-Specific Antigen Tests Before Prostate Biopsy Decisions. *Journal of the National Cancer Institute* [Internet]. 2016 Jul 14;108(12):djw165. <http://dx.doi.org/10.1093/jnci/djw165>
- Akhverdiyeva GI, Panov VO, Tyurin IE, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging in the diagnosis of local recurrence of prostate cancer in patients after radical prostatectomy. *Cancer Urology* [Internet]. 2015 Dec 10;11(4):72. <http://dx.doi.org/10.17650/1726-9776-2015-11-4-72-80>
- Yaxley WJ, Nouhaud FX, Raveenthiran S, et al. Histological findings of totally embedded robot assisted laparoscopic radical prostatectomy (RALP) specimens in 1197 men with a negative (low risk) preoperative multiparametric magnetic resonance imaging (mpMRI) prostate lobe and clinical implications. *Prostate Cancer and Prostatic Diseases* [Internet]. 2020 Sep 30;24(2):398-405. <http://dx.doi.org/10.1038/s41391-020-00289-x>

24. Kim CK. Magnetic Resonance Imaging-Guided Prostate Biopsy: Present and Future. Korean Journal of Radiology [Internet]. 2015;16(1):90. <http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2015.16.1.90>
25. Haffner J, Lemaitre L, Puech P, et al. Role of magnetic resonance imaging before initial biopsy: comparison of magnetic resonance imaging-targeted and systematic biopsy for significant prostate cancer detection. BJU International [Internet]. 2011 Mar 22;108(8b). <http://dx.doi.org/10.1111/j.1464-410x.2011.10112.x>
26. Padhani AR, Barentsz J, Villeirs G, et al. PI-RADS Steering Committee: The PI-RADS Multiparametric MRI and MRI-directed Biopsy Pathway. Radiology [Internet]. 2019 Aug;292(2):464-74. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2019182946>
27. Polascik T, Tan WP. Faculty Opinions recommendation of Use of prostate systematic and targeted biopsy on the basis of multiparametric MRI in biopsy-naive patients (MRI-FIRST): a prospective, multicentre, paired diagnostic study. [Internet]. Faculty Opinions — Post-Publication Peer Review of the Biomedical Literature. H1 Connect; 2019. <http://dx.doi.org/10.3410/f.734489133.793558734>
28. Куплевацкий ВИ, Черкашин МА, Рощин ДА, и др. Биопсия предстательной железы под контролем магнитно-резонансной томографии. Вестник рентгенологии и радиологии. 2016;97(1):48-55.  
Kuplevatsky VI, Cherkashin MA, Roshchin DA, et al. Prostate biopsy under magnetic resonance imaging guidance. Vestnik Rentgenologii i Radiologii. 2016;97(1):48-55. (In Russ.). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2016-97-1-48-55>
29. Ahmed HU, El-Shater Bosaily A, Brown LC, et al. Diagnostic accuracy of multi-parametric MRI and TRUS biopsy in prostate cancer (PROMIS): a paired validating confirmatory study. The Lancet [Internet]. 2017 Feb;389(10071):815-22. [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(16\)32401-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(16)32401-1)
30. Issa B. *In vivo* measurement of the apparent diffusion coefficient in normal and malignant prostatic tissues using echoplanar imaging. Journal of Magnetic Resonance Imaging [Internet]. 2002 Jul 23;16(2):196-200. <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.10139>
31. Sato C, Naganawa S, Nakamura T, et al. Differentiation of non-cancerous tissue and cancer lesions by apparent diffusion coefficient values in transition and peripheral zones of the prostate. Journal of Magnetic Resonance Imaging [Internet]. 2005 Feb 18;21(3):258-62. <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.20251>
32. Tamada T, Sone T, Jo Y, et al. Apparent diffusion coefficient values in peripheral and transition zones of the prostate: Comparison between normal and malignant prostatic tissues and correlation with histologic grade. Journal of Magnetic Resonance Imaging [Internet]. 2008 Sep;28(3):720-6. <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.21503>
33. Wu LM, Xu JR, Ye YQ, et al. The Clinical Value of Diffusion-Weighted Imaging in Combination With T2-Weighted Imaging in Diagnosing Prostate Carcinoma: A Systematic Review and Meta-Analysis. American Journal of Roentgenology [Internet]. 2012 Jul;199(1):103-10. <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.11.7634>
34. Jie C, Rongbo L, Ping T. The value of diffusion-weighted imaging in the detection of prostate cancer: a meta-analysis. European Radiology [Internet]. 2014 May 28;24(8):1929-41. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-014-3201-2>
35. Oto A, Kayhan A, Jiang Y, et al. Prostate Cancer: Differentiation of Central Gland Cancer from Benign Prostatic Hyperplasia by Using Diffusion-weighted and Dynamic Contrast-enhanced MR Imaging. Radiology [Internet]. 2010 Dec;257(3):715-23. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.10100021>

#### Вклад авторов

Куплевацкая Д.И., Трофимова Т.Н.: разработка концепции и плана исследования, обзор публикаций по теме статьи  
Куплевацкая Д.И., Куплевацкий В.И., Березина Н.А., Черкашин М.А.: сбор и анализ данных  
Куплевацкая Д.И., Сурнин Н.В.: редактирование статьи

#### Authors' contributions

Daria I. Kuplevatskaya, Tatyana N. Trofimova development of a research concept and plan, review of publications on the topic of the article

Daria I. Kuplevatskaya, Vladimir I. Kuplevatsky, Natalia A. Berezina, Mikhail A. Cherkashin: data collection and analysis

Daria I. Kuplevatskaya Nikita V. Surnin: editing of the article

#### Information about the authors

Daria I. Kuplevatskaya: <https://orcid.org/0000-0002-3395-7269>

Tatyana N. Trofimova: <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>

Vladimir I. Kuplevatsky: <https://orcid.org/0000-0001-9753-1913>

Nikita V. Surnin: <https://orcid.org/0009-0001-9621-3822>

Natalia A. Berezina: <https://orcid.org/0000-0001-9772-4387>

Mikhail A. Cherkashin: <https://orcid.org/0000-0002-5113-9569>

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.

Тип статьи: Оригинальная статья.

Поступила: 29.09.2025.

Принята к публикации: 24.11.2025.

Опубликована online: 26.12.2025.

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.

Article type: Original article.

Received: 29.09.2025.

Accepted for publication: 24.11.2025.

Published online: 26.12.2025.