

Мультипараметрическая магнитно-резонансная томография в диагностике локального рецидива рака предстательной железы после лучевой терапии и радикальной простатэктомии: унифицированная система отчета PI-RR

Н.А. Рубцова¹, Б.Я. Алексеев^{1, 2}, А.Д. Каприн^{1, 3}, О.В. Крючкова⁴, А.Э. Талышинский^{5, 6}

¹Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России; Россия, 125284 Москва, 2-й Боткинский пр-д, 3;

²Медицинский институт непрерывного образования ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет»; Россия, 125080 Москва, Волоколамское шоссе, 11;

³Медицинский институт ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы»; Россия, 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6;

⁴ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента Российской Федерации; Россия, 121359 Москва, ул. Маршала Тимошенко, 15;

⁵ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; Россия, 199034 Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7–9;

⁶НАО «Медицинский университет Астана»; Республика Казахстан, 010000 Астана, ул. Бейбитишилик, 49а

Контакты: Али Эльманович Талышинский ali-ma@mail.ru

Для диагностики локального рецидива рака предстательной железы (РПЖ) неоспоримым преимуществом обладает мультипараметрическая магнитно-резонансная томография (мпМРТ). Несмотря на доказанно высокую информативность мпМРТ в выявлении локальных рецидивов РПЖ, до настоящего времени отмечается существенная вариабельность в подходах к ее проведению и интерпретации. Экспертами Европейского общества урогенитальной радиологии (ESUR), комитета по визуализации Европейской ассоциации урологов (ESUI) и отдельными членами комитета PI-RADS была разработана система унифицированного отчета для оценки риска локального рецидива РПЖ у пациентов после радикальной простатэктомии и лучевой терапии в процессе динамического наблюдения – prostate imaging recurrence reporting (PI-RR). Принципы проведения мпМРТ, заложенные в основу PI-RR, хорошо известны и отражены в рекомендациях PI-RADS v.2.1, доказавших свою диагностическую эффективность. Система PI-RR может стать важным инструментом для улучшения коммуникации между специалистами, участвующими в процессе диагностики и лечения РПЖ, оптимизируя лечебную стратегию у пациентов с локальным рецидивом РПЖ, повышая показатели выживаемости пациентов после специализированного противоопухолевого лечения.

Ключевые слова: рак предстательной железы, рецидив, мультипараметрическая магнитно-резонансная томография, PI-RR

Для цитирования: Рубцова Н.А., Алексеев Б.Я., Каприн А.Д. и др. Мультипараметрическая магнитно-резонансная томография в диагностике локального рецидива рака предстательной железы после лучевой терапии и радикальной простатэктомии: унифицированная система отчета PI-RR. Онкоурология 2023;19(4):61–76. DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2023-19-4-61-76>

Multiparametric magnetic resonance imaging in diagnosis of local prostate cancer recurrence after radiation therapy and radical prostatectomy: a unified PI-RR reporting system

N.A. Rubtsova¹, B.Ya. Alekseev^{1, 2}, A.D. Kaprin^{1, 3}, O.V. Kryuchkova⁴, A.E. Talyshinskiy^{5, 6}

¹P.A. Herten Moscow Oncology Research Institute — branch of the National Medical Research Radiological Center, Ministry of Health of Russia; 3 2nd Botkinskiy Proezd, Moscow 125284, Russia;

²Medical Institute of Continuing Education, Russian Biotechnological University; 11 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125080, Russia;

³Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russia;
⁴Central Clinical Hospital with a Polyclinic of the Administration of the President of the Russian Federation; 15 Marshala Timoshenko St., Moscow 121359, Russia;
⁵Saint Petersburg State University; 7–9 Universitetskaya Naberezhnaya, Saint Petersburg 199034, Russia;
⁶Astana Medical University; 49a Beybitshilik St., Astana 010000, Kazakhstan

Contacts: Ali Elmanovich Talyshinskii ali-ma@mail.ru

Multiparametric magnetic resonance imaging (mpMRI) has an indisputable advantage in diagnosis of local recurrences of prostate cancer (PCa). Even though mpMRI has been shown to be very informative for detection of local PCa recurrences, high variability in its application and interpretation remains. Experts from the European Society for Urogenital Radiology (ESUR), the Imaging Committee of the European Association of Urology (ESUI), and several members of the PI-RADS committee developed a unified report system called Prostate Imaging Recurrence Reporting (PI-RR) to measure the risk of local recurrence of PCa in men who have had radical prostatectomy and radiation therapy and are being followed up. The principles of mpMRI that form the basis of PI-RR are well known and are stated in the PI-RADS v.2.1 guidelines, which have proven their diagnostic efficiency. The PI-RR system has the potential to become an important tool for improving communication between specialists involved in the process of PCa diagnosis and treatment, for optimizing treatment strategy in patients with local PCa recurrence, and for improving survival rates in patients with PCa after specialized anticancer treatment.

Keywords: prostate cancer, recurrence, multiparametric magnetic resonance imaging, PI-RR

For citation: Rubtsova N.A., Alekseev B.Ya., Kaprin A.D. et al. Multiparametric magnetic resonance imaging in diagnosis of local prostate cancer recurrence after radiation therapy and radical prostatectomy: a unified PI-RR reporting system. *Onkourologiya = Cancer Urology* 2023;19(4):61–76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2023-19-4-61-76>

Введение

Рак предстательной железы (РПЖ) является одним из наиболее распространенных злокачественных новообразований в структуре онкологической заболеваемости среди мужской популяции в мире [1]. Основными методами лечения первичного РПЖ являются хирургический в объеме радикальной простатэктомии (РПЭ) и лучевая терапия (ЛТ) [2].

Частота рецидивов в течение 5 лет после проведенного специализированного противоопухолевого лечения достаточно высока и достигает 20–30 % у пациентов после РПЭ и 50 % после ЛТ [3–5]. О биохимическом рецидиве (БХР) заболевания после РПЭ свидетельствует повышение уровня простатического специфического антигена (ПСА) >0,2 нг/мл [6]. Рецидив РПЖ после ЛТ определяется на основании 3 последовательных повышений уровня ПСА после достигнутого минимального значения (надира) [7]. Согласно рекомендациям RTOG/ASTRO (Radiation Therapy Oncology Group/American Society for Therapeutic Radiology and Oncology, Онкологическая группа лучевой терапии/Американское общество терапевтической радиологии и онкологии), БХР устанавливается при увеличении уровня ПСА на 2,0 нг/мл по сравнению с надиром [8].

Однако уровень ПСА не позволяет определить локализацию рецидива и точно оценить степень распространенности опухолевого процесса, что крайне важно для определения тактики дальнейшего лечения, в том числе для планирования биопсии рецидивной опухоли и проведения местного спасительного лечения [9].

Несмотря на то что при уровне ПСА <0,4 нг/мл все методы визуализации имеют низкую чувствительность в выявлении рецидивов РПЖ, лучевая диагностика является крайне важным компонентом алгоритма обследования, влияющим на выбор лечебной стратегии [10, 11]. Так, пациентам с установленным диссеминированным процессом показана исключительно системная терапия, тогда как при солитарных или единичных опухолевых очагах, согласно клиническим рекомендациям, возможно проведение спасительной терапии [11]. Спасительная РПЭ у пациентов после ЛТ позволяет добиться показателей 5- и 10-летней выживаемости в диапазоне 47–82 и 28–53 % соответственно [12]. В свою очередь, пациентам с БХР или локальным рецидивом после РПЭ возможно проведение дистанционной ЛТ (ДЛТ) или брахитерапии (БТ), а у больных с местным рецидивом после ДЛТ иногда возможно выполнение спасительной низкомоментной или высокомоментной БТ. Однако проведение данных методов лечения может быть признано целесообразным и оправданным только в тех случаях, когда исключено системное прогрессирование и четко определена локализация рецидива.

В случаях БХР поэтапный мультимодальный подход к визуализации обеспечивает получение максимальной диагностической информации в отношении как локального рецидива, так и лимфогенного прогрессирования и/или отдаленного метастазирования. При подозрении на рецидив РПЖ для выявления системного прогрессирования методом выбора является

позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), с радиомеченными лигандами к простатическому специфическому мембранному антигену (ПСМА) [6, 11, 13].

Для диагностики локального рецидива РПЖ неоспоримым преимуществом обладает мультипараметрическая магнитно-резонансная томография (мпМРТ) [5, 8, 13]. Однако, несмотря на доказанно высокую информативность мпМРТ в выявлении локальных рецидивов РПЖ, до настоящего времени отмечается существенная вариабельность подходов к ее проведению наряду с отсутствием систематизированных отчетов описания, требующих стандартизации.

В связи с этим экспертами Европейского общества урогенитальной радиологии (ESUR), комитетом по визуализации Европейской ассоциации урологов (ESUI) и отдельными членами комитета PI-RADS были разработаны и предложены руководящие принципы для проведения и интерпретации результатов мпМРТ таза у больных РПЖ после РПЭ и ЛТ — prostate imaging recurrence reporting (PI-RR) [14]. Система PI-RR предлагает унифицированный подход к визуализации малого таза при динамическом наблюдении пациентов с РПЖ после ЛТ или РПЭ в целях своевременной диагностики локальных рецидивов. Принципы анализа изображений и оценочные категории PI-RR схожи с подходами, предложенными в системе PI-RADS, и построены на совокупности оценки нескольких магнитно-резонансных (МР) последовательностей, определяющей вероятность рецидива РПЖ.

Особенности визуализации при магнитно-резонансной томографии таза у пациентов с раком предстательной железы после радикальной простатэктомии и лучевой терапии

У пациентов после РПЭ МР-изображения должны полноценно покрывать зону уретровезикального анастомоза (УВА), включая шейку мочевого пузыря (формирующую пузырный отдел УВА) и мембранозный отдел мочеиспускательного канала (уретральный отдел УВА), окружающие его ткани, остаточные семенные пузырьки (при их наличии), мочевой пузырь, периуретральную клетчатку, прямую кишку и мышцы, поднимающие анус [15].

Магнитно-резонансная картина УВА может быть вариабельной и зависит от хирургической техники выполнения РПЭ. На сагиттальных МР-изображениях в большинстве случаев УВА имеет коническую форму (рис. 1). Выраженность фиброзирования стенок УВА и окружающей клетчатки также вариабельна. После аппаратного наложения швов при формировании УВА могут визуализироваться металлические скрепки, обуславливающие артефакты восприимчивости. Семявыносящие протоки и семенные пузырьки в большинстве случаев резецируются, однако в 20 % слу-

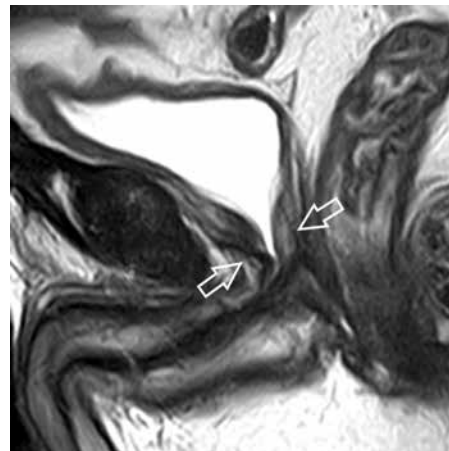


Рис. 1. Магнитно-резонансная томограмма малого таза пациента после радикальной простатэктомии: T2-взвешенное изображение в сагиттальной проекции. Область уретровезикального анастомоза указана стрелками

Fig. 1. Magnetic resonance imaging of a patient's pelvis after radical prostatectomy: T2-weighted image in the sagittal plane. Arrows indicate the area of the vesicourethral anastomosis

чаев могут сохраняться и визуализироваться в зоне их обычной локализации в виде трубчатых структур (рис. 2) [16]. После лимфаденэктомий у пациентов могут определяться лимфоцеллы, расположенные, как правило, вдоль сосудистых структур, их размеры могут быть вариабельны, а МР-картина зависит от степени организации [16].

У пациентов, получивших ЛТ, поле обзора в краниокаудальном направлении должно включать основание мочевого пузыря и мочеполовую диафрагму — уровни, необходимые для адекватной оценки предстательной железы от базальных до апикальных отделов [17]. После проведения ЛТ МР-картина предстательной железы претерпевает изменения, которые характеризуются уменьшением ее размера относительно первоначального и изменением сигнальных характеристик. На T2-взвешенных изображениях (T2-ВИ) и диффузионно-взвешенных изображениях (ДВИ) понижение интенсивности МР-сигнала обусловлено железистой атрофией и фиброзными изменениями [16]. Семенные пузырьки также уменьшаются в размерах [18]. Интенсивность сигнала на T2-ВИ от стенок мочевого пузыря и прямой кишки зависит от сроков проведения магнитно-резонансной томографии (МРТ) после ЛТ. После ЛТ могут отмечаться повышение интенсивности МР-сигнала и утолщение слизистых оболочек мочевого пузыря и прямой кишки за счет отека в зависимости от степени выраженности постлучевых реакций и сроков окончания лечения. У большинства пациентов после ЛТ отмечается жировая инволюция костного мозга на уровне боковых отделов крестца и крестцово-подвздошных сочленений и медиальных отделов подвздошных костей, входящих в поля облучения [19]. В ряде случаев на фоне постлучевых

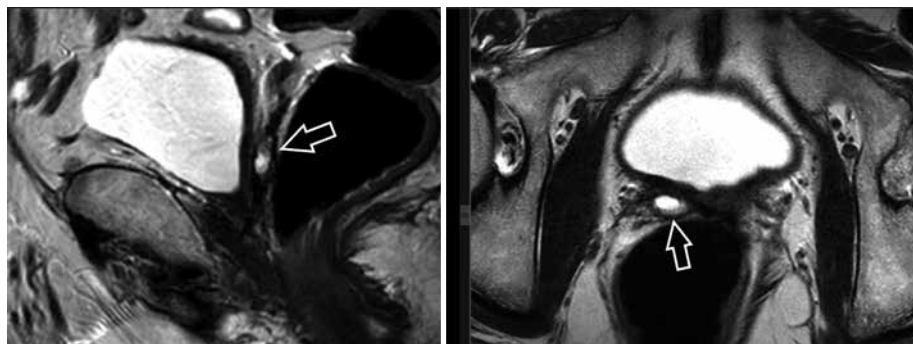


Рис. 2. Магнитно-резонансные томограммы малого таза пациента после радикальной простатэктомии: T2-взвешенные изображения в сагиттальной и аксиальной проекциях. Стрелками указана остаточная ткань правых семенных пузырьков

Fig. 2. Magnetic resonance imaging of a patient's pelvis after radical prostatectomy: T2-weighted images in sagittal and axial planes, respectively. Arrows indicate residual tissue of the right seminal vesicles

изменений могут встречаться остеопоротические переломы костей таза.

Рекомендуемый протокол магнитно-резонансной томографии для диагностики локальных рецидивов рака предстательной железы с оценкой по PI-RR

Для подготовки пациентов и проведения МРТ с оценкой по системе PI-RR рекомендуются те же условия и протоколы МРТ, как описано в руководстве PI-RADS v.2.1 [20], за исключением дополнений, необходимых для адекватной визуализации УВА у пациентов после РПЭ, зон регионарного лимфооттока и костных структур таза. Протокол МРТ у пациентов после РПЭ помимо стандартных последовательностей, предусмотренных PI-RADS v.2.1, должен включать T2-ВИ в 3 ортогональных плоскостях (аксиальной, корональной и сагиттальной), включающих в зону интереса основные локализации рецидивов: УВА, остаточную ткань семенных пузырьков (при их наличии) и заднюю стенку мочевого пузыря. В целях получения информации о состоянии регионарных лимфатических узлов и костных структур таза в протокол исследования необходимо включить T1-ВИ с большим полем зрения и/или ДВИ (со значениями b 50/100 и 900/1000).

Принципы оценки мультипараметрической магнитно-резонансной томографии по системе PI-RR

Оценка вероятности местного рецидива РПЖ при мпМРТ по системе PI-RR применима исключительно к послеоперационному (после РПЭ) ложу предстательной железы и предстательной железе после ЛТ. Для определения степени вероятности локального рецидива используется 5-балльная шкала (табл. 1), где категории 1 и 2 присваиваются поражениям с очень низкой и низкой вероятностью рецидива, категории 4 и 5 соответствуют высокой и очень высокой вероятности рецидива, категория 3 не позволяет исключить наличие рецидива, но изменения носят неопределенный характер.

Таблица 1. Оценочные категории PI-RR

Table 1. PI-RR scoring categories

Оценочная категория PI-RR PI-RR scoring category	Определение рисков локального рецидива рака предстательной железы Risk of local prostate cancer recurrence
1	Очень низкий риск Very low
2	Низкий риск Low
3	Подозрение Uncertain
4	Высокий риск High
5	Очень высокий риск Very high

Оценка изменений при диагностике локальных рецидивов основана на анализе анатомических и функциональных критериев. К анатомическим критериям относятся размер, расположение и форма выявленных изменений. Функциональные критерии основаны на клеточной плотности и васкуляризации ткани, оцениваемых по данным ДВИ и динамического контрастного усиления (ДКУ) соответственно.

Диагностика локального рецидива рака предстательной железы после лучевой терапии

Лучевая терапия является одним из основных методов лечения РПЖ и может быть применена как в самостоятельном варианте, так и в качестве компонента комбинированного лечения заболевания. По способу подведения ионизирующего излучения к опухоли ЛТ может быть дистанционной, контактной

и сочетанной. ДЛТ на сегодняшний день является наиболее распространенным способом лечения РПЖ и может проводиться как по стандартной программе, так и с модуляцией интенсивности. Внутритканевая ЛТ, или БТ, заключается во введении (имплантации) радиоактивных источников непосредственно в ткань предстательной железы. При РПЖ применяют как низкомощностную (источник излучения постоянно находится в тканях), так и высокомощностную (источник излучения временно находится в тканях) БТ. В настоящее время БТ у пациентов группы низкого и промежуточного риска наравне с РПЭ и ДЛТ является эффективным методом лечения РПЖ [21].

T2-взвешенные изображения после лучевой терапии

Физическое воздействие на ткань предстательной железы при ЛТ приводит к реактивному воспалению, следствием которого являются железистая атрофия и фиброз. Постлучевые изменения на T2-ВИ характеризуются нарушением дифференцировки зональной анатомии предстательной железы и менее выраженными различиями в сигнальных характеристиках между опухолью и неизменной тканью, что может обуславливать трудности диагностики рецидивов [17, 22]. Локальный рецидив после ЛТ наиболее часто выявляется в месте исходной локализации первичной опухоли, однако в 4–9 % случаев может развиваться в других отделах предстательной железы [23, 24]. С учетом того что рецидивы РПЖ после ЛТ чаще всего локализируются в месте первичной опухоли [24], для объективизации данных важно иметь возможность сравнить картину с данными МРТ, выполненной до начала лечения.

После низкомощностной БТ радиоактивные источники визуализируются в виде небольших эллипсоидных участков выпадающего сигнала, определяющихся интрапаренхиматозно на всех уровнях предстательной железы (рис. 3). При низкомощностной БТ терапевтический эффект сопровождается уменьшением размера предстательной железы за счет атрофии тканей, что может приводить к смещению источников и, как следствие, к ухудшению дозового покрытия. В связи с этим ткани предстательной железы в зонах неадекватного распределения источников следует более тщательно анализировать на предмет рецидива [25]. В случаях высокомощностной БТ источники извлекаются, поэтому МР-картина не отличается от изменений, встречающихся при ДЛТ.

В большинстве случаев локальный рецидив после дистанционной ЛТ проявляется в виде масс сниженного МР-сигнала на T2-ВИ, в сравнении с сигналом от окружающих тканей, и может сопровождаться деформацией контура (в виде выпячивания). Это происходит из-за роста опухоли на фоне атрофических

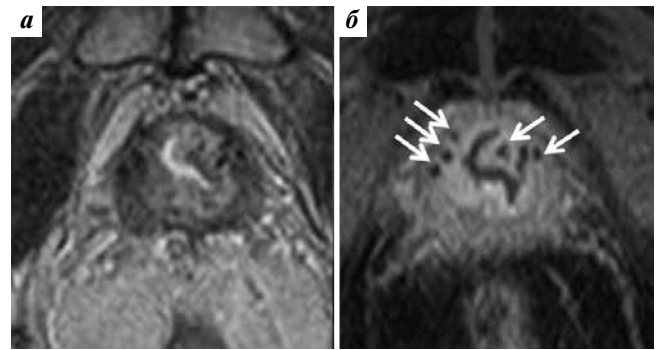


Рис. 3. Магнитно-резонансные томограммы малого таза пациента после низкомощностной брахитерапии в аксиальной проекции: а — T2-взвешенное изображение; б — постконтрастное T1-взвешенное изображение. Стрелками указаны артефакты от радиоактивных источников, имплантированных в ткань предстательной железы
Fig. 3. Magnetic resonance imaging of a patient's pelvis after low dose rate brachytherapy in the axial plane: а — T2-weighted image; б — post-contrast T1-weighted image. Arrows indicate artifacts from radioactive seeds implanted in the prostate

тканей предстательной железы [26]. Однако фокальное снижение интенсивности сигнала на T2-ВИ не всегда является достоверным признаком рецидива [27].

Таким образом, T2-ВИ, обладая высокой тканевой визуализацией, позволяют подробно оценить анатомо-морфологическую картину, но имеют ограниченную ценность в оценке локального рецидива [28].

Диффузионно-взвешенные изображения после лучевой терапии

На ДВИ сигнальные характеристики в зоне рецидива РПЖ после ЛТ идентичны первичной опухоли. Локальный рецидив после ЛТ определяется как очаг гиперинтенсивного сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора, соответствующий области низкого сигнала на карте измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). Очаг на ДВИ может соответствовать или не соответствовать гипоинтенсивному очагу на T2-ВИ (рис. 4). У пациентов после низкомощностной БТ ДВИ имеет низкую информативность в выявлении локального рецидива за счет артефактов восприимчивости от радиоактивных источников [29]. После низкомощностной БТ наиболее информативной методикой МРТ в диагностике локальных рецидивов является ДКУ [13]. После высокомощностной БТ артефакты восприимчивости не возникают, поскольку источники извлекаются. Воспалительная инфильтрация в ранние сроки после ЛТ обуславливает высокие значения ИКД, характерные для доброкачественных изменений. В целях нивелирования ложноотрицательных результатов оценка ДВИ целесообразна не ранее чем через 6 нед после окончания ЛТ [30].

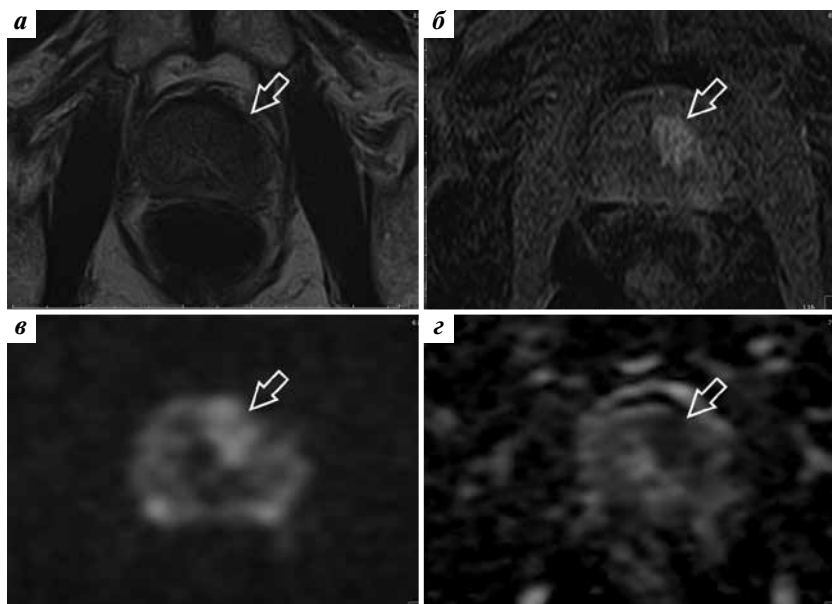


Рис. 4. Магнитно-резонансные томограммы предстательной железы пациента с биохимическим рецидивом после дистанционной лучевой терапии в аксиальной проекции: а — T2-взвешенное изображение; б — динамическое контрастное усиление; в — диффузионно-взвешенное изображение; г — измеряемый коэффициент диффузии. Стрелками указан очаг рецидива в транзитной зоне левой доли предстательной железы
Fig. 4. Magnetic resonance imaging of the prostate of a patient with biochemical recurrence after external beam radiation therapy in the axial plane: а — T2-weighted image; б — dynamic contrast-enhanced imaging; в — diffusion weight imaging; г — apparent diffusion coefficient. Arrows indicate the recurrence site in the transition zone of the left prostatic lobe

Динамическое контрастное усиление после лучевой терапии

Постлучевой железистый фиброз характеризуется более низкой клеточной плотностью и васкуляризацией по сравнению с нормальной железистой тканью до лечения. В свою очередь, рецидивные опухоли обладают патологически повышенной проницаемостью стенок сосудов [31], поэтому рецидив на фоне железистого фиброза определяется как очаг фокального раннего накопления контраста по сравнению с незначительным медленным контрастным усилением или его отсутствием в окружающей паренхиме [32]. Оценка ДКУ в первые 3 мес после завершения ЛТ нецеле-

сообразна и может приводить к ошибкам интерпретации, повышая количество ложноположительных случаев, обусловленных сложностями дифференциальной диагностики между воспалением, индуцированным ЛТ, и опухолью [29, 33].

Принципы оценки рисков по системе PI-RR после лучевой терапии

Для определения вероятности риска рецидива РПЖ у пациентов после ЛТ по системе PI-RR для T2-ВИ, ДВИ и ДКУ разработана 5-балльная оценочная шкала, представленная в табл. 2–4. Оценка вероятности локального рецидива осуществляется в основном по дан-

Таблица 2. Оценочные категории PI-RR для T2-взвешенного изображения у пациентов после лучевой терапии

Table 2. PI-RR scoring categories for T2-weighted images in post-radiation therapy patients

Оценочная категория PI-RR PI-RR scoring category	T2-взвешенное изображение T2-weighted image
1	Отсутствие изменений интенсивности сигнала в сравнении с окружающей паренхимой No abnormal signal intensity compared to the background
2	Линейные, клиновидные участки или диффузные изменения с умеренным снижением сигнала, или остаточные узлы доброкачественной гиперплазии предстательной железы Linear, wedge-shaped, or diffuse moderate hypointensity or residual benign prostatic hyperplasia nodules
3	Очаг или диффузно-узловые изменения с незначительным снижением сигнала не в проекции первичной опухоли; очаги, не подходящие под категории 2, 4 или 5 Focal or mass-like mild hypointensity not at the primary tumor site; includes others that do not qualify as 2, 4, or 5

Окончание табл. 2
End of table 2

Оценочная категория PI-RR PI-RR scoring category	T2-взвешенное изображение T2-weighted image
4	Очаг или диффузно-узловые изменения с умеренным снижением сигнала не в проекции первичной опухоли; локализация первичной опухоли неизвестна Focal or mass-like moderate hypointensity not at the same site as the primary tumor, or location of primary tumor not known
5	Очаг или диффузно-узловые изменения с выраженным снижением сигнала в месте первичной опухоли Focal or mass-like marked hypointensity at the same site as the primary tumor

Таблица 3. Оценочные категории PI-RR для ДВИ у пациентов после лучевой терапии

Table 3. PI-RR scoring categories for DWI in post-radiation therapy patients

Оценочная категория PI-RR PI-RR scoring category	ДВИ DWI
1	Отсутствие патологического изменения интенсивности сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора и картах ИКД Absence of pathological signal intensity changes on DWI with high b-value and ADC map
2	Диффузное умеренное повышение сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора и/или диффузное умеренное снижение сигнала на картах ИКД Diffuse moderate hyperintensity on high b-value DWI and/or diffuse moderate hypointensity on the ADC map
3	Очаг выраженного повышения сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора ИЛИ выраженного снижения сигнала на картах ИКД Focal marked hyperintensity on high b-value DWI OR focal marked hypointensity on the ADC map
4	Очаг выраженного повышения сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора в сочетании с выраженным снижением сигнала на картах ИКД, но не в проекции первичной опухоли, либо локализация первичной опухоли неизвестна Focal marked hyperintensity on high b-value DWI and marked hypointensity on the ADC map not at the same site as the primary tumor, or site of the primary tumor not known
5	Очаг выраженного повышения сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора в сочетании с выраженным снижением сигнала на картах ИКД в проекции первичной опухоли Focal marked hyperintensity on high b-value DWI and marked hypointensity on the ADC map at the same site as the primary tumor

Примечание. ДВИ – диффузионно-взвешенное изображение; ИКД – измеряемый коэффициент диффузии.

Note. DWI – diffusion weight imaging; ADC – apparent diffusion coefficient.

ным ДВИ и ДКУ [5, 34–36]. T2-ВИ не принимаются во внимание при определении итоговой категории PI-RR. Однако T2-ВИ могут быть полезны для сравнения динамики до и после ЛТ и в тех случаях, когда есть несоответствие в отношении локализации изменений, выявленных на ДВИ и ДКУ. Также T2-ВИ могут помочь в интерпретации МРТ при оценке узлов гиперплазии. Вероятность рецидива РПЖ считается высокой, если при ДКУ выявляется очаг раннего интенсивного нако-

пления контраста, а на ДВИ очаг демонстрирует значимое ограничение диффузии (высокоинтенсивный сигнал на ДВИ с высоким значением b-фактора, при параллельно низком сигнале на картах ИКД). Итоговая категория PI-RR определяется последовательностью с наибольшим баллом, как показано в табл. 5 и на рис. 5. При совпадении локализации очагов, выявленных по данным ДВИ и ДКУ, которым присвоен балл >4, итоговая категория PI-RR соответствует 5.

Таблица 4. Оценочные категории PI-RR для динамического контрастного усиления у пациентов после лучевой терапии
Table 4. PI-RR scoring categories for dynamic contrast-enhanced imaging in post-radiation therapy patients

Оценочная категория PI-RR PI-RR scoring category	Динамическое контрастное усиление Dynamic contrast-enhanced imaging
1	Накопление контраста отсутствует No enhancement
2	Диффузное или гетерогенное накопление контраста Diffuse or heterogeneous enhancement
3	Очаг или диффузно-узловые изменения с поздним контрастированием Focal or mass-like late enhancement
4	Очаг или диффузно-узловые изменения с ранним контрастированием не в проекции первичной опухоли либо локализация первичной опухоли неизвестна Focal or mass-like early enhancement not on the same side as the primary tumor, or tumor side not known
5	Очаг или диффузно-узловые изменения с ранним контрастированием в проекции первичной опухоли Focal or mass-like early enhancement on the same side as the primary tumor

Таблица 5. Принципы оценки итоговой категории PI-RR после лучевой терапии
Table 5. Principles for the overall PI-RR category assessment after radiation therapy

Диффузионно-взвешенное изображение Diffusion weight imaging	Динамическое контрастное усиление Dynamic contrast-enhanced imaging	Итоговая Overall	Диффузионно-взвешенное изображение Diffusion weight imaging	Динамическое контрастное усиление Dynamic contrast-enhanced imaging
1–2	1–2	1–2	1–2	1–2
3	<3	3	<3	3
4	<4	4	<4	4
5	<5	5	<5	5

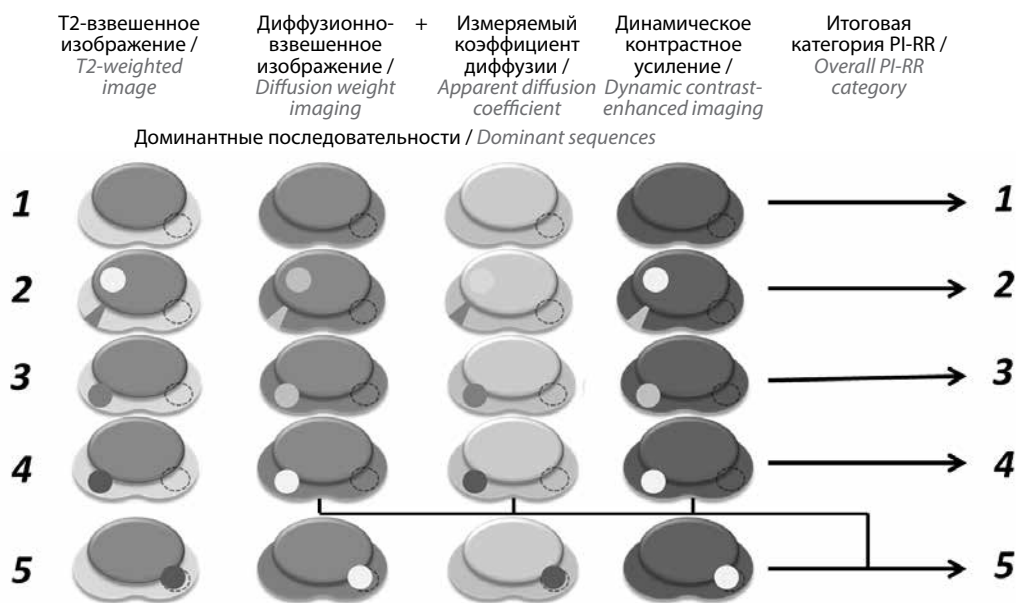


Рис. 5. Схема определения итоговой категории PI-RR у пациентов после лучевой терапии. Пунктирной линией обозначена локализация первичной опухоли
Fig. 5. Diagram for determination of the overall PI-RR category among patients after radiation therapy. Dotted line indicates the location of the primary tumor

Диагностика локального рецидива рака предстательной железы после радикальной простатэктомии

Интерпретацию мпМРТ желательно выполнять в соответствии с информацией об объеме выполненного хирургического лечения и послеоперационным гистологическим заключением. Информация о положительных краях резекции может быть полезной при определении вероятности и локализации рецидива. После РПЭ локальный рецидив обычно определяется в пределах хирургического ложа. Наиболее частой локализацией местных рецидивов РПЖ после РПЭ являются область УВА, включая зону вокруг шейки мочевого пузыря или мембранозного отдела уретры, пузырно-прямокишечное пространство и остаточная ткань семенных пузырьков (рис. 6) [37]. Другими локализациями рецидива могут являться передний и латеральный края удаленной предстательной железы (например, позадилонная клетчатка и клетчатка прилежащая к мышцам, поднимающим анус) [3, 38]. Локализация рецидива должна быть описана с учетом условного циферблата, за центр которого принимается УВА.

T2-взвешенные изображения после радикальной простатэктомии

В большинстве случаев на T2-ВИ очаг рецидива после РПЭ отличается от зон фиброза и послеоперационного воспаления. Локальный рецидив может проявляться в виде асимметричного периаанастомотического утолщения мягких тканей с интенсивностью МР-сигнала, варьирующей в интервале от мышц таза до окружающей жировой ткани [39]. Локальный рецидив также может возникать в ложе семенных пузырьков. По данным ряда авторов, примерно в 20 % случаев наблюдаются остаточные семенные пузырьки, которые могут обуславливать повышенный уровень ПСА после РПЭ [16]. Поэтому во избежание гипердиагностики важным условием является ознакомление с протоколом объема операции в целях подтверждения того, что семенные пузырьки были резецированы в полном объеме.

В свою очередь, утолщение тканей в области УВА и ложа семенных пузырьков может быть обусловлено фиброзом, для которого характерен более низкий МР-сигнал по сравнению с рецидивной опухолью [29].

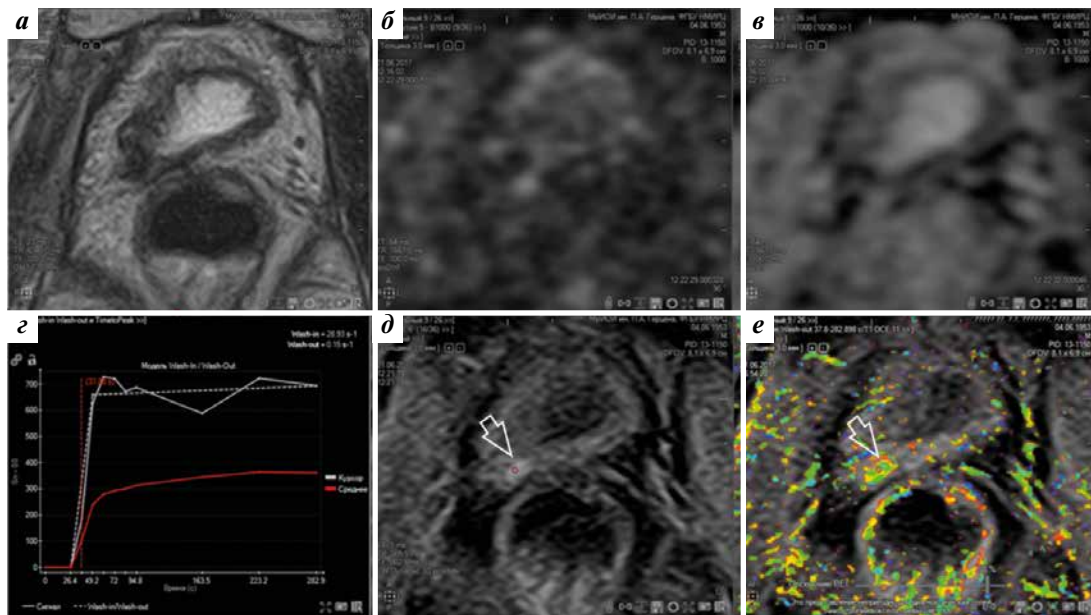


Рис. 6. Магнитно-резонансные томограммы таза пациента с биохимическим рецидивом после радикальной простатэктомии в аксиальной проекции: а — T2-взвешенное изображение; б — диффузионно-взвешенное изображение; в — измеряемый коэффициент диффузии; г — динамические кривые в очаге фокального накопления контраста; д, е — динамическое контрастное усиление. Стрелками указан очаг рецидива в задней стенке мочевого пузыря справа (выше уровня уретровезикального анастомоза), выявленного при динамическом контрастном усилении, четко не определяемого на T2-взвешенном изображении и диффузионно-взвешенном изображении

Fig. 6. Magnetic resonance imaging of the pelvis of a patient with biochemical recurrence after radical prostatectomy in the axial plane: a — T2-weighted image; б — diffusion weight imaging; в — apparent diffusion coefficient; г — dynamic curves within contrast-enhanced focus; д, е — dynamic contrast-enhanced imaging. Arrows indicate the focus of recurrence in the posterior wall of the bladder on the right (above the level of vesicourethral anastomosis), which was detected during dynamic contrast-enhanced imaging and poorly defined on T2-weighted images and diffusion weight images

Диффузионно-взвешенные изображения после радикальной простатэктомии

Диффузионно-взвешенное изображение в выявлении локального рецидива после РПЭ обладает высокой точностью, особенно в сочетании с другими последовательностями [39]. Однако диагностическая информативность ДВИ может снижаться из-за артефактов восприимчивости, обусловленных хирургическими скрепками, наложенными при формировании УВА. После РПЭ для рецидивных опухолей на ДВИ с высоким значением b-фактора характерен сигнал высокой интенсивности (как при первичных опухолях) с параллельным снижением сигнала на параметрических картах ИКД. ДВИ является хорошим инструментом для дифференциальной диагностики рецидивной опухоли с участками послеоперационного воспаления и грануляционной ткани, для которых не характерно существенное ограничение диффузии, хотя может отмечаться повышенное накопление контраста при ДКУ, схожее с контрастированием опухолевой ткани [40].

Динамическое контрастное усиление после радикальной простатэктомии

Динамическое контрастное усиление играет ключевую роль в диагностике локального рецидива после РПЭ. Данный метод обладает высокой чувствительностью в выявлении рецидивной опухоли [41–43]. Даже очаги малых размеров, которые не могут быть запо-

дозрены на T2-ВИ, хорошо визуализируются при ДКУ за счет характерного раннего интенсивного контрастирования [5]. В отличие от послеоперационных изменений, для рецидивов характерно интенсивное накопление в раннюю фазу с последующим более быстрым вымыванием контраста [44]. Кинетика контрастирования при рецидивах РПЖ схожа с таковой при первичных опухолях и характеризуется быстрым усилением в раннюю фазу с различными моделями вымывания. В зоне послеоперационных изменений накопление контраста может отсутствовать либо происходит медленное усиление, как это ожидается для фиброзной или грануляционной ткани. В целях нивелирования ложноположительных случаев при оценке вероятности локальных рецидивов после РПЭ в постоперационном периоде мпМРТ следует проводить не ранее чем через 3 мес после операции.

Принципы оценки рисков локального рецидива по системе PI-RR после радикальной простатэктомии

Для оценки вероятности локального рецидива после РПЭ стандартно анализируются все последовательности (табл. 6–8), однако в формировании итоговой категории учитываются только ДВИ и ДКУ. При этом доминантной последовательностью в определении итоговой категории PI-RR у пациентов после РПЭ является ДКУ. ДВИ имеет значение в тех случаях, когда по данным ДКУ изменениям было присвоено 2 или 3 балла. В тех

Таблица 6. Оценочные категории PI-RR для T2-взвешенного изображения у пациентов после радикальной простатэктомии

Table 6. PI-RR scoring categories for T2-weighted images in post-radical prostatectomy patients

Оценочная категория PI-RR PI-RR scoring category	T2-взвешенное изображение T2-weighted image
1	Неизмененные гипоинтенсивные уретровезикальный анастомоз и ложе семенных пузырьков Normal hypointense vesicourethral anastomosis and seminal vesicles bed remnant
2	Диффузное утолщение уретровезикального анастомоза и/или остаточных семенных пузырьков и/или грубая рубцовая ткань в ложе семенных пузырьков Diffuse thickening of the vesicourethral anastomosis and/or thick-walled seminal vesicle remnants and/or coarse scar tissue within the seminal vesicle beds
3	Симметричное очаговое или диффузно-узловое снижение магнитно-резонансного сигнала в области уретровезикального анастомоза или ложа семенных пузырьков Symmetric focal or mass-like signal intensity in the perianastomotic area or seminal vesicles bed
4	Асимметричный очаг или диффузно-узловая зона изо-/гиперинтенсивного сигнала в области уретровезикального анастомоза или ложа семенных пузырьков не на стороне первичной опухоли; сторона первичной опухоли неизвестна Asymmetric focal or mass-like iso/hyperintensity in the perianastomotic area or seminal vesicle bed not on the same side as the primary tumor, or tumor side not known
5	Асимметричный очаг или диффузно-узловая зона изо-/гиперинтенсивного сигнала в области уретровезикального анастомоза или ложа семенных пузырьков на стороне первичной опухоли Asymmetric focal or mass-like iso/hyperintensity in the perianastomotic area or seminal vesicles bed on the same side as the primary tumor

Таблица 7. Оценочные категории PI-RR для ДВИ у пациентов после радикальной простатэктомии

Table 7. PI-RR scoring categories for DWI in post-radical prostatectomy patients

Оценочная категория PI-RR PI-RR scoring category	ДВИ DWI
1	Отсутствие патологического изменения интенсивности сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора и картах ИКД Absence of pathological signal intensity changes on DWI with high b-value and ADC map
2	Диффузное умеренное повышение сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора и/или диффузное умеренное снижение сигнала на картах ИКД Diffuse moderate hyperintensity on high b-value DWI and/or diffuse moderate hypointensity on the ADC map
3	Очаг выраженного повышения сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора ИЛИ выраженного снижения сигнала на картах ИКД Focal marked hyperintensity on high b-value DWI OR focal marked hypointensity on the ADC map
4	Очаг выраженного повышения сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора в сочетании с выраженным снижением сигнала на картах ИКД, но не в проекции первичной опухоли, либо локализация первичной опухоли неизвестна Focal marked hyperintensity on high b-value DWI and marked hypointensity on the ADC map not at the same site as the primary tumor, or site of the primary tumor not known
5	Очаг выраженного повышения сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора в сочетании с выраженным снижением сигнала на картах ИКД в проекции первичной опухоли Focal marked hyperintensity on high b-value DWI and marked hypointensity on the ADC map at the same site as the primary tumor

Примечание. ДВИ — диффузионно-взвешенное изображение; ИКД — измеряемый коэффициент диффузии.

Note. DWI — diffusion weight imaging; ADC — apparent diffusion coefficient.

Таблица 8. Оценочные категории PI-RR для динамического контрастного усиления у пациентов после радикальной простатэктомии

Table 8. PI-RR scoring categories for dynamic contrast-enhanced imaging in post-radical prostatectomy patients

Оценочная категория PI-RR PI-RR scoring category	Динамическое контрастное усиление Dynamic contrast-enhanced imaging
1	Накопление контраста отсутствует No enhancement
2	Диффузное или гетерогенное накопление контраста Diffuse or heterogeneous enhancement
3	Очаг или диффузно-узловые изменения с поздним контрастированием Focal or mass-like late enhancement
4	Очаг или диффузно-узловые изменения с ранним контрастированием не в проекции первичной опухоли либо локализация первичной опухоли неизвестна Focal or mass-like early enhancement not on the same side as the primary tumor, or tumor side not known
5	Очаг или диффузно-узловые изменения с ранним контрастированием в проекции первичной опухоли Focal or mass-like early enhancement on the same side as the primary tumor

случаях, когда при ДКУ выставлены 2 или 3 балла, а по данным ДВИ изменениям присвоен балл >4, происходит повышение итоговой категории PI-RR с 2 до 3 и с 3 до 4 (табл. 9). В свою очередь, Т2-ВИ не-

обходимы для детализации анатомической информации, особенно в тех случаях, когда есть расхождения между ДКУ и ДВИ, однако не используются при выборе итоговой категории при оценке PI-RR.

Таблица 9. Принципы оценки итоговой категории PI-RR после радикальной простатэктомии
Table 9. Principles for the overall PI-RR category assessment after radical prostatectomy

Динамическое контрастное усиление Dynamic contrast-enhanced imaging	Диффузионно-взвешенное изображение Diffusion weight imaging	Итоговая Overall
1	Любая Any	1
2	1–3	2
	>4	3
3	1–3	3
	>4	4
4	Любая Any	4
5	Любая Any	5

Клинические предпосылки и руководства к использованию системы оценки PI-RR

Унифицированная система PI-RR разработана в качестве инструмента для проведения и интерпретации мпМРТ у пациентов после лечения РПЖ в объеме РПЭ и ЛТ. PI-RR позволяет оптимизировать взаимодействие между рентгенологами и клиницистами и представляет собой 5-балльную оценочную шкалу для прогнозирования вероятности местного рецидива РПЖ. Однако изолированное использование PI-RR без принятия во внимание общепринятых клинико-патологических факторов риска прогрессирования РПЖ является нецелесообразным и недопустимым.

Согласно клиническим рекомендациям Европейской ассоциации урологов (EAU), при БХР или персистенции уровня ПСА после РПЭ и ЛТ методом выбора для диагностики прогрессирования РПЖ является ПЭТ/КТ. Пациентам после РПЭ при уровне ПСА >0,2 нг/мл для исключения отдаленных и регионарных метастазов рекомендуется проведение ПЭТ/КТ с лигандами к ПСМА, альтернативой может быть ПЭТ/КТ с радио меченным флуцикловином или холином, назначение которых целесообразно при уровне ПСА >1,0 нг/мл [45–47]. ПЭТ/КТ с лигандами к ПСМА является высокоинформативным методом определения локализации БХР, однако имеет ряд ограничений, связанных с визуализацией зоны местного рецидива, неспецифическим накоплением радиофармацевтического препарата, ПСМА-негативным характером РПЖ и др. При сомнительных результатах ПЭТ/КТ с лигандами к ПСМА мпМРТ имеет дополнительную диагностическую ценность при подозрении на локальный рецидив [48–50]. У пациентов с БХР после радикального лечения РПЖ низкого риска (согласно группам риска

EAU) мпМРТ следует проводить до ПЭТ/КТ, поскольку в данной группе пациентов риск локального рецидива выше, чем метастатическое прогрессирование [10, 51].

Мультипараметрическая МРТ позволяет выявить локализацию рецидивной опухоли после РПЭ и ЛТ, что необходимо как для планирования биопсии, так и для проведения фокальной спасительной терапии [20]. У пациентов с БХР, когда по данным мпМРТ установлена низкая либо очень низкая вероятность рецидива (PI-RR 1 и 2), для исключения отдаленных и регионарных метастазов в качестве дополнения рекомендуется ПЭТ/КТ с ПСМА. Пациентам с БХР или персистенцией уровня ПСА после РПЭ в случае установленной категории PI-RR 3 необходима ПЭТ/КТ в качестве уточняющей диагностики, особенно если уровень ПСА превышает 1,0 нг/мл [13].

Высокий и очень высокий риск локального рецидива по системе PI-RR после РПЭ обычно не требует гистологических доказательств [14]. У пациентов после РПЭ в случае установленных категорий PI-RR 4–5 спасительная ЛТ может быть назначена без верификации изменений, выявленных при мпМРТ.

Итоговые категории PI-RR 3–5 после ЛТ указывают на необходимость выполнения биопсии перед фокальной спасительной терапией.

По результатам опубликованных исследований система PI-RR имеет высокие показатели диагностической эффективности в выявлении локального рецидива у пациентов, получивших хирургическое лечение РПЖ в объеме РПЭ либо ЛТ. Общая точность мпМРТ в диагностике локальных рецидивов с использованием PI-RR у пациентов после РПЭ и ЛТ варьировала в диапазоне 75–85 и 77–88 % соответственно [52, 53].

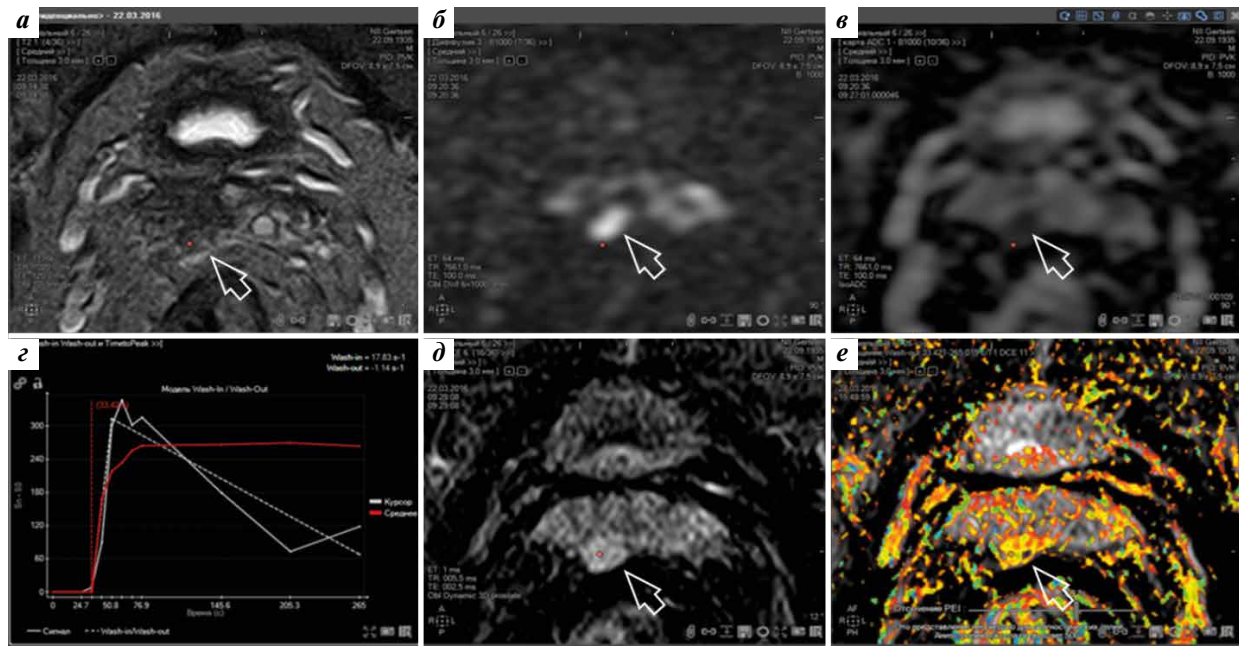


Рис. 7. Магнитно-резонансные томограммы предстательной железы пациента с биохимическим рецидивом после брахитерапии в аксиальной проекции: а — T2-взвешенное изображение; б — диффузионно-взвешенное изображение; в — измеряемый коэффициент диффузии; г — динамические кривые в очаге фокального накопления контраста; д, е — динамическое контрастное усиление. Стрелками указан очаг рецидива в правых семенных пузырьках
Fig. 7. Magnetic resonance imaging of the prostate of a patient with biochemical recurrence after brachytherapy in the axial plane: а — T2-weighted image; б — diffusion weight imaging; в — apparent diffusion coefficient; г — dynamic curves within contrast-enhanced focus; д, е — dynamic contrast-enhanced imaging. Arrows indicate the focus of recurrence in the right seminal vesicles

Унифицированная система PI-RR, являясь надежным инструментом для проведения и интерпретации результатов МРТ после РПЭ и ЛТ, может стать ключом к коммуникации между рентгенологами, радиологами, онкоурологами и радиотерапевтами, осуществляющими выбор тактики ведения пациентов с БХР. Четкое представление о вероятности локального рецидива РПЖ позволит осуществлять индивидуальное планирование радикального лечения 2-й линии, тем самым повысить показатели специфической выживаемости пациентов с реализовавшимся БХР.

Ограничения

Следует отметить, что категории оценки PI-RR основаны на консенсусе экспертов, поэтому воспроизводимость в отдельных категориях PI-RR и фактические показатели информативности с использованием данной унифицированной системы до настоящего времени неизвестны. Значимым ограничением системы PI-RR является то, что критерии оценки разработаны исключительно для предстательной железы после ЛТ и ложе предстательной железы после РПЭ. Однако у пациентов после ЛТ рецидив не всегда реализуется интрапростати-

чески, встречаются случаи локального рецидивирования в области семенных пузырьков (рис. 7), для которых в настоящее время оценка не предусмотрена.

Поскольку система PI-RR предусматривает исключительно оценку ложа предстательной железы после РПЭ и предстательную железу после ЛТ, для комплексной оценки БХР рекомендуется использовать дополнительные методы визуализации в целях исключения лимфогенного прогрессирования или отдаленного метастазирования в соответствии с группами клинического риска. Также оценочная система PI-RR не предусмотрена для применения в случаях прогрессирования заболевания после фокальной терапии РПЖ.

Следует отметить, что оценка воспроизводимости результатов среди рентгенологов, использующих систему PI-RR, должна осуществляться неразрывно с учетом клинических данных, включая изучение динамики ПСА. Учитывая, что PI-RR основана на консенсусе экспертов, данная система не может быть рекомендована к применению в рутинной практике и требует проверки диагностической ценности с изучением корреляции с другими методами визуализации и результатами биопсий.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Сомов А.Н., Суслин С.А. Рак предстательной железы. Эпидемиология, факторы риска и раннее выявление. Профилактическая медицина 2020;23(3):149–55. DOI: 10.17116/profmed202023031149
Somov A.N., Suslin S.A. Prostate cancer. Epidemiology, risk factors and early detection. Profilakticheskaya meditsina = Russian Journal of Preventive Medicine 2020;23(3):149–55. (In Russ.). DOI: 10.17116/profmed202023031149
2. Носов Д.А., Волкова М.И., Гладков О.А. и др. Практические рекомендации по лечению рака предстательной железы. Злокачественные опухоли: Практические рекомендации RUSSCO 2022;12(3s2):607–26. DOI: 10.18027/2224-5057-2022-12-3s2-607-626
Nosov D.A., Volkova M.I., Gladkov O.A. et al. Practical guidelines on treatment of prostate cancer. Zlokachestvennye opukholi: Prakticheskie Rekomendatsii RUSSCO = Malignant Tumors: RUSSCO Practical Guidelines 2022;12(3s2):607–26. (In Russ.). DOI: 10.18027/2224-5057-2022-12-3s2-607-626
3. Kim M., Hwang S., Ahn H. et al. Diagnostic yield of multiparametric MRI for local recurrence at biochemical recurrence after radical prostatectomy. Prostate Int 2022;10(3):135–41. DOI: 10.1016/j.prmil.2022.05.001
4. Петровский Н.В., Глыбочко П.В., Аляев Ю.Г. и др. Локальный рецидив рака предстательной железы после радикальной простатэктомии. Урология 2017;(4):85–90. DOI: 10.18565/urol.2017.4.85-90
Petrovsky N.V., Glybochko P.V., Alyaev Yu.G. Local recurrence of prostate cancer after radical prostatectomy. Urology 2017;(4):85–90. (In Russ.). DOI: 10.18565/urol.2017.4.85-90
5. De Visschere P.J.L., Standaert C., Fütterer J.J. et al. A systematic review on the role of imaging in early recurrent prostate cancer. Eur Urol Oncol 2019;2(1):47–76. DOI: 10.1016/j.euo.2018.09.010
6. Каприн А.Д., Алексеев Б.Я., Матвеев В.Б. и др. Рак предстательной железы. Клинические рекомендации. Современная онкология 2021;23(2):211–47. DOI: 10.26442/18151434.2021.2.200959
Kaprin A.D., Alekseev B.Ya., Matveev V.B. et al. Prostate cancer. Clinical recommendations. Sovremennaya onkologiya = Journal of Modern Oncology 2021;23(2):211–47. (In Russ.). DOI: 10.26442/18151434.2021.2.200959
7. Teeter A.E., Griffin K., Howard L.E. et al. Does early prostate specific antigen doubling time after radical prostatectomy, calculated prior to prostate specific antigen recurrence, correlate with prostate cancer outcomes? A report from the SEARCH Database Group. J Urol 2018;199(3):713–8. DOI: 10.1016/j.juro.2017.08.107
8. Cornford P., van den Bergh R.C.N., Briers E. et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-SIOG Guidelines on Prostate Cancer. Part II-2020 Update: Treatment of Relapsing and Metastatic Prostate Cancer. Eur Urol 2021;79(2):263–82. DOI: 10.1016/j.eururo.2020.09.046
9. Tokas T., Grabski B., Paul U. et al. A 12-year follow-up of ANNA/C-TRUS image-targeted biopsies in patients suspicious for prostate cancer. World J Urol 2018;36(5):699–704. DOI: 10.1007/s00345-017-2160-z
10. Алексеев Б.Я., Ньюшко К.М., Крашенинников А.А. и др. Методы диагностики и лечения олигометастазов у больных раком предстательной железы с прогрессированием заболевания после проведенного радикального лечения. Онкоурология 2016;12(2):64–73. DOI: 10.17650/1726-9776-2016-12-2-64-73
Alekseev B.Ya., Nyushko K.M., Krashennnikov A.A. et al. Methods for the diagnosis and treatment of oligometastases in patients with prostate cancer and progressive disease after radical treatment. Onkourologiya = Cancer Urology 2016;12(2):64–73. (In Russ.). DOI: 10.17650/1726-9776-2016-12-2-64-73
11. EAU Guidelines. Edn. presented at the EAU Annual Congress Milan 2023. ISBN 978-94 92671-19-6.
12. Chade D.C., Eastham J., Graefen M. et al. Cancer control and functional outcomes of salvage radical prostatectomy for radiation-recurrent prostate cancer: a systematic review of the literature. Eur Urol 2012;61(5):961–71. DOI: 10.1016/j.eururo.2012.01.022
13. Magnetta M.J., Casalino D., Heller M.T. Imaging assessment of local recurrence of prostate cancer after radical prostatectomy. Abdom Radiol 2020;45(12):4073–83. DOI: 10.1007/s00261-020-02505-7
14. Panebianco V., Villeirs G., Weinreb J.C. et al. Prostate Magnetic Resonance Imaging for Local Recurrence Reporting (PI-RR): International Consensus-based Guidelines on multiparametric magnetic resonance imaging for prostate cancer recurrence after radiation therapy and radical prostatectomy. Eur Urol Oncol 2021;4(6):868–76. DOI: 10.1186/s13014-016-0671-1
15. Allen S.D., Thompson A., Sohaib S.A. et al. The normal post-surgical anatomy of the male pelvis following radical prostatectomy as assessed by magnetic resonance imaging. Eur Radiol 2008;18(6):1281–91. DOI: 10.1007/s00330-008-0867-3
16. Mertan F.V., Greer M.D., Borofsky S. et al. Multiparametric magnetic resonance imaging of recurrent prostate cancer. Top Magn Reson Imaging 2016;25(3):139–47. DOI: 10.1097/RMR.0000000000000088
17. Patel P., Mathew M.S., Trilisky I., Oto A. Multiparametric MR imaging of the prostate after treatment of prostate cancer. Radiographics 2018;38(2):437–49. DOI: 10.1148/rg.2018170147
18. Kowa J.Y., Soneji N., Sohaib S.A. et al. Detection and staging of radio-recurrent prostate cancer using multiparametric MRI. Br J Radiol 2021;94(1120):20201423. DOI: 10.1259/bjr.20201423
19. Gaur S., Turkbey B. Prostate MR imaging for posttreatment evaluation and recurrence. Urol Clin North Am 2018;45(3):467–79. DOI: 10.1016/j.ucl.2018.03.011
20. Рубцова Н.А., Мищенко А.В., Данилов В.В. и др. PI-RADS v2.1: движение на пути к ясности (комментарии к обновленной версии). Онкоурология 2020;16(2):15–28. DOI: 10.17650/1726-9776-2020-16-2-15-28
Rubtsova N.A., Mishchenko A.V., Danilov V.V. et al. PI-RADS v2.1: moving towards clarity (comments on the updated version). Onkourologiya = Cancer Urology 2020;16(2):15–28. (In Russ.). DOI: 10.17650/1726-9776-2020-16-2-15-28
21. Каприн А.Д., Бирюков В.А., Черниченко А.В. и др. Брахитерапия рака предстательной железы. Опыт работы филиалов Национального медицинского исследовательского центра радиологии. Онкоурология 2018;14(1):94–9. DOI: 10.17650/1726-9776-2018-14-1-94-99
Kaprin A.D., Biryukov V.A., Chernichenko A.V. et al. Prostate cancer brachytherapy. Experience of the branches of the National Medical Research Center of Radiology. Onkourologiya = Cancer Urology 2018;14(1):94–9. (In Russ.). DOI: 10.17650/1726-9776-2018-14-1-94-99
22. Maurer T., Eiber M., Fanti S. et al. Imaging for prostate cancer recurrence. Eur Urol Focus 2016;2(2):139–50. DOI: 10.1016/j.euf.2016.02.006
23. Van der Poel H., Grivas N., van Leeuwen P. et al. The role of MRI for detection and staging of radio- and focal therapy-recurrent prostate cancer. World J Urol 2019;37(8):1485–90. DOI: 10.1007/s00345-019-02677-y
24. Patel P., Oto A. Magnetic resonance imaging of the prostate, including pre- and postinterventions. Semin Intervent Radiol 2016;33(3):186–95. DOI: 10.1055/s-0036-1586144
25. Maenhout M., Van Vulpen M., Moerland M. et al. Second salvage high-dose-rate brachytherapy for radiorecurrent prostate cancer. J Contemp Brachytherapy 2017;9(2):161–6. DOI: 10.5114/jcb.2017.67015
26. McCamack K.C., Raman S.S., Margolis D.J.A. Imaging of local recurrence in prostate cancer. Future Oncol 2016;12(21):2401–15. DOI: 10.2217/fon-2016-0122
27. Pucar D., Shukla-Dave A., Hricak H. et al. Prostate cancer: correlation of MR imaging and MR spectroscopy with pathologic

- findings after radiation therapy-initial experience. *Radiology* 2005;236(2):545–53. DOI: 10.1148/radiol.2362040739
28. Dinis Fernandes C., van Houdt P.J., Heijmink S.W.T.P.J. et al. Quantitative 3T multiparametric MRI of benign and malignant prostatic tissue in patients with and without local recurrent prostate cancer after external-beam radiation therapy. *J Magn Reson Imaging* 2019;50(1):269–78. DOI: 10.1002/jmri.26581
29. Vargas H.A., Wässberg C., Akin O., Hricak H. MR imaging of treated prostate cancer. *Radiology* 2012;262(1):26–42. DOI: 10.1148/radiol.11101996
30. Scialpi M., Martorana E., Scialpi P. et al. MRI apparent diffusion coefficient (ADC): A biomarker for prostate cancer after radiation therapy. *Turkish J Urol* 2021;47(6):448–51. DOI: 10.5152/tud.2021.21274
31. Franiel T., Lüdemann L., Taupitz M. MRI before and after external beam intensity-modulated radiotherapy of patients with prostate cancer: the feasibility of monitoring of radiation-induced tissue changes using a dynamic contrast-enhanced inversion-prepared dual-contrast gradient echo sequen. *Radiother Oncol* 2009;93(2):241–5. DOI: 10.1016/j.radonc.2009.08.016
32. Schiavina R., Ceci F., Borghesi M. et al. The dilemma of localizing disease relapse after radical treatment for prostate cancer: which is the value of the actual imaging techniques? *Curr Radiopharm* 2013;6(2):92–5. DOI:10.2174/1874471011306020005
33. Sanguineti G., Bertini L., Faiella A. et al. Response on DCE-MRI predicts outcome of salvage radiotherapy for local recurrence after radical prostatectomy. *Tumori* 2021;107(1):55–63. DOI: 10.1177/0300891620908950
34. Valle L.F., Greer M.D., Shih J.H. et al. Multiparametric MRI for the detection of local recurrence of prostate cancer in the setting of biochemical recurrence after low dose rate brachytherapy. *Diagn Interv Radiol* 2018;24(1):46–53. DOI: 10.5152/dir.2018.17285
35. Tamada T., Sone T., Jo Y. et al. Locally recurrent prostate cancer after high-dose-rate brachytherapy: the value of diffusion-weighted imaging, dynamic contrast-enhanced MRI, and T2-weighted imaging in localizing tumors. *AJR Am J Roentgenol* 2011;197(2):408–14. DOI: 10.2214/AJR.10.5772
36. Alonzo F., Melodelim C., Bratan F. et al. Detection of locally radio-recurrent prostate cancer at multiparametric MRI: Can dynamic contrast-enhanced imaging be omitted? *Diagn Interv Imaging* 2016;97(4):433–41. DOI: 10.1016/j.diii.2016.01.008
37. Cirillo S., Petracchini M., Scotti L. et al. Endorectal magnetic resonance imaging at 1.5 Tesla to assess local recurrence following radical prostatectomy using T2-weighted and contrast-enhanced imaging. *Eur Radiol* 2009;19(3):761–9. DOI: 10.1007/s00330-008-1174-8
38. Sandgren K., Westerlinck P., Jonsson J.H. et al. Imaging for the Detection of Locoregional Recurrences in Biochemical Progression After Radical Prostatectomy-A Systematic Review. *Eur Urol Focus* 2019;5(4):550–60. DOI: 10.1016/j.euf.2017.11.001
39. Barchetti F., Panebianco V. Multiparametric MRI for Recurrent Prostate Cancer Post Radical Prostatectomy and Postradiation Therapy. *Biomed Res Int* 2014;2014:316272. DOI: 10.1155/2014/316272
40. Kwon T., Kim J.K., Lee C. et al. Discrimination of local recurrence after radical prostatectomy: value of diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Prostate Int* 2018;6(1):12–7. DOI: 10.1016/j.pnrl.2017.05.002
41. Kitajima K., Hartman R.P., Froemming A.T. et al. Detection of Local Recurrence of Prostate Cancer After Radical Prostatectomy Using Endorectal Coil MRI at 3 T: Addition of DWI and Dynamic Contrast Enhancement to T2-Weighted MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2015;205(4):807–16. DOI: 10.2214/AJR.14.14275
42. Panebianco V., Barchetti F., Sciarra A. et al. Prostate cancer recurrence after radical prostatectomy: the role of 3-T diffusion imaging in multi-parametric magnetic resonance imaging. *Eur Radiol* 2013;23(6):1745–52. DOI: 10.1007/s00330-013-2768-3
43. Casciani E., Poletti E., Carminini E. et al. Endorectal and dynamic contrast-enhanced MRI for detection of local recurrence after radical prostatectomy. *AJR Am J Roentgenol* 2008;190(5):1187–92. DOI: 10.2214/AJR.07.3032
44. Litwin M.S., Tan H.J. The Diagnosis and treatment of prostate cancer: a review. *JAMA* 2017;317(24):2532–42. DOI: 10.1001/jama.2017.7248
45. Nanni C., Schiavina R., Brunocilla E. et al. 18F-Fluciclovine PET/CT for the detection of prostate cancer relapse: a comparison to 11C-choline PET/CT. *Clin Nucl Med* 2015;40(8):386–91. DOI: 10.1097/RLU.0000000000000849
46. Calais J., Fendler W.P., Herrmann K. et al. Comparison of 68Ga-PSMA-11 and 18F-fluciclovine PET/CT in a case series of 10 patients with prostate cancer recurrence. *J Nucl Med* 2018;59(5):789–94. DOI: 10.2967/jnumed.117.203257
47. Evangelista L., Briganti A., Fanti S. et al. New clinical indications for (18)F/(11)C-choline, new tracers for positron emission tomography and a promising hybrid device for prostate cancer staging: a systematic review of the literature. *Eur Urol* 2016;70(1):161–75. DOI: 10.1016/j.eururo.2016.01.029
48. Calais J., Ceci F., Eiber M. et al. 18F-fluciclovine PET-CT and 68Ga-PSMA-11 PET-CT in patients with early biochemical recurrence after prostatectomy: a prospective, single-centre, single-arm, comparative imaging trial. *Lancet Oncol* 2019;20(9):1286–94. DOI: 10.1016/S1470-2045(19)30415-2
49. Afshar-Oromieh A., Vollnberg B., Alberts I. et al. Comparison of PSMA-ligand PET/CT and multiparametric MRI for the detection of recurrent prostate cancer in the pelvis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2019;46(11):2289–97. DOI: 10.1007/s00259-019-04438-w
50. Lindenberg L., Mena E., Turkbey B. et al. Evaluating biochemically recurrent prostate cancer: histologic validation of 18F-DCFPyL PET/CT with comparison to multiparametric MRI. *Radiology* 2020;296(3):564–72. DOI: 10.1148/radiol.2020192018
51. Van den Broeck T., van den Bergh R.C.N., Briers E. et al. Biochemical recurrence in prostate cancer: the European Association of Urology Prostate Cancer Guidelines Panel Recommendations. *Eur Urol Focus* 2020;6(2):231–4. DOI: 10.1016/j.euf.2019.06.004
52. Pecoraro M., Turkbey B., Purysko A.S. et al. Diagnostic accuracy and observer agreement of the MRI prostate imaging for recurrence reporting assessment score. *Radiology* 2022 304(2):342–50. DOI: 10.1148/radiol.212252
53. Bergaglio C., Giasotto V., Marcenaro M. et al. The Role of mpMRI in the assessment of prostate cancer recurrence using the PI-RR system: diagnostic accuracy and interobserver agreement in readers with different expertise. *Diagnostics (Basel)* 2023;13(3):387. DOI: 10.3390/diagnostics13030387

Вклад авторов

Н.А. Рубцова: написание текста статьи, обзор публикаций по теме статьи, подготовка иллюстраций;
Б.Я. Алексеев: написание текста статьи;
А.Д. Каприн: обзор публикаций по теме статьи;
О.В. Крючкова: подготовка иллюстраций;
А.Э. Талышинский: обзор публикаций по теме статьи, подготовка иллюстраций.

Authors' contributions

N.A. Rubtsova: article writing, reviewing of publications of the article's theme, preparing illustrations;
B.Ya. Alekseev: article writing;
A.D. Kaprin: reviewing of publications of the article's theme;
O.V. Kryuchkova: preparing illustrations;
A.E. Talyshinskii: reviewing of publications of the article's theme, preparing illustrations.

ORCID авторов / ORCID of authors

Н.А. Рубцова / N.A. Rubtsova: <https://orcid.org/0000-0001-8378-4338>
Б.Я. Алексеев / B.Ya. Alekseev: <https://orcid.org/0000-0002-3398-4128>
А.Д. Каприн / A.D. Kaprin: <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>
О.В. Крючкова / O.V. Kryuchkova: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2074>
А.Э. Талышинский / A.E. Talyshinskii: <https://orcid.org/0000-0002-3521-8937>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.
Funding. The work was performed without external funding.