

Рак предстательной железы. Перспективы применения количественной магнитно-резонансной томографии

Л.Р. Абуладзе, Д.С. Семенов, М.Д. Варюхина

ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 127051 Москва, ул. Петровка, 24, стр. 1

Контакты: Лия Руслановна Абуладзе drliaabuladze@gmail.com

Введение. Рак предстательной железы занимает 2-е место в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями среди мужского взрослого населения. Магнитно-резонансная томография (МРТ) – метод выбора в лучевой диагностике данного заболевания, который позволяет неинвазивно оценить предстательную железу. В настоящее время активно применяется система PI-RADS (Prostate Imaging Reporting and Data System), однако оценка по ней является субъективной, иными словами «на глаз», поэтому возможность дополнения качественного анализа количественным следует расценивать как отличную перспективу.

Цель исследования – выявить корреляции между значениями измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) и баллом по системе PI-RADS, что может позволить уйти от субъективизации в оценке результатов МРТ предстательной железы независимо от опыта врача-рентгенолога.

Материалы и методы. В пилотном ретроспективном исследовании проанализированы данные МРТ 28 пациентов с верифицированным раком предстательной железы за период 2020–2022 гг.

Результаты. Сумма баллов по системе PI-RADS продемонстрировала сильную статистически значимую отрицательную связь со средним ИКД ($r = -0,85$; $p < 0,001$) и минимальным ИКД ($r = -0,82$; $p < 0,001$). Связь балла по PI-RADS с уровнем простатического специфического антигена не продемонстрировала статистической значимости ($p = 0,162$). Общая регрессия была статистически значимой ($R^2 = 0,73$; $F(4,13) = 8,799$; $p = 0,001$). Обнаружено, что балл по PI-RADS значимо зависит от среднего ИКД ($p < 0,001$) и уровня простатического специфического антигена ($p = 0,013$). Также были построены модели линейной регрессии для предсказания балла по шкале Глисона, которые, однако, на имеющемся наборе данных не продемонстрировали статистической значимости, что может быть объяснено ограниченным количеством наблюдений.

Заключение. Применение количественной МРТ в диагностике рака предстательной железы представляется достаточно перспективным методом, позволяющим объективизировать оценку по системе PI-RADS, что в перспективе может снизить количество необоснованных биопсий. Ключевым моментом, не позволяющим внедрять количественную МРТ повсеместно в настоящее время, является тот факт, что на значения ИКД влияет огромное количество внешних параметров и показатели ИКД могут сильно различаться при использовании разных аппаратов. Поэтому в перспективе стандартизация протокола сканирования предстательной железы с оптимальным выбором b-фактора и минимизация факторов, влияющих на измерение ИКД, могут позволить обеспечить более надежные сравнительные метрики.

Ключевые слова: рак предстательной железы, магнитно-резонансная томография, количественная магнитно-резонансная томография, стандартизация

Для цитирования: Абуладзе Л.Р., Семенов Д.С., Варюхина М.Д. Рак предстательной железы. Перспективы применения количественной магнитно-резонансной томографии. Онкоурология 2025;21(1):50–8.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2025-21-1-50-58>

Prostate cancer. Future of using quantitative magnetic resonance imaging

L.R. Abuladze, D.S. Semenov, M.D. Varyukhina

Scientific and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department; Build. 1, 24 Petrovka St., Moscow 127051, Russia

Contacts: Liya Ruslanovna Abuladze drliaabuladze@gmail.com

Background. Prostate cancer is the 2nd most common malignant neoplasms among adult males. Magnetic resonance imaging (MRI) is the method of choice in radiological diagnostics of this disease allowing to noninvasively evaluate the prostate. Currently, the PI-RADS (Prostate Imaging Reporting and Data System) system is widely used. However, its assessment is subjective, or “by eye”, therefore the possibility of enhancing qualitative analysis with quantitative should be considered an excellent prospect.

Aim. To determine correlations between the apparent diffusion coefficient (ADC) and PI-RADS score which will allow to move from subjectivity in evaluation of prostate MRI results and make them independent of radiologists’ experience.

Materials and methods. The pilot retrospective study included MRI data of 28 patients with verified prostate cancer from the period between 2020 and 2022.

Results. Total PI-RADS score showed strong statistically significant negative correlation with mean ADC ($r = -0.85$; $p < 0.001$) and minimum ADC ($r = -0.82$; $p < 0.001$). PI-RADS score correlation with prostate-specific antigen level did not show statistical significance ($p = 0.162$). Total regression was statistically significant ($R^2 = 0.73$; $F(4, 13) = 8.799$; $p = 0.001$). It was found that PI-RADS score depended on mean ADC ($p < 0.001$) and prostate-specific antigen level ($p = 0.013$). Additionally, linear regression models were developed to predict Gleason score but with the current dataset they did not show statistical significance, possibly due to the small sample size.

Conclusion. The use of quantitative MRI in diagnosis of prostate cancer is a promising method which allows to objectivate PI-RADS score and to decrease the number of unjustified biopsies in the future. The key reason why quantitative MRI cannot be widely implemented is that ADC values are affected by a large number of external parameters, and ADC values can significantly vary in different devices. Therefore, in the future standardization of the prostate scanning protocol with optimal selection of b-value and minimization of factors affecting ADC measurement will allow to achieve more reliable comparative metrics.

Keywords: prostate cancer, magnetic resonance imaging, quantitative magnetic resonance imaging, standardization

For citation: Abuladze L.R., Semenov D.S., Varyukhina M.D. Prostate cancer. Future of using quantitative magnetic resonance imaging. *Onkourologiya = Cancer Urology* 2025;21(1):50–8. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2025-21-1-50-58>

Введение

Рак предстательной железы (РПЖ) занимает 2-е место в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями среди мужского взрослого населения, 4-е место — среди населения обоих полов [1]. Несмотря на постоянную трансформацию различных методов диагностики РПЖ — от лабораторных до лучевых, — заболеваемость в России остается высокой: на конец 2021 г. РПЖ занимал 2-е место в структуре общей онкологической заболеваемости мужского населения после рака бронхолегочной системы и составлял около 15 %. Интересно, что за период с 2011 по 2021 г. количество впервые выявленных случаев увеличилось практически в 1,5 раза (с 28 552 до 40 137) [2].

На сегодняшний день «золотым стандартом» верификации диагноза остается морфологическая оценка по шкале Глисона, которая впервые была введена еще в 1974 г. [3]. С ее помощью оценивают архитектуру или расположение злокачественных клеток в структуре опухоли, а также степень дифференцировки, однако любая интервенция, особенно необоснованная, может иметь ряд отрицательных последствий [4].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) — метод выбора в лучевой диагностике РПЖ, который позволяет визуализировать наружные контуры предстательной железы, а также проследить ее зональную анатомию. В настоящее время активно применяется система PI-RADS (Prostate Imaging Reporting and Data

System) [5], однако оценка по ней является субъективной на этапе анализа интенсивности сигнала, иными словами «на глаз». Также есть прямая взаимосвязь между опытом врача-рентгенолога и финальной оценкой. Поэтому дополнение качественного анализа количественным в оценке РПЖ можно расценивать как отличную перспективу, а впоследствии рассматривать как возможность проведения неинвазивной биопсии.

Цель исследования — выявить корреляции между значениями измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) и баллом по системе PI-RADS, что может позволить уйти от субъективизации в оценке результатов МРТ предстательной железы независимо от опыта врача-рентгенолога.

Материалы и методы

В ретроспективное исследование из Единого радиологического информационного сервиса (ЕРИС) Единой медицинской информационно-аналитической системы (ЕМИАС) по ключевым словам: «магнитно-резонансная томография органов малого таза с контрастным усилением», «мультипараметрическая магнитно-резонансная томография предстательной железы», «магнитно-резонансная томография органов малого таза», «бипараметрическая магнитно-резонансная томография предстательной железы» отбирали данные за период 2020–2022 гг.

Критерии включения в исследование: мужчины старше 18 лет, наличие данных МРТ органов малого таза/предстательной железы с внутривенным контрастным усилением, морфологической верификации диагноза РПЖ с оценкой по шкале Глисона, данных об уровне простатического специфического антигена (ПСА). Критерии исключения: неудовлетворительное качество магнитно-резонансных (МР) изображений, наличие артефактов, не позволяющих адекватно оценить МР-изображение.

На основании критериев отбора в исследование вошли 28 пациентов.

Врач-рентгенолог, не будучи осведомленным о результатах биопсии, проводил оценку изменений периферической зоны предстательной железы по системе PI-RADS, показателей ИКД (среднего, минимального) путем выбора области зоны интереса.

Из информационно-аналитической системы «Канцер-регистр» извлекали данные об уровне ПСА, возрасте пациентов на момент исследования, а также результаты морфологической верификации.

Применяли методы описательной статистики, включая табличное и графическое представление агрегирования данных, проводили оценку взаимосвязи между показателями с помощью расчета коэффициента корреляции Спирмена. Были построены модели линейной регрессии для определения балла по системе PI-RADS и балла по шкале Глисона методом наименьших квадратов. Использовали уровень значимости p , коэффициент регрессии и коэффициент детерминации для оценки полученной модели.

Результаты

Средний возраст пациентов составил $66 \pm 8,2$ года.

Данные гистологического исследования были доступны у 23 (82,1 %) пациентов, из них аденокарцинома предстательной железы была верифицирована в биоптате у 18 (64,3 %) больных. Медиана степени дифференцировки опухоли по шкале Глисона составила 7 [7; 8] баллов. На рис. 1 представлено распределение пациентов

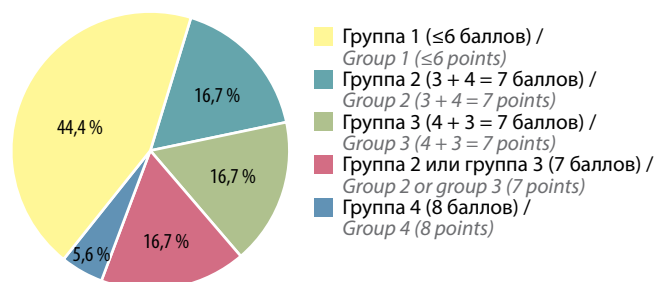


Рис. 1. Распределение пациентов с аденокарциномой предстательной железы по прогностическим группам в зависимости от балла по шкале Глисона ($n = 18$)

Fig. 1. Distribution of the patients with prostatic adenocarcinoma per prognostic groups depending on Gleason score ($n = 18$)

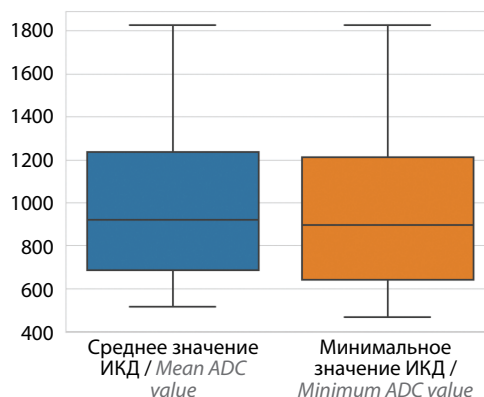


Рис. 2. Диаграммы размаха для среднего и минимального значений измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) в исследуемой группе ($n = 28$)
Fig. 2. Box and whiskers plot for mean and minimum values of apparent diffusion coefficient (ADC) in the studied group ($n = 28$)

с аденокарциномой по прогностическим группам согласно полученной оценке по шкале Глисона.

Информация об уровне ПСА была доступна у 25 (89,3 %) пациентов: медианное значение концентрации ПСА составило 7,0 [5,41; 12,86] нг/мл.

Медиана среднего значения ИКД в исследуемой группе равнялась 918,5 [679; 1236,5], медиана минимального значения ИКД — 893 [629,5; 1214]. Распределение среднего и минимального ИКД представлено на рис. 2.

Медианная оценка по системе PI-RADS в исследуемой группе составила 3,5 [2,5; 4,5] балла. Значение оценки по PI-RADS колебалось от 2 до 5 баллов, при этом каждой категории принадлежало равное число пациентов ($n = 7$). Распределение баллов по системе PI-RADS отражено на рис. 3.

При статистическом анализе для выявления взаимосвязи между переменными была построена корреляционная матрица признаков (рис. 4).

Количество баллов по PI-RADS продемонстрировало сильную статистически значимую отрицательную связь со средним ИКД ($r = -0,85$; $p < 0,001$) и минимальным

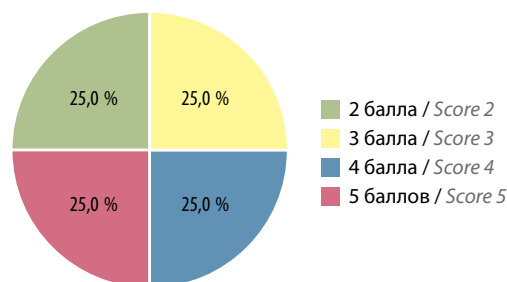


Рис. 3. Распределение баллов по системе PI-RADS в исследуемой группе ($n = 28$)

Fig. 3. Distribution of PI-RADS scores in the studied group ($n = 28$)

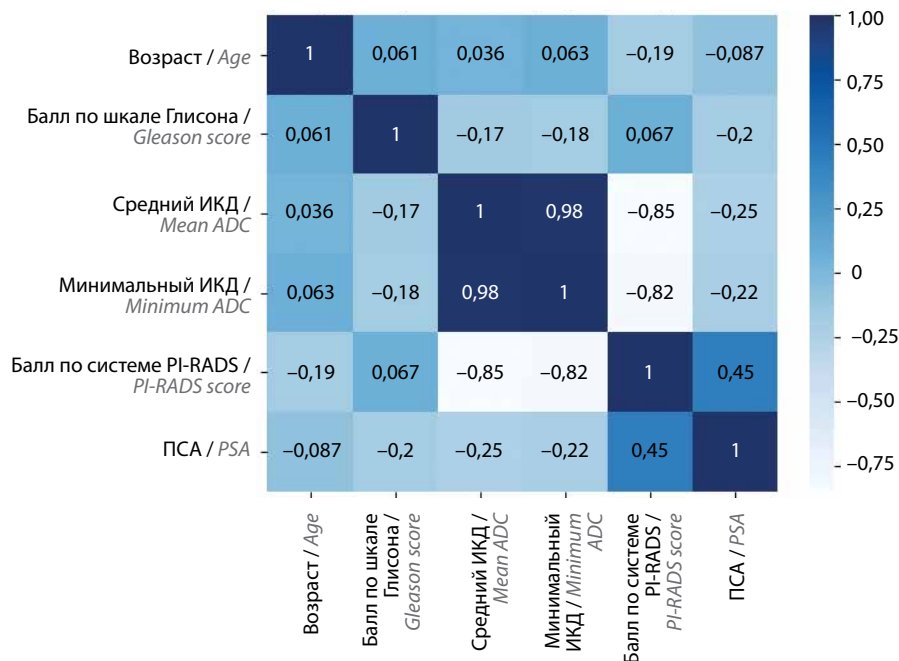


Рис. 4. Корреляционная матрица исследования. Выявлена статистически значимая отрицательная взаимосвязь между оценкой по системе PI-RADS и значениями измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). ПСА — простатический специфический антиген
Fig. 4. Correlation matrix of the study. Statistically significant negative correlation between PI-RADS score and apparent diffusion coefficient (ADC) values was found. PSA — prostate-specific antigen

ИКД ($r = -0,82$; $p < 0,001$). Связь балла PI-RADS с уровнем ПСА не продемонстрировала статистической значимости ($p = 0,162$). Графики корреляционной зависимости среднего и минимального значений ИКД отражены на рис. 5.

Множественная линейная регрессия использовалась для проверки, насколько показатели возраста, оценка по шкале Глисона, уровень ПСА, а также сред-

ний или минимальный ИКД способны предсказывать балл по системе PI-RADS. Подобранный регрессионная модель с наилучшими метриками была следующей:

$$\text{Балл PI-RADS} = 7,185 - 0,01 \times (\text{возраст, лет}) - 0,06 \times (\text{балл по шкале Глисона}) - 0,003 \times \text{средний ИКД} + 0,013 \times (\text{ПСА, нг/мл}).$$

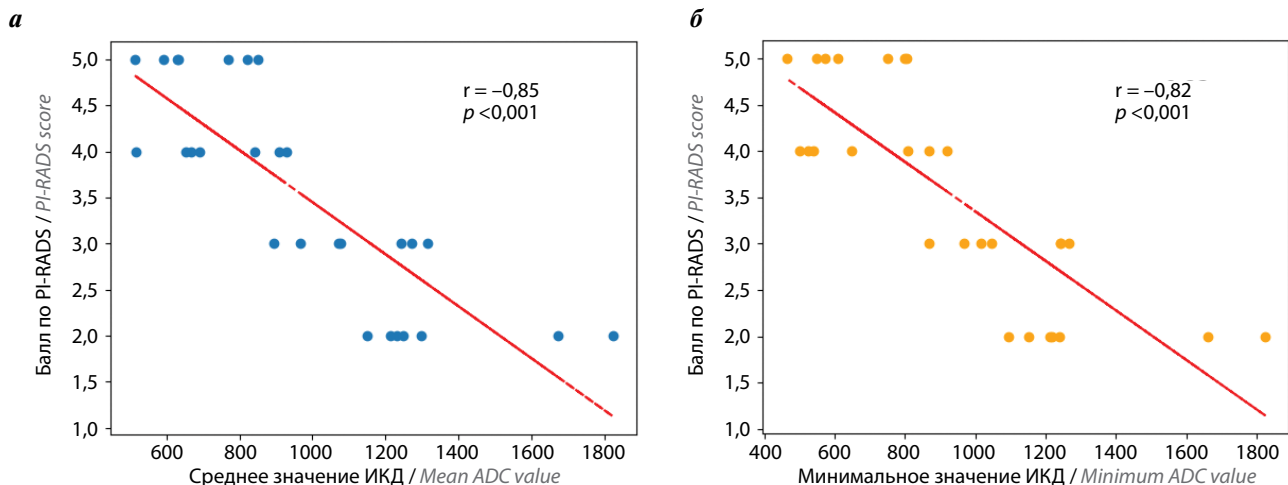


Рис. 5. Диаграммы рассеяния для корреляций среднего (а) и минимального (б) измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) с баллом по системе PI-RADS. Для обоих показателей ИКД отмечена сильная отрицательная связь с баллом по PI-RADS
Fig. 5. Scatter plots for correlations between mean (a) and minimum (b) apparent diffusion coefficient (ADC) and PI-RADS score. For both ADC values, strong negative correlation with PI-RADS score was observed

Общая регрессия была статистически значимой ($R^2 = 0,73$; $F(4, 13) = 8,799$; $p = 0,001$). Было обнаружено, что балл по PI-RADS значимо зависит от среднего значения ИКД ($p < 0,001$) и уровня ПСА ($p = 0,013$). Также были построены модели линейной регрессии для предсказания балла по шкале Глисона, которые, однако, на имеющемся наборе данных не продемонстрировали статистической значимости, что может быть объяснено ограниченным количеством наблюдений.

Обсуждение

Помимо визуализации контуров предстательной железы МРТ позволяет также проводить функциональную оценку состояния железы с помощью таких методов, как диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ), МР-спектроскопия и МРТ с динамическим контрастным усилением [6].

По системе оценки структурных изменений предстательной железы PI-RADS балл 1 соответствует крайне низкой вероятности злокачественности, 5 — крайне высокой. В 2012 г. были опубликованы первые рекомендации PI-RADS v1 для оценки результатов мультипараметрической МРТ [7], в 2015 г. они были обновлены [8]. В 2019 г. PI-RADS v2 была обновлена до PI-RADS v2.1, что позволило упростить оценку и снизить вариабельность интерпретации результатов мультипараметрической МРТ [5]. Стоит отметить, что в диагностике РПЖ применяется также бипараметрический протокол [9].

Разными авторами было показано, что данные PI-RADS и шкалы Глисона коррелируют [10–12]. При этом в другом исследовании было продемонстрировано, что опухоли с большей суммой баллов по шкале Глисона (8–10) были выявлены только при оценке PI-RADS 5, в то время как с меньшей суммой баллов (6–7) — как при оценке PI-RADS 5, так и при PI-RADS 4 [13].

В настоящее время принято проводить биопсию всех образований, подозрительных на злокачественные, с PI-RADS ≥ 3 [14]. В одном исследовании было показано, что при оценке PI-RADS 3 при проведении последующей биопсии из 191 мужчины у большей части пациентов (61 %) не было выявлено признаков РПЖ, и лишь у 6 % пациентов имела место сумма баллов по шкале Глисона 4 + 3 [15]. В другом исследовании в когорте из 408 пациентов общая частота обнаружения РПЖ составила 26,8 %, а клинически значимого РПЖ — 14,6 % [16]. В крупном исследовании с участием 118 пациентов 93,5 % образований, классифицированных как PI-RADS 3, по результатам биопсии оказались доброкачественными и лишь 6,5 % образований — клинически значимым РПЖ [17]. Было показано, что у пациентов с поражением PI-RADS 3 клинически значимый РПЖ был выявлен в 20 % случаев. Также авторы предлагают использовать плотность ПСА: если не применять данный показатель в комплексной оценке, то, по мнению

авторов, в 13,6 % случаев есть риск пропустить клинически значимый РПЖ [18].

Балл по шкале Глисона представляет собой сумму 2 чисел: сначала указывают наиболее распространенный компонент опухоли, а затем — второй по частоте встречаемости. Обычно это записывается в виде уравнения, например 3 + 4 = 7. Если преобладающим является 4-й тип (соответственно, 4 + 3 = 7), то, несмотря на то что сумма равна 7, это означает более высокий общий балл по шкале Глисона и более агрессивный тип опухоли [19].

Иммуногистохимическое исследование — еще одно перспективное направление, позволяющее определить, у каких пациентов с опухолью с суммой баллов по шкале Глисона 3 выше риск прогрессирования или перехода к более агрессивной гистологии. Это может быть полезно с клинической точки зрения для пациентов, являющихся потенциальными кандидатами на активное наблюдение [19].

Начиная с конца 1980-х годов биопсия под контролем ультразвукового исследования является «золотым стандартом» диагностики РПЖ. Под ультразвуковым наведением через прямую кишку или трансперинеально в предстательную железу вводят 12 биопсийных игл. При использовании данной методики вероятность выявления РПЖ при первой биопсии составляет примерно 30–40 %. Безусловно, по сравнению с биопсией под контролем пальцевого ректального исследования, биопсия под контролем ультразвукового исследования является более показательным методом, однако имеет ряд очевидных недостатков [4]:

- Биопсия с трансректальным ультразвуковым наведением не позволяет взять образец всей железы и не учитывает переднюю и каудальную части предстательной железы. Соответственно, если существует необходимость ввести биопсийную иглу в передние отделы, процедура становится более рискованной и болезненной. Кроме того, расположение опухоли в передних отделах усложняет не только проведение биопсии, но также и различных фокальных методов лечения РПЖ, например HIFU (High Intensity Focused Ultrasound, фокусированный ультразвук высокой интенсивности) [20].
- Существует риск развития жизнеугрожающего грамотрицательного сепсиса. По данным различных исследований, риск составляет до 3,1 %, особенно с учетом растущей с каждым годом антибиотикорезистентности.
- Биопсия с трансректальным ультразвуковым наведением может давать ложноотрицательные результаты. Так, примерно у 26 % мужчин, у которых РПЖ не был выявлен при проведении биопсии с трансректальным ультразвуковым наведением, он был впоследствии обнаружен при прицельной биопсии [4].

Диффузионно-взвешенные изображения позволяют проводить функциональную оценку исследуемых тканей. В основе данной импульсной последовательности лежит хаотичное движение молекул воды, так называемое броуновское движение, согласно которому диффузионные свойства тканей напрямую связаны с количеством свободной интерстициальной жидкости и степенью проницаемости. Основопологающим является b-фактор — мера силы и продолжительности диффузионных градиентов, которая определяет чувствительность последовательности ДВИ в выявлении зон повышенной МР-диффузии. Так, известно, что опухолевая ткань, как правило, обладает большей клеточностью и, соответственно, меньшей диффузионной способностью, чем нормальная ткань. Для диагностики РПЖ рекомендовано использовать высокие значения b-фактора, которые позволяют «заглушить» фоновые высокие сигналы, например такие как от мочи в мочевом пузыре [21], однако важно помнить, что соотношение сигнал/шум уменьшается по мере увеличения b-фактора [22].

При РПЖ нормальная архитектура железы меняется: интерстициальные пространства замещаются фиброзной стромой и опухолевой тканью с соответствующим ограничением движения молекул воды — МР-диффузии. Соответственно, зона высокой интенсивности сигнала на ДВИ может свидетельствовать о наличии клинически значимого РПЖ. Однако стоит помнить, что предстательная железа — хоть и маленький, но сложный орган: в транзитной зоне преобладает железистая ткань, таким образом, отдельные узлы стромальной гиперплазии могут иметь не только выражено высокий сигнал на ДВИ, но и низкий на картах ИКД подобно опухолевому узлу, тем самым затрудняя однозначную диагностику.

Карты ИКД — это не самостоятельная импульсная последовательность, а математическая модель, отражающая спад сигнала с увеличением b-фактора. Показано, что ИКД в дополнение к анализу ДВИ обеспечивает повышенную точность при выявлении РПЖ [22]. Несмотря на отсутствие в литературе достоверных данных о том, какое высокое значение b-фактора является наиболее точным для использования при расчете ИКД, b-фактор более чем 2000 с/мм² показал значительно меньшую чувствительность из-за артефактов, присущих высокому значению b-фактора [22]. Однако карты ИКД, полученные с высоким значением b-фактора, демонстрируют большую способность в выявлении экстрапростатической экстензии [22].

Помимо дополнительного сравнительного анализа с ДВИ значение ИКД является полезным маркером агрессивности опухоли, предоставляя количественную информацию о ее характеристиках [22]. В исследовании, в котором приняли участие 457 мужчин, было показано, что ИКД значительно ниже в опухолях

с суммой баллов по шкале Глисона $\geq 4 + 3$, чем в опухолях с суммой баллов $\leq 3 + 4$, у афроамериканцев (по сравнению с европеоидами), а также у пациентов в возрасте ≥ 75 лет [23]. Схожие данные были продемонстрированы в другом исследовании, где показатели ИКД позволяют дифференцировать сумму баллов по шкале Глисона 3 + 4 и 4 + 3 с высокой специфичностью и умеренной точностью [24]. В ряде других исследований также была показана обратная зависимость между значением ИКД и степенью злокачественности [25–29]. Одним из применяемых показателей является соотношение ИКД. Некоторые авторы полагают, что соотношение ИКД — единственный надежный и воспроизводимый инструмент для количественной оценки ограничения диффузии в очагах РПЖ [30], хотя стоит понимать, что многое зависит от опыта врача-рентгенолога при подсчете соотношения ИКД, а также от необходимости использования стандартизированного подхода к выполнению самого исследования.

Однако важно понимать, что оценка по PI-RADS является субъективной, также имеется прямая зависимость между опытом врача-рентгенолога и финальной оценкой [31]. Несмотря на то что согласованность между врачами-рентгенологами, оценивающими изменения предстательной железы по PI-RADS, выше при применении версии 2.1 по сравнению с версией 2, опыт врача-рентгенолога все еще является важным фактором [32].

Сама идея применять количественную МРТ в оценке РПЖ не нова, однако ее ограниченная воспроизводимость между врачами-рентгенологами не позволяет внедрять такую тактику повсеместно [32]. В исследовании на выборке из 155 человек при применении значений ИКД совместно с оценкой по PI-RADS получена площадь под ROC-кривой (AUC) 0,75 (95 % доверительный интервал (ДИ) 0,68–0,81), что было значительно выше, чем при использовании только оценки по PI-RADS v2 (AUC 0,69; 95 % ДИ 0,63–0,75) [34].

В другом исследовании с участием пациентов с опухолями PI-RADS 4 и 5 оценивалась эффективность применения минимального, среднего и максимального значений ИКД. Было отмечено, что минимальное значение ИКД имеет наилучшие характеристики среди всех оцениваемых показателей — AUC 0,801 (95 % ДИ 0,710–0,874) [35]. Интересно, что коллективом авторов была показана обратная корреляция параметров ИКД (среднего ИКД, ИКД_{10th percentile} и соотношение ИКД) с плотностью опухолевых клеток в данном объеме опухоли [36]. Значения среднего ИКД, ИКД_{10th percentile} и соотношения ИКД были ниже в более агрессивных опухолях, чем в менее агрессивных. Это важно, поскольку плотность опухолевых клеток напрямую связана не с баллом по шкале Глисона, а с повышением агрессивности опухоли и нейроэндокринной дифференцировкой [37]. Поскольку средний ИКД в интере-

сующей области усредняет значения ИКД по всем пикселям, были предприняты попытки количественно оценить состав РПЖ с помощью анализа гистограммы ИКД и минимального значения ИКД. В этих исследованиях небольшие очаги опухолей высокого класса могут быть представлены нижними центилями (нижние 10-й и 25-й центили) графиков гистограммы ИКД и более низким минимальным ИКД, хотя абсолютное значение минимального ИКД может быть слишком подвержено артефактам для клинического использования [37]. Универсальное применение количественных карт, а не взвешенных изображений может значительно повысить воспроизводимость диагностики с помощью искусственного интеллекта в последующем [37].

Важно понимать, что на ИКД влияют различные параметры, такие как b-фактор, количество используемых значений b-фактора, а также технические особенности, характерные для конкретного аппарата/производителя. Отечественными авторами было по-

казано, что погрешность оценки ИКД составляет 10 % [38]. К ограничениям данной работы можно отнести отсутствие стандартизации протоколов сканирования и преднастройки МР-томографов ввиду ретроспективного характера исследования, а также небольшое количество наблюдений.

Заключение

Таким образом, применение количественной МРТ в диагностике РПЖ представляется достаточно перспективным методом. Однако ключевым моментом, не позволяющим внедрять такую тактику повсеместно, является ее ограниченная воспроизводимость между врачами-рентгенологами, а также тот факт, что на значения ИКД влияет большое количество параметров. Поэтому стандартизация протокола сканирования с оптимальным выбором b-фактора и минимизация факторов, влияющих на измерение ИКД, таких как время диффузии и время эхосигнала, обеспечат более надежные сравнительные метрики.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Prostate. World Health Organization. Cancer today. Available at: <https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/cancers/27-prostate-fact-sheet.pdf>
2. Злокачественные новообразования в России в 2021 году (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, О.В. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022. 252 с.
Malignant tumors in Russia in 2021 (morbidity and mortality). Eds.: A.D. Kaprin, V.V. Starinskiy, A.O. Shakhzadova. Moscow: MNI OI im. P.A. Gertsena – filial FGBU “NMITS radiologii” Minzdrava Rossii, 2022. 252 p. (In Russ.).
3. Gleason D., Mellinger G. Prediction of prognosis for prostatic adenocarcinoma by combined histological grading and clinical staging. J Urology 1974;111(1):58–64.
DOI: 10.1016/S0022-5347(17)59889-4
4. Lomas D., Ahmed H.U. All change in the prostate cancer diagnostic pathway. Nat Rev Clin Oncol 2020;17(6):372–81.
DOI: 10.1038/s41571-020-0332-z
5. Turkbey B., Rosenkrantz A., Haider M. et al. Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2.1: 2019 Update of Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2. Eur Urol 2019;76(3):340–51. DOI: 10.1016/j.eururo.2019.02.033
6. Абуладзе Л.Р., Говоров А.В., Синицын В.Е. Возможности магнитно-резонансной томографии в оценке эффективности фокального лечения рака предстательной железы. Вестник рентгенологии и радиологии 2023;104(1):90–100.
DOI: 10.20862/0042-4676-2023-104-1-90-100
Abuladze L.R., Govorov A.V., Sinitsyn V.E. Magnetic resonance imaging evaluation of focal therapy efficacy for prostate cancer. Vestnik rentgenologii i radiologii = Journal of Radiology and Nuclear Medicine 2023;104(1):90–100. (In Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2023-104-1-90-100
7. Barentsz J., Richenberg J., Clements R. et al. ESUR prostate MR guidelines 2012. Eur Radiol 2012;22(4):746–57.
DOI: 10.1007/s00330-011-2377-y
8. Park S., Jung D., Oh Y. et al. Prostate cancer: PI-RADS Version 2 helps preoperatively predict clinically significant cancers. Radiology 2016;280(1):108–16. DOI: 10.1148/radiol.16151133
9. Абуладзе Л.Р., Семенов Д.С., Панина О.Ю., Васильев Ю.А. Оптимизированный протокол бипараметрической магнитно-резонансной томографии для диагностики рака предстательной железы. Digital Diagnostics 2022;(3):166–77.
DOI: 10.17816/DD108484
Abuladze L.R., Semenov D.S., Panina O.Yu., Vasiliev Yu.A. Optimized biparametric magnetic resonance imaging protocol for prostate cancer detection. Digital Diagnostics 2022;(3):166–77. (In Russ.). DOI: 10.17816/DD108484
10. Kızılay F., Çelik S., Sözen S. et al. Correlation of Prostate-Imaging Reporting and Data Scoring System scoring on multiparametric prostate magnetic resonance imaging with histopathological factors in radical prostatectomy material in Turkish prostate cancer patients: a multicenter study of the Urooncology Association. Prostate Int 2020;8(1):10–5. DOI: 10.1016/j.pnrl.2020.01.001
11. Pripatnanont W., Opanuraks J., Prasopsanti K. et al. A correlation of PI-RADS score and pathological grading outcome post radical prostatectomy: a retrospective review. Insight Urology 2021;42(2):110–6. DOI: 10.52786/isu.a.32
12. Lipana K., Albano G., Arcinas R. et al. The correlation between PI-RADS score and the detection of prostate cancer using MRI-ultrasound fusion-guided transperineal prostate biopsy: the first Philippine report. PJU [Internet] 2019;29(1):45–53. [cited 2024 Sep. 13]. Available at: <https://pjuonline.com/index.php/pju/article/view/89>
13. Katz A., Liu C., Kosinski K. Histopathologic correlation of PI-RADS V2 lesions on 3T multiparametric prostate MRI. J Clin Oncol 2016;34(2_suppl):10. DOI: 10.1200/jco.2016.34.2_suppl.10
14. Callender T., Emberton M., Morris S. et al. Benefit, harm, and cost-effectiveness associated with magnetic resonance imaging before biopsy in age-based and risk-stratified screening for prostate cancer. JAMA Netw Open 2021;4(3):e2037657.
DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.37657

15. Schoots I.G. MRI in early prostate cancer detection: how to manage indeterminate or equivocal PI-RADS 3 lesions? *Transl Androl Urol* 2018;7(1):70–82. DOI: 10.21037/tau.2017.12.31
16. Schlenker B., Apfelbeck M., Armbruster M. et al. Comparison of PIRADS 3 lesions with histopathological findings after MRI-fusion targeted biopsy of the prostate in a real world-setting. *Clin Hemorheol Microcirc* 2019;71(2):165–70. DOI: 10.3233/CH-189407
17. Liddell H., Jyoti R., Haxhimolla H.Z. MP-MRI prostate characterised PIRADS 3 lesions are associated with a low risk of clinically significant prostate cancer – a retrospective review of 92 biopsied PIRADS 3 lesions. *Curr Urol* 2015;8(2):96–100. DOI: 10.1159/000365697
18. Drevik J., Dalimov Z., Uzzo R. et al. Utility of PSA density in patients with PI-RADS 3 lesions across a large multi-institutional collaborative. *Urol Oncol* 2022;40(11):490.e1–6. DOI: 10.1016/j.urolonc.2022.08.003
19. Munjal A., Leslie S.W. Gleason Score. [Updated 2023 May 1]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553178/>
20. Huber P., Afzal N., Arya M. et al. Focal HIFU therapy for anterior compared to posterior prostate cancer lesions. *World J Urol* 2021;39(4):1115–9. DOI: 10.1007/s00345-020-03297-7
21. Применение системы PI-RADS в МР-диагностике предстательной железы: Методические рекомендации / Сост. А.Е. Николаев, И.А. Блохин, А.Н. Шапиев и др. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 31. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2019. 26 с. The use of PI-RADS system in MR diagnostics of the prostate: Methodological recommendations. Contributors: A.E. Nikolaev, I.A. Blokhin, A.N. Shapiev et al. “Best practices in radiological and instrumental diagnostics” series. Issue 31. Moscow: GBUZ “NPKTS DiT DZM”, 2019. 26 p. (In Russ.).
22. Manetta R., Palumbo P., Giannarino C. et al. Correlation between ADC values and Gleason score in evaluation of prostate cancer: multicentre experience and review of the literature. *Gland Surg* 2019;8(S3):S216–22. DOI: 10.21037/gs.2019.05.02
23. Tamada T., Prabhu V., Li J. et al. Assessment of prostate cancer aggressiveness using apparent diffusion coefficient values: impact of patient race and age. *Abdom Radiol* 2017;42(6):1744–51. DOI: 10.1007/s00261-017-1058-y
24. Alessandrino F., Taghipour M., Hassanzadeh E. et al. Predictive role of PI-RADSV2 and ADC parameters in differentiating Gleason pattern 3 + 4 and 4 + 3 prostate cancer. *Abdom Radiol* 2019;44(1):279–85. DOI: 10.1007/s00261-018-1718-6
25. Turkbey B., Shah V., Pang Y. et al. Is Apparent diffusion coefficient associated with clinical risk scores for prostate cancers that are visible on 3-T MR images? *Radiology* 2011;258(2):488–95. DOI: 10.1148/radiol.10100667
26. Wang X., Wang B., Gao Z. et al. Diffusion-weighted imaging of prostate cancer: Correlation between apparent diffusion coefficient values and tumor proliferation. *J Magn Reson Imaging* 2009;29(6):1360–6. DOI: 10.1002/jmri.21797
27. 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. *J Magn Reson Imaging* 2008;28(3):720–6. DOI: 10.1002/jmri.21503
28. Hambrock T., Somford D., Huisman H. et al. Relationship between apparent diffusion coefficients at 3.0-T MR imaging and Gleason grade in peripheral zone prostate cancer. *Radiology* 2011;259(2):453–61. DOI: 10.1148/radiol.11091409
29. Zelhof B., Pickles M., Liney G. et al. Correlation of diffusion-weighted magnetic resonance data with cellularity in prostate cancer. *BJU Int* 2009;103(7):883–8. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2008.08130.x
30. Jyoti R., Jain T., Haxhimolla H. et al. Correlation of apparent diffusion coefficient ratio on 3.0 T MRI with prostate cancer Gleason score. *Eur J Radiol Open* 2018;5:58–63. DOI: 10.1016/j.ejro.2018.03.002
31. Girometti R., Giannarini G., Greco F. et al. Interreader agreement of PI-RADS v. 2 in assessing prostate cancer with multiparametric MRI: A study using whole-mount histology as the standard of reference. *J Magn Reson Imaging* 2019;49(2):546–55. DOI: 10.1002/jmri.26220
32. Wei C., Zhang Y., Pan P. et al. Diagnostic accuracy and interobserver agreement of PI-RADS version 2 and version 2.1 for the detection of transition zone prostate cancers. *Am J Roentgenol* 2021;216(5):1247–56. DOI: 10.2214/AJR.20.23883
33. Gupta R., Mehta K., Turkbey B. et al. PI-RADS: past, present, and future. *J Magn Reson Imaging* 2020;52(1):33–53. DOI: 10.1002/jmri.2689
34. Jordan E., Fiske C., Zagoria R. et al. PI-RADS v2 and ADC values: is there room for improvement? *Abdom Radiol* 2018;43(11):3109–16. DOI: 10.1007/s00261-018-1557-5
35. Polanec S., Helbich T., Bickel H. et al. Quantitative apparent diffusion coefficient derived from diffusion-weighted imaging has the potential to avoid unnecessary MRI-guided biopsies of mpMRI-detected PI-RADS 4 and 5 lesions. *Invest Radiol* 2018;53(12):736–41. DOI: 10.1097/RLI.0000000000000498
36. Glazer D., Hassanzadeh E., Fedorov A. et al. Diffusion-weighted endorectal MR imaging at 3T for prostate cancer: correlation with tumor cell density and percentage Gleason pattern on whole mount pathology. *Abdom Radiol* 2017;42(3):918–25. DOI: 10.1007/s00261-016-0942-1
37. Fennessy F., Maier S. Quantitative diffusion MRI in prostate cancer: image quality, what we can measure and how it improves clinical assessment. *Eur J Radiol* 2023;167:111066. DOI: 10.1016/j.ejrad.2023.111066
38. Сергунова К.А. Исследование и разработка методов и средств контроля характеристик магнитно-резонансных и рентгеновских компьютерных томографов. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2019. 17 с. Sergunova K.A. Study and development of methods and approaches to control characteristics of magnetic resonance and X-ray computed tomographs. Dis. ... candidate of technical sciences. Saint Petersburg, 2019. 17 p. (In Russ.).

Вклад авторов

Л.Р. Абуладзе Д.С. Семенов: разработка концепции и дизайна исследования, написание текста статьи, анализ данных;
М.Д. Варюхина: статистический анализ данных, написание текста статьи.

Authors' contributions

L.R. Abuladze, D.S. Semenov: developing the concept and design of the study, article writing, data analysis;
M.D. Varyukhina: statistical analysis of data, article writing.

ORCID авторов / ORCID of authors

Л.Р. Абуладзе / L.R. Abuladze: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>

Д.С. Семенов / D.S. Semenov: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>

М.Д. Варюхина / M.D. Varyukhina: <https://orcid.org/0000-0001-8870-7649>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научное обеспечение стандартизации, безопасности и качества магнитно-резонансной томографии» (ЕГИСУ № 123031500007-6).

Funding. This article was prepared by the team of authors under research project “Scientific assurance of standardization, safety and quality of magnetic resonance imaging” (EGISU No. 123031500007-6).

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики

Протокол исследования одобрен комитетом по биомедицинской этике ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения г. Москвы». Протокол № 07/2024 от 30.07.2024.

Compliance with patient rights and principles of bioethics

The study protocol was approved by the biomedical ethics committee of Scientific and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Healthcare Department. Protocol No. 07/2024 dated 30.07.2024.