

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ВСЕГО ТЕЛА В ДИАГНОСТИКЕ И ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ МЕТАСТАТИЧЕСКОГО РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: СТАНДАРТЫ СИСТЕМЫ MET-RADS-P

¹Т. П. Березовская[✉], ¹В. О. Рупп[✉], ¹А. В. Троянов[✉], ^{1,2}С. А. Иванов[✉], ^{2,3,4}А. Д. Каприн[✉]

¹Медицинский радиологический научный центр имени А. Ф. Цыба — филиал Национального медицинского исследовательского центра радиологии, г. Обнинск, Россия

²Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

³Национальный медицинский исследовательский центр радиологии, Обнинск, Россия

⁴Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П. А. Герцена — филиал Национального медицинского исследовательского центра радиологии, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Магнитно-резонансная томография всего тела (МРТ ВТ), включающая диффузионно-взвешенное изображение (ДВИ), все шире используется в клинической практике. Для метастатического рака предстательной железы была предложена система радиологической отчетности и данных Met-RADS-P (METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer), предназначенная для определения распространенности метастатического процесса и последующей оценки ответа на специфическое лечение на основе данных МРТ ВТ.

ЦЕЛЬ: Представить обзор методических аспектов МРТ ВТ у пациентов с метастатическим раком предстательной железы применительно к системе Met-RADS-P, изложить ее терминологию и принципы оценки результатов исследования, а также обсудить возможности ее клинического использования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проведен обзор публикаций за период с 1 января 2017 по 1 декабря 2023 г., на русском и английском языках, отобранных в электронных базах данных eLibrary, Medline, PubMed, по ключевым словам: «магнитно-резонансная томография всего тела», «диффузионно-взвешенная томография всего тела», «метастатический рак предстательной железы», «Met-RADS-P», «Whole Body MRI, WB MRI», «Whole Body DWI, WB DWI», «metastatic prostate cancer», дополненный изучением ссылок в найденных по этим ключевым словам статьях.

РЕЗУЛЬТАТЫ: На основании данных литературы и собственного опыта описаны протоколы МРТ ВТ у пациентов с метастатическим раком предстательной железы, алгоритм анализа МР изображений, критерии оценки ответа метастатических очагов в скелете, лимфатических узлах и внутренних органах, и категории ответа на проводимое лечение по шкале RAC (англ. response assessment categories), а также приведены результаты и обсуждены перспективы клинического использования Met-RADS-P.

ОБСУЖДЕНИЕ: Имеющиеся в литературе немногочисленные публикации с использованием системы Met-RADS-P касаются, в первую очередь, оценки ее надежности (межэкспертного согласия). Авторы приходят к выводу о целесообразности ее использования в мониторинге метастазов у пациентов с кастрат-резистентным раком предстательной железы, подчеркивая клиническую важность выявления дискордантного (смешанного) ответа после терапии. Отмечаются также препятствия к широкому внедрению в клиническую практику МРТ ВТ, включающие длительность процедуры исследования и большой объем диагностических данных, требующий значительного времени для анализа и составления отчета, преодолению которых будет способствовать автоматизация оценки МР-изображений с использованием искусственного интеллекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Система Met-RADS-P систематизирует подход к выполнению и описанию МРТ ВТ у пациентов с кастрационно-резистентным раком предстательной железы, позволяя воспроизвести методику практически на любом современном МР-томографе, начиная с составления протокола сканирования, заканчивая стандартизированным отчетом о результатах исследования. Это делает метод МРТ ВТ воспроизводимым в различных медицинских учреждениях, а следовательно, повышает его ценность. Тем не менее Met-RADS-P относительно новая система и нуждается в крупных многоцентровых клинических исследованиях для подтверждения ее эффективности и репрезентативности, а также нивелирования недостатков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магнитно-резонансная томография всего тела, диффузионно-взвешенная томография всего тела, метастатический рак предстательной железы, Met-RADS-P

* Для корреспонденции: Березовская Татьяна Павловна, e-mail: berez@mrrc.obninsk.ru

Для цитирования: Березовская Т.П., Рипп В.О., Троянов А.В., Иванов С.А., Каприн А.Д. Магнитно-резонансная томография всего тела в диагностике и оценке эффективности лечения метастатического рака предстательной железы: стандарты системы MET-RADS-P // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 3. С. 19–31, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-19-31>.

WHOLE BODY MAGNETIC RESONANCE IMAGING (WB MRI) IN THE DIAGNOSIS AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF TREATMENT OF METASTATIC PROSTATE CANCER: MET-RADS-P SYSTEM STANDARDS

¹Tatiana P. Berezovskaya^{*}, ¹Vladislav O. Ripp¹, ¹Aleksey V. Troyanov¹, ^{1,2}Sergey A. Ivanov¹,
^{2,3,4}Andrey D. Kaprin¹

¹A. Tsyb Medical Radiological Research Centre — branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russia

²Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

³National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation Obninsk, Russia

⁴P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute — branch of the National Medical Research Radiological Centre Moscow, Russia

INTRODUCTION: Whole-body magnetic resonance imaging (WB MRI) including diffusion-weighted imaging (DWI) is increasingly used in clinical practice. For metastatic prostate cancer, the radiologic reporting and data system Met-RADS-P (METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer) has been proposed to determine the prevalence of the metastatic process and subsequently evaluate the response to specific treatment based on WB MRI data.

OBJECTIVE: To present an overview of the methodological aspects of WB MRI in patients with metastatic prostate cancer in relation to the Met-RADS-P system, to outline its terminology and principles for assessing study results, and to discuss the possibilities of its clinical use.

MATERIALS AND METHODS: A search was conducted for publications for the period from January 1, 2017 to December 1, 2023 in Russian and English in the electronic databases eLibrary, Medline, PubMed, using the keywords: «диффузионно-взвешенная томография всего тела», «метастатический рак предстательной железы», «Met-RADS-P», «Whole Body MRI, WB MRI», «Whole Body DWI, WB DWI», «metastatic prostate cancer», supplemented by examination of references in the retrieved articles.

RESULTS: Based on the literature data and our own experience, WB MRI protocols in patients with metastatic prostate cancer are described, the algorithm of MR image analysis, the criteria for evaluating the response of metastatic foci in the skeleton, lymph nodes, and internal organs, and the response assessment categories according to the RAC (response assessment categories) scale, as well as summarize the results and discuss the prospects for the clinical use of Met-RADS-P.

DISCUSSION: The few publications in the literature using the Met-RADS-P system primarily concern the assessment of its reliability (inter-reader agreement). The authors conclude that it is appropriate to use it in monitoring metastases in patients with castration-resistant prostate cancer, emphasizing the clinical importance of identifying discordant responses after therapy. They also note the obstacles to the widespread introduction of WB MRI imaging into clinical practice, including the duration of the examination procedure and the large volume of diagnostic data that requires significant time for analysis and reporting, which can be overcome by automating the assessment of MR images using artificial intelligence.

CONCLUSION: The Met-RADS-P system systematizes the approach to performing and describing WB MRI in patients with advanced prostate cancer, allowing the technique to be reproduced on virtually any modern scanner, from the scan protocol to a standardized report of findings. This makes the WB MRI technique reproducible in a variety of medical settings, and therefore increases its value. Nevertheless, Met-RADS-P is a relatively new system and requires large multicenter clinical trials to confirm its efficacy and representativeness, as well as to level out its shortcomings.

KEYWORDS: whole-body magnetic resonance imaging, diffusion-weighted whole-body imaging, metastatic prostate cancer, Met-RADS-P

^{*} For correspondence: Tatiana P. Berezovskaya, e-mail: berez@mrrc.obninsk.ru

For citation: Berezovskaya T.P., Ripp V.O., Troyanov A.V., Ivanov S.A., Kaprin A.D. Whole body magnetic resonance imaging (WB MRI) in the diagnosis and evaluation of the effectiveness of treatment of metastatic prostate cancer: MET-RADS-P system standards // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 19–31, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-19-31>.

Введение. Возможности клинического использования магнитно-резонансной томографии всего тела (МРТ ВТ) были расширены в результате добавления к анатомическим последовательностям диффузионно-взвешенного изображения (ДВИ). На первом консенсусном совещании экспертов в 2009 г. были обоб-

щены доказательства высокой диагностической эффективности ДВИ при обнаружении, характеристике и мониторинге терапии многих локализаций рака [1], в связи с чем ДВИ заняло центральное место в МРТ ВТ. Современные международные рекомендации включают МРТ ВТ в обследование пациентов

с множественной миеломой, раком предстательной железы, меланомой и лиц с наследственными синдромами предрасположенности к раку [2–5].

Стремление к стандартизации терминологии в протоколах диагностических исследований привело к появлению систем радиологической отчетности и данных — RADS (англ. Reporting and Data System), содержащих рекомендации по составлению диагностических описаний и заключений на основе единой терминологии с оценкой вероятности наличия заболевания. Предложенная в 2017 г. Padhani и соавт. для метастатического рака предстательной железы система Met-RADS-P (англ. METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer) [5], предназначена не только для определения распространенности метастатического процесса, но и для последующей оценки ответа на лечение на основе данных контрольной МРТ ВТ. Эта система оценки пока не получила широкого распространения в мировой практике и мало известна в нашей стране.

Цель. Представить обзор методических аспектов МРТ ВТ у пациентов с метастатическим раком предстательной железы применительно к системе Met-RADS-P, изложить ее терминологию и принципы оценки результатов исследования, а также обсудить возможности ее клинического использования.

DWI, WB DWI», «metastatic prostate cancer», дополненный изучением ссылок в найденных статьях.

Результаты. Оборудование и процедура исследования. МРТ ВТ с ДВИ можно проводить как на 1,5 Тл, так и на 3 Тл сканерах. ЗТл-сканеры имеют преимущество в скорости исследования и пространственном разрешении, однако сканирование при 1,5Тл может быть предпочтительнее при наличии у пациентов несъемных металлических протезов, и снижает риск артефактов для метода Диксона [2].

Для получения изображения всего тела необходимо использовать несколько приемных катушек, чтобы обеспечить высокое отношение сигнал/шум (SNR) во всех анатомических областях. Обычно пациент располагается в катушке для головы и шеи, кроме того, используют катушки для позвоночника и две катушки для тела, чтобы охватить грудную клетку, живот и таз до середины бедра [6]. Чтобы избежать потери времени на замену катушек, все они должны быть установлены и подключены до начала процедуры сканирования. Перед началом исследования важно предупредить пациента о перемещении стола в процессе исследования и убедиться, что он чувствует себя комфортно и способен оставаться неподвижным на протяжении всего обследования. Подготовка к исследованию должна

Таблица 1

Стандартный и расширенный протоколы сканирования для МРТ ВТ на основе рекомендаций Met-RADS-P

Table 1

Standard and extended scanning protocols for WB MRI based on Met-RADS-P recommendations

Область исследования	Импульсная последовательность	Плоскость сканирования	Толщина среза, мм	Протокол	
				стандартный	расширенный
Весь позвоночник	T1 TSE	Сагиттальная	4–5	Да	–
	STIR	Сагиттальная		Да	–
Все тело (от макушки до середины бедра)	T1-ВИ Dixon с обязательной реконструкцией изображения «fat only»	Коронарная	2	Одна плоскость	Две плоскости
		Аксиальная, совпадающая с ДВИ	5		
	ДВИ с MIP-реконструкцией + ИКД карта	Аксиальная	5–7	2 b–фактора (50–100 и 800–1000 с/мм ²)	3 b–фактора (доп. значение 500–600 с/мм ²)
	T2-ВИ, TSE	Аксиальная, совпадающая с ДВИ	5	+	+
Отдельная область с небольшим FOV (для предстательной железы, отдела позвоночника, головного мозга, контрастирование)				–	+

Материалы и методы. Проведен поиск публикаций за период с 1 января 2017 по 1 декабря 2023 г. на русском и английском языках в электронных базах данных eLibrary, Medline, PubMed, по ключевым словам: «магнитно-резонансная томография всего тела», «диффузионно взвешенная томография всего тела», «метастатический рак предстательной железы», «Met-RADS-P», «Whole Body MRI, WB MRI», «Whole Body

включать предоставление точной информации о длительности процедуры, переодевание пациента в одноразовый халат, чтобы избежать скрытых металлических предметов, а также опорожнение мочевого пузыря перед исследованием.

Протокол МРТ ВТ. Было предложено два варианта протокола, каждый из которых включает морфологические T1-ВИ и T2-ВИ, а также ДВИ (табл. 1).

Стандартный протокол рекомендуется для поиска отдаленных метастазов при первичном стадировании, биохимическом рецидиве на фоне проводимой терапии, у пациентов с кастрационно-резистентным раком предстательной железы (КРРПЖ).

Расширенный протокол сканирования показан для оценки ответа на системное лечение или при наличии конкретных зон повышенного интереса. Длительность расширенного протокола сканирования увеличивается за счет дополнительной плоскости для получения изображения всего тела (например, коронарная + аксиальная) для T1-ВИ Dixon или T2-ВИ, и получения ДВИ на основе трех b-факторов. Кроме того, расширенный протокол предполагает детальную оценку определенного региона (предстательной железы, головного мозга или позвоночника) с малым полем обзора и контрастированием.

Сагиттальные изображения позвоночника в режимах T1 и STIR (англ. Short tau inversion recovery) предназначены для обнаружения метастазов в позвонках, переломах и компрессии спинного мозга [3, 5].

Для получения T1-ВИ всего тела оптимальным считается метод Диксона в импульсной последовательности (ИП) градиентного эха (GRE) [7], позволяющий разделять сигналы от протонов воды и жира и получать синфазные и противофазные изображения, а также изображения с сигналом только воды или только жира. Это дает возможность рассчитать относительное содержание жира — FF% (англ. fat fraction) и получить карты FF%, помогающие в обнаружении метастазов в кости, дифференциальной диагностике их с доброкачественными очагами при первичном исследовании, а также для оценки их реакции на терапию [8, 9].

Если отсутствует возможность использовать метод Диксона, возможна его замена комбинацией T1-ВИ и STIR (рис. 1). Однако метод Диксона имеет ряд преимуществ: более высокую контрастность очагов; значительно меньшее время сканирования; однородное подавление жира; уменьшение артефактов магнитной восприимчивости; возможность использования при внутривенном контрастировании; количественную оценку фракции жира [10–12].

Получение T2-ВИ без подавления жира полезно для выявления висцеральных поражений.

Все анатомические последовательности на уровне грудной клетки и брюшной полости проводят на задержке дыхания.

ДВИ ВТ предпочтительнее получать с помощью методики диффузионно-взвешенной визуализации с подавлением сигнала от фоновых тканей (DWIBS, англ. diffusion weighted imaging with background suppression), которая не требует задержки дыхания пациента, и позволяет увеличить контрастность очагов за счет подавления сигнала от жира [13–15]. Сканирование проводят в аксиальной плоскости, в которой менее выражены артефакты, используя то

же поле зрения (FOV), количество и толщину срезов, что и для T2-ВИ, чтобы обеспечить оптимальное сравнение изображений. На основе ДВИ с высоким b-фактором всех анатомических областей, реконструированных методом проекции максимальной интенсивности (MIP, англ. maximum intensity projection), получают 3D-изображение, вращающееся вокруг краниокаудальной оси. Это позволяет визуально определить участки ограничения диффузии на ДВИ ВТ, отображающиеся в инвертированной шкале серого для аналогии с ПЭТ (рис. 1).

Длительность выполнения стандартного протокола на томографе 3Тл составляет 35–45 минут. При выполнении модифицированного стандартного протокола на МР-томографе 1.5 Тл с заменой T1-ВИ Dixon на T1-ВИ SE + STIR в коронарной плоскости время исследования у нас составило 70 мин.

Клинические данные

Клиническая информация о пациенте, необходимая для анализа изображений, включает:

- гистологическое строение опухоли и сумму баллов по Глисон, которые прямо коррелируют с визуализацией опухоли на ДВИ и значением ИКД. Так, например, при сумме баллов Глисон 6 как для первичной опухоли, так и для редких в данном случае отдаленных метастазов характерно слабо выраженное повышение интенсивности сигнала на ДВИ и достаточно высокие значения ИКД. Наоборот, для низкодифференцированных или достаточно крупных опухолей с высокой суммой баллов по Глисон характерна высокая интенсивность сигнала на ДВИ и низкие значения ИКД [16, 17];

- уровень ПСА, время удвоения ПСА, наличие КРРПЖ, так как они коррелируют с вероятностью отдаленного метастазирования;

- ранее проводимое лечение, поскольку МР-характеристики первичного очага в предстательной железе и очагов вторичного поражения значительно изменяются на фоне проводимой терапии; кроме того, может меняться характеристика окружающих тканей, например, на фоне химиотерапии с использованием стероидов, препаратов железа или колониестимулирующих факторов у пациентов может меняться содержание жира, железа и клеточность в костном мозге.

Алгоритм анализа МРТ всего тела. Большой объем информации, получаемой при МРТ ВТ, делает ее оценку сложной и трудоемкой задачей, для решения которой необходимо придерживаться определенного алгоритма.

Анализ МРТ ВТ как при первичном, так и при повторном исследовании, целесообразно начинать с MIP реконструкции ДВИ с высоким b-фактором, формирующей общее впечатление о распространенности метастатического процесса и локализации патологических очагов. Эти очаги требуют последующего детального изучения для исключения доброкачественных изменений, к которым относятся переломы, остеоартрит, инфекционные очаги,

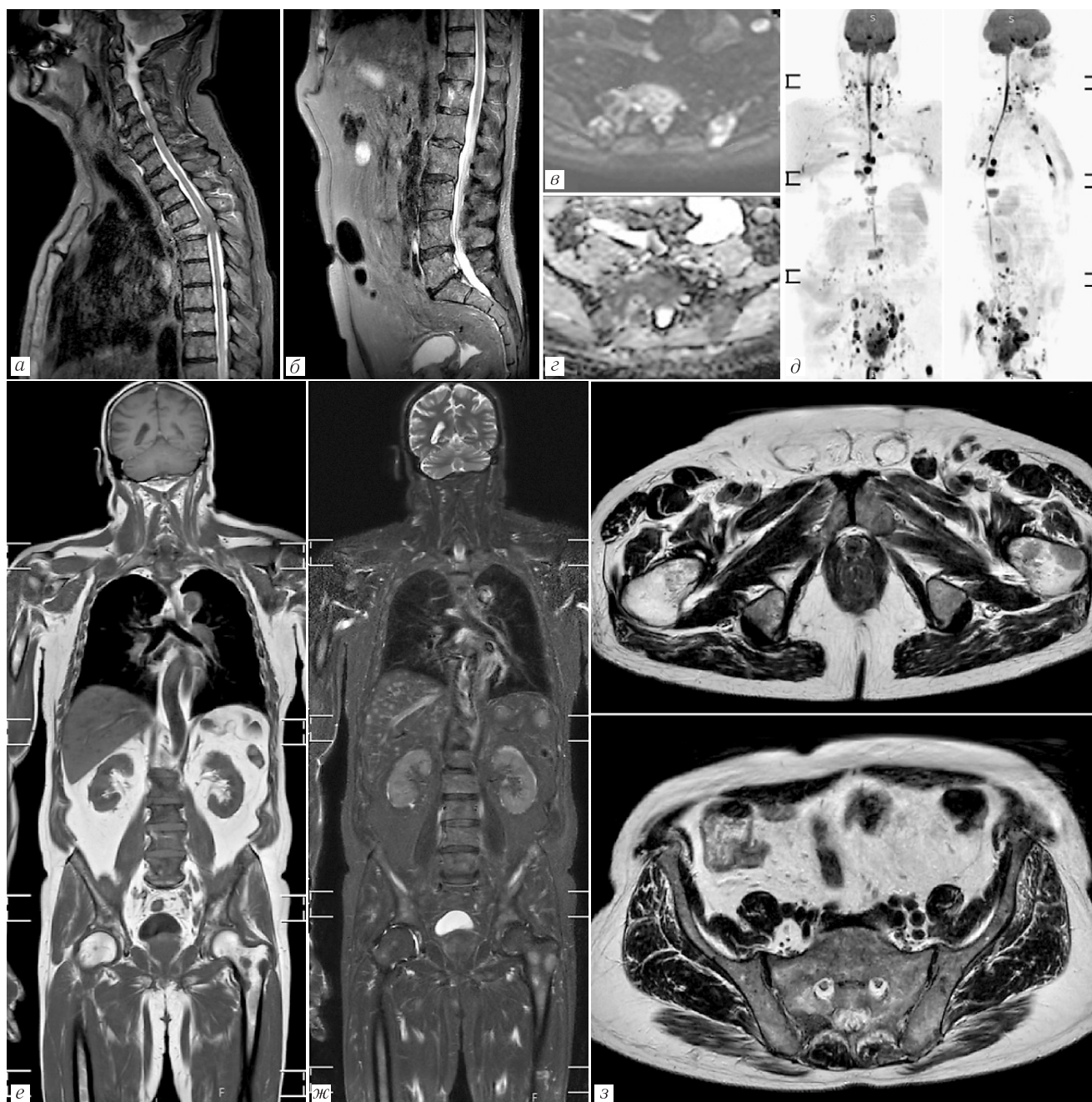


Рис. 1. Стандартный протокол сканирования пациента с КРПЖ в соответствии с рекомендациями Met-RADS-P: *a, б* — томограммы всего позвоночника в ИП STIR (сагиттальная плоскость), аналогичные изображения в режиме T1-ВИ не представлены; *в* — ДВИ с b -фактом 800 с/мм^2 в аксиальной плоскости; *г* — карта ИКД; *д* — инвертированная MIP-реконструкция ДВИ всего тела с b -фактом 800 с/мм^2 в двух проекциях; *е* — реконструкция T1-ВИ всего тела в коронарной плоскости; *ж* — реконструкция изображения всего тела в ИП STIR в коронарной плоскости; *з* — T2-ВИ в аксиальной плоскости на двух уровнях

Fig. 1. Standard scan protocol for a patient with metastatic prostate cancer according to Met-RADS-P guidelines: *a, б* — tomograms of the entire spine in STIR (sagittal plane), similar images in T1WI are not presented; *в* — DWI with b -value 800 s/mm^2 in the axial plane; *г* — ADC map; *д* — inverted MIP reconstruction of DWI of the whole body with a b -value of 800 s/mm^2 in two projections; *е* — reconstruction T1WI of the whole body in the coronal plane; *ж* — reconstruction of the whole body in STIR in the coronal plane; *з* — T2WI in the axial plane at two levels

остеонекроз, гемангиомы и изолированные гемопозитические островки [18, 19].

Дальнейший анализ МРТ ВТ проводится по отдельным анатомическим областям, начиная с очагов в костях. Для того, чтобы избежать ложноположительных результатов, каждый подозрительный очаг оценивают на рабочей станции, сопоставляя ДВИ,

карту ИКД и анатомические ИП (T1 Dixon/(T1 SE+STIR) и T2). Оценка ДВИ со значением b 800–1000 основана на сравнении интенсивности сигнала патологического очага с интенсивностью сигнала соседних мышц, а оценка карт ИКД является количественной. Значения ИКД неизмененного костного мозга обычно ниже $0,6\text{--}0,7 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$; жизнеспособная опухоль

находится в диапазоне от $0,7 \times 10^{-3}$ мм²/с до $1,4 \times 10^{-3}$ мм²/с; значения ИКД в метастатических очагах $\geq 1,4 \times 10^{-3}$ мм²/с обычно наблюдаются после лечения и при некрозе. Измерение ИКД проводят в участках с высоким сигналом на ДВИ (b 800–1000 с/мм²), однако отсутствие высокого сигнала не исключает возможности измерения ИКД в очагах с высоким сигналом на изображениях с промежуточными значениями b-фактора (b 500–600 с/мм²).

На T1-ВИ Диксон для метастазов характерна инфильтрация костного мозга с выраженным сокращением жирового компонента, которое может быть оценено количественно с помощью карты FF% [12, 20]. На изображениях в режимах T1SE и STIR интенсивность сигнала очагов оценивается только качественно или полуколичественно, путем сравнения с сигналом от скелетных мышц [9, 21].

Распространенность поражения костей оценивается по семи областям скелета: череп; шейный, грудной и поясничный отделы позвоночника; кости таза; кости грудной стенки; конечности.

Оценку лимфатических узлов проводят по трем областям: тазовые; забрюшинные; другие группы лимфатических узлов. Лимфатические узлы хорошо визуализируются на ДВИ, так как они в норме ограничивают диффузию, однако все измерения следует выполнять на T1-ВИ или T2-ВИ, начиная с регионарных, заканчивая отдаленными (лимфоузлы средостения, подмышечные, шейные и др.). Возможно изолированное поражение отдаленных лимфатических узлов, как у первичных больных, так и пациентов на фоне терапии, особенно после дистанционной лучевой терапии на область малого таза.

Висцеральное поражение оценивают также по трем областям: печень; легкие; другие органы.

Выявление висцеральных метастазов проводят с помощью ДВИ и карт ИКД, T2-ВИ, T1-ВИ. Помимо легких и печени, где наиболее часто встречаются висцеральные метастазы рака предстательной железы, они могут быть обнаружены в головном мозге, надпочечниках, селезенке, поджелудочной железе, молочных железах, почках, мышцах и мягких тканях и, слюнных железах [22].

Таким образом, при первичном МРТ ВТ оценивают распространенность поражения по 14 зонам интереса, включая первичный очаг (предстательную железу) при использовании расширенного протокола, семь областей скелета (череп; шейный; грудной и поясничный отделы позвоночника, кости таза; кости грудной стенки; конечности), три области лимфатических узлов (тазовые; забрюшинные; другие группы) и три области висцерального поражения (печень, легкие, другие органы).

Для Met-RADS-P специфическая визуализация предстательной железы или ее ложа после простатэктомии не является обязательной. При подозрении на наличие персистирующего или рецидивирующего местного заболевания можно выполнить стандартное МРТ малого таза.

Рутинные исследования головного мозга у пациентов с опухолями, имеющими гистологию аденокарциномы, не требуются. Обследование мозга показано всем пациентам с мелкоочаговыми/нейроэндокринными опухолями.

Терминология Met-RADS-P.

Диффузное поражение — наличие более 10 очагов в какой-либо анатомической области или диффузный характер инфильтрации костного мозга.

Измеряемые очаги для костей и висцерального поражения — очаги более 1,5 см в наибольшем диаметре; для лимфатических узлов — более 1,5 см по короткой оси. Порог в 1,5 см установлен, учитывая относительно низкое пространственное разрешение МРТ всего тела. Висцеральные очаги менее 1,5 см считаются неизмеряемыми. Очаги в предстательной железе оцениваются по возможности, в зависимости от пространственного разрешения, и считаются измеряемыми и поддающимися оценке при размерах более 1,5 см, и неизмеряемыми при размерах 1–1,5 см. При дополнительном получении изображений с высоким пространственным разрешением и маленьким FOV патологические очаги с МР-характеристиками ЗНО можно считать измеряемыми при размерах более 1 см. Лимфатические узлы менее 1,5 см и более 1 см считаются патологическими, но неизмеряемыми.

Целевые очаги — очаги, выбранные для последующей оценки динамики и характера ответа на лечение. Нецелевые поражения следует фиксировать, но не измерять. Необходимо регистрировать наличие неизмеряемого поражения.

Выбор и измерение целевых очагов. Для костей, лимфатических узлов и висцеральных очагов необходимо выбрать до пяти наиболее репрезентативных целевых измеряемых очагов и детально охарактеризовать их.

В костях рекомендовано измерять максимальный размер целевых очагов на T1-ВИ (при переходе измеряемого очага в диффузную форму необходимо измерить все диффузное поражение от края до края). Желательно, при возможности, чтобы хотя бы один из 5 целевых очагов располагался в добавочном скелете (конечности, кости таза, грудная стенка). Следует выбирать не более 2 очагов на одну анатомическую область, при этом, каждая половина таза учитывается отдельно. Интенсивность сигнала на ДВИ оценивается качественно, количественная оценка ИКД необходима при динамическом наблюдении. При диффузном поражении костей рекомендуется измерять ИКД в двух пораженных костях, например, в одном из нижних поясничных позвонков и задних отделах подвздошных костей (при наличии поражения указанных областей).

При поражении лимфатических узлов и висцеральном поражении в качестве целевых выбирают только измеряемые очаги. Для висцеральных очагов рекомендуется выбирать не более двух на один орган.

Оценка посттерапевтического МРТ ВТ.

Повторное исследование рекомендуется проводить не ранее чем через 12 нед после первичного сканирования. Для пациентов с КРППЖ без метастатического поражения, с целью раннего выявления отдаленных метастазов, рекомендовано проведение МРТ ВТ с промежутками в 16 нед.

Чтобы свести к минимуму неэффективное лечение, особенно в тех случаях, когда оптимальная продолжительность лечения не известна (в клинических исследованиях), рекомендуется проводить оценку с периодичностью 8–9 нед в течение 6 мес, а затем каждые 12 нед (рекомендации PGWG [23]).

Для пациентов, получающих клинически одобренное лечение, достаточно обследования с интервалом 12 нед, если нет клинических показаний для более раннего повторного обследования, согласно европейским и международным консенсусным соглашениям по мониторингу прогресса распространенного РПЖ [24].

Оценка ответа по системе Met-RADS-P проводится как по анатомическим областям, так и в целом по пациенту при каждом последующем обследовании.

При повторном исследовании оценку ответа на лечение для каждой анатомической области и каждого целевого очага проводят по шкале RAC (англ. response assessment categories), которая включает 5 категорий: RAC 1 — наиболее вероятный ответ на лечение (рис. 2); RAC 2 — вероятный ответ на лечение; RAC 3 — стабилизация; RAC 4 — вероятное прогрессирование; RAC 5 — наиболее вероятное прогрессирование (рис. 3).

Данная шкала включает критерии ответа/прогрессирования для очагов в костях, в том числе МР-специфичные, и критерии RECIST 1.1 [25] для лимфатических узлов и висцеральных очагов (табл. 2).

Для каждой анатомической области определяется первичная, вторичная и третичная категории RAC. Первичной категорией считается наиболее частый (доминантный) паттерн в исследуемой области, вторичной категорией — второй по частоте паттерн в регионе (например, при наличии в костях таза 6 метастатических очагов, 4 из которых соответствуют наиболее вероятному ответу (RAC 1), а два — стабилизации (RAC 3), первичная категория RAC для костей таза будет соответствовать 1, а вторичная категория — 3)). Третичная категория ответа присваивается при дискордантном ответе для обозначения прогрессирования, если оно не является ни первичным, ни вторичным паттерном (например, в поясничном отделе позвоночника все 6 ранее определявшихся очагов регрессировали в размерах и соответствуют ответу на лечение или стабилизации, однако отмечается появление одного нового очага, который обозначается как третичная категория).

Важно подчеркнуть, что любое измерение размеров очага для оценки динамики должно сравниваться либо с данными первичного исследования, если размеры

очага уменьшаются, либо с надиром на фоне проводимой терапии, если размеры начали увеличиваться.

Статус основного заболевания, лимфатических узлов, внутренних органов и скелета фиксируется отдельно. Общая оценка базируется на региональных оценках.

При оценке общего ответа метастатического поражения скелета используется шкала вероятностных оценок: высокая вероятность ответа; вероятный ответ; стабилизация; вероятное прогрессирование; высокая вероятность прогрессирования; дискордантный ответ.

Общий ответ пораженных лимфатических узлов и висцеральных метастазов на проводимое лечение оценивается категориями, установленными рекомендациями (модификации PCWG RECISTv1.1) [23] как: полный ответ; частичный ответ; стабилизация; прогрессирование и дискордантный ответ.

Если проводится оценка ответа на терапию поражения предстательной железы, рекомендуется использовать критерии RECIST 1.1. Однако изменение размеров очага может не в полной мере характеризовать ответ опухоли.

Дискордантный (смешанный) ответ — соответствует разнонаправленной динамике, при которой имеются признаки прогрессирования отдельных костных или мягкотканых поражений при стабилизации или ответе на лечение со стороны большинства очагов. Дискордантный ответ для костей, лимфатических узлов и висцеральных поражений указывают на основе оценок всех исследуемых анатомических областей. Также важно отметить, является ли прогрессирование вторичным (серьезная степень несоответствия) или третичным паттерном (незначительное несоответствие).

Клиническое применение системы Met-RADS-P. Авторы системы Met-RADS-P считают, что она позволяет стратифицировать пациентов в зависимости от локализации метастазов (костные, в лимфатических узлах, висцеральные и местное прогрессирование) в соответствии с рекомендациями Рабочей группы по клиническим исследованиям рака простаты (PCWG) [8]. Met-RADS-P обеспечивает информацию о клинически значимых целях терапии, контроле опухолевого процесса с документацией прогрессирования существующих поражений и развития новых очагов, документирует отсрочку прогрессирования заболевания, включая время до развития первых метастазов и время до прогрессирования КРППЖ [23]. Met-RADS-P также позволяет фиксировать дискордантные ответы, предоставляя возможность для оценки изменения биологии опухоли посредством молекулярной характеристики образцов биопсийной ткани, которые могут быть получены из анатомических участков на основе визуализации неоднородности ответа.

Обсуждение. В литературе пока представлены немногочисленные исследования с использованием

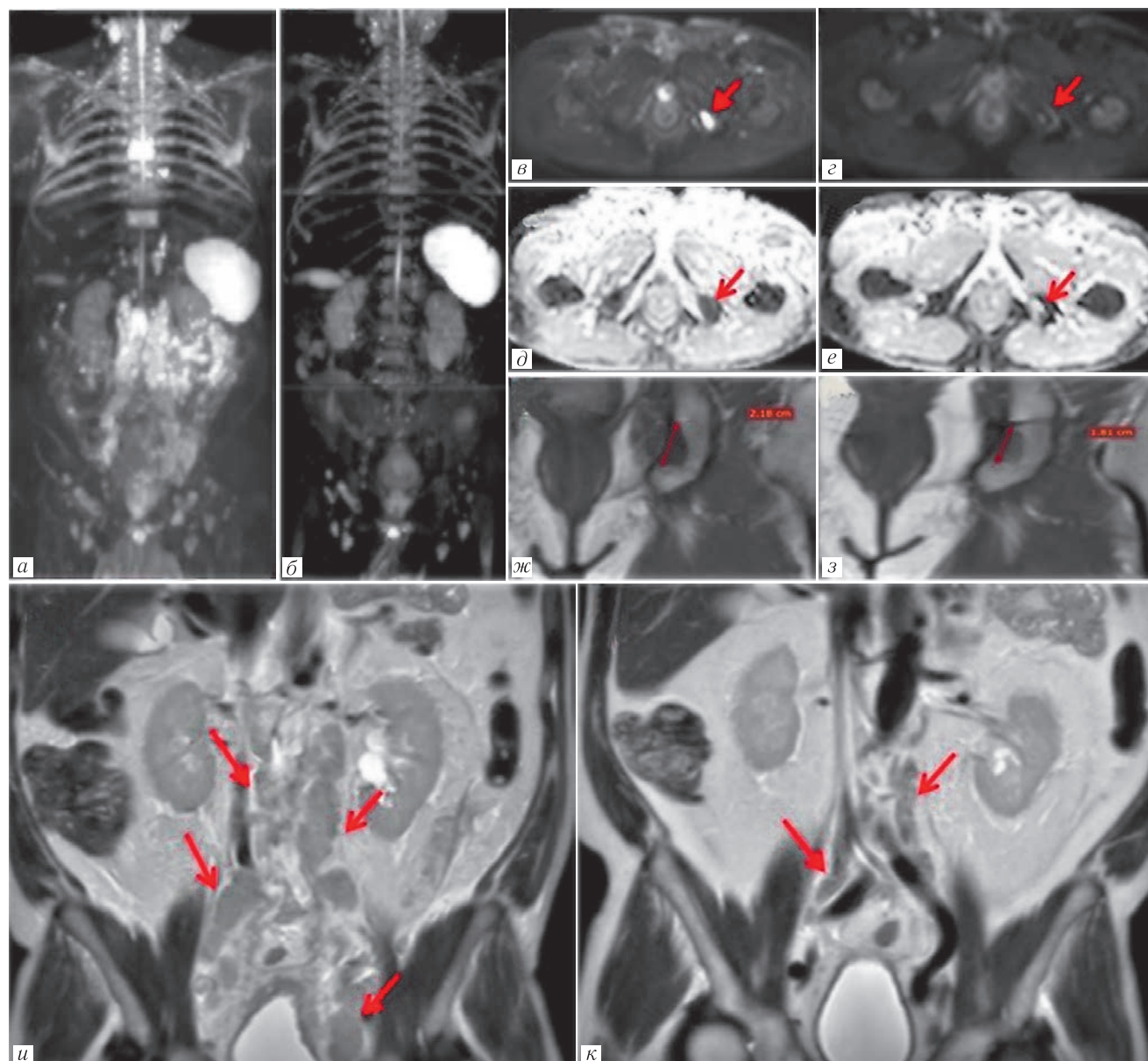


Рис. 2. Изображения МРТ всего тела 67-летнего мужчины с метастатическим РПЖ до начала терапии (изображения *а, в, д, ж*) и через 3 мес после начала химиогормонотерапии (изображения *б, г, е, з*). Исходный уровень ПСА до начала терапии — 800 нг/мл, на фоне лечения — 0,7 нг/мл. Отмечается значительный регресс участков с высоким сигналом на МIP-проекции (изображения *а, б*). При прицельной оценке на T1-ВИ отмечается сокращение размеров очага в левой седалищной кости, а также повышение интенсивности сигнала от него, что может свидетельствовать о появлении интратуморального жира в очаге (изображения *ж, з*). На ДВИ отмечается утрата высокого сигнала от указанного очага (изображения *в, г*), а также значительное повышение интенсивности сигнала на картах ИКД с 0,75 до $1,56 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$ (изображения *д, е*). Совокупность указанных признаков соответствует категории RAC 1 — наиболее вероятный ответ на лечение для указанного целевого очага. Также отмечается регрессия ранее увеличенных конгломератов лимфатических узлов (изображения *и, к*), что соответствует категории RAC1 — наиболее вероятный ответ на лечение

Fig. 2. Whole-body MRI images of a 67-year-old man with metastatic prostate cancer before initiation of therapy (images *a, в, д, ж*) and 3 months after initiation of chemohormonal therapy (images *б, г, е, з*). The initial PSA level before the start of therapy was 800 ng/ml, during treatment — 0.7 ng/ml. There is a significant regression of areas with high signal on the MIP projection (images *a, б*). A targeted assessment on T1-weighted image shows a reduction in the size of the lesion in the left ischium, as well as an increase in the intensity of the signal from it, which may indicate the appearance of intratumoral fat in the lesion (images *ж, з*). On DWI, there is a loss of high signal from the indicated lesion (images *в, г*), as well as a significant increase in signal intensity on ADC maps from 0.75 to $1.56 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ (images *д, е*). The combination of these signs corresponds to RAC1 category — the most likely response to treatment for the specified target lesion. Also, regression of previously enlarged lymph node conglomerates is noted (images *и, к*), which corresponds to the RAC1 category — the most likely response to treatment

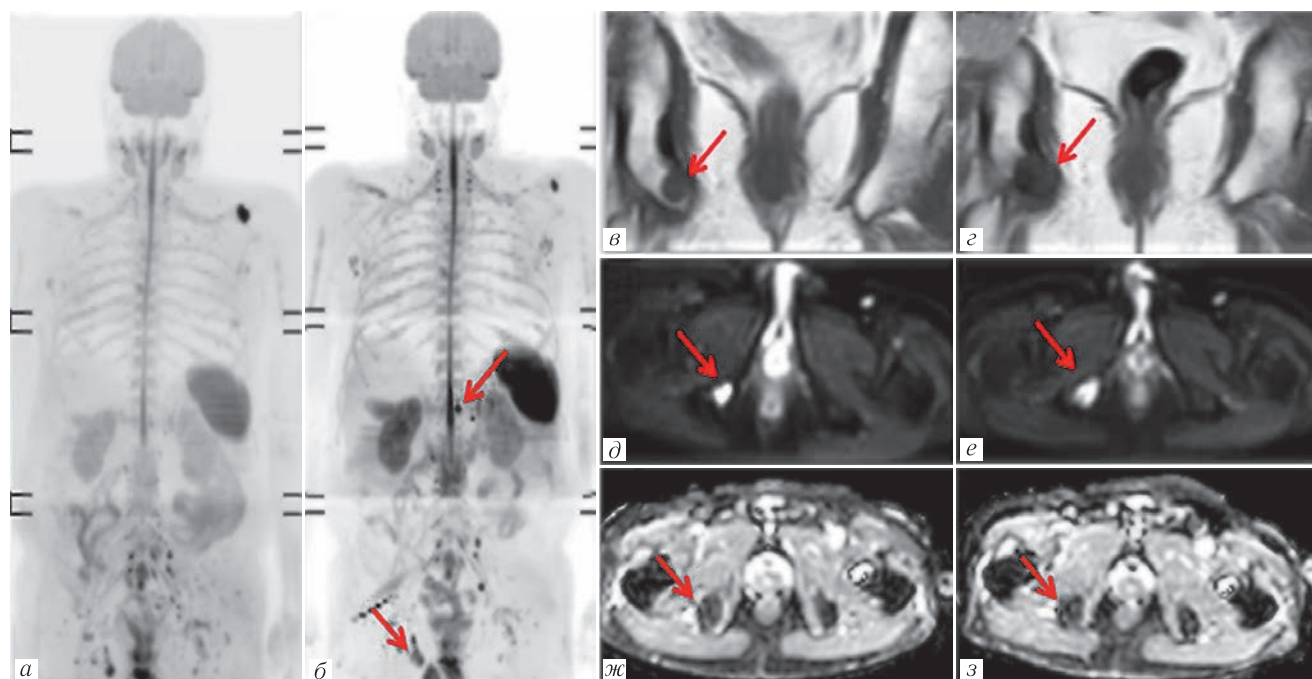


Рис. 3. Изображения МРТ всего тела 73-летнего мужчины с метастатическим РПЖ до начала терапии (изображения *а, в, д, ж*) и через 4 мес после начала химиогормонотерапии (изображения *б, г, е, з*). Исходный уровень ПСА до начала терапии — 12 нг/мл, на фоне лечения — 18 нг/мл. На МIP-изображениях (*а, б*) отмечается увеличение интенсивности сигнала и размеров очагов в костях позвоночника и таза (красная стрелка). При прицельной оценке на T1-ВИ отмечается значительное увеличение размеров очага (красная стрелка) в правой седалищной кости (изображения *в, г*). На ДВИ отмечается отсутствие динамики интенсивности сигнала и значений ИКД (*д, е, ж, з*).

Совокупность указанных признаков соответствует категории RAC 5 — наиболее вероятное прогрессирование

Fig. 3. Whole-body MRI images of a 73-year-old man with metastatic prostate cancer before initiation of therapy (images *a, в, д, ж*) and 4 months after initiation of chemohormonal therapy (images *б, г, е, з*). The initial PSA level before the start of therapy was 12 ng/ml, during treatment — 18 ng/ml. MIP images (*а, б*) show an increase in signal intensity and size of lesions in the bones of the spine and pelvis (red arrow). A targeted assessment on T1-weighted images shows a significant increase in the size of the lesion (red arrow) in the right ischium (images *в, г*). On DWI, there is a lack of dynamics in signal intensity and ADC values (*д, е, ж, з*). The combination of these signs corresponds to RAC5 category — the most likely progression

системы Met-RADS-P. Оценка надежности системы Met-RADS-P проведена Pricolo и соавт. [26]. Они установили, что для первичного (доминантного) паттерна RAC согласие между экспертами было отличным для метастатического поражения в шейном, грудном и пояснично-крестцовом отделах позвоночника, тазу, конечностях, легких (К: 0,81–1,0); существенным — для поражения грудной клетки, забрюшинных лимфатических узлов, лимфатических узлов других групп и печени (К: 0,61–0,80); умеренным — для тазовых лимфатических узлов (К: 0,56), удовлетворительным — для первичного очага. Что касается вторичного паттерна RAC, согласие между экспертами было отличным для метастатических очагов в шейном отделе позвоночника (К: 0,93) и забрюшинных лимфатических узлах (К: 0,89), существенным — для метастатического поражения грудного отдела позвоночника, таза, грудной клетки, конечностей и тазовых лимфатических узлов (К: 0,61–0,80) и умеренным для пояснично-крестцового отдела позвоночника (К: 0,44). В целом на основе полученных результатов авторы делают вывод о целесообразности использования Met-RADS-P

в ответ на растущую клиническую потребность в мониторинге метастазов у пациентов с КРРПЖ, подчеркивая, что оценка костных метастазов с использованием критериев Met-RADS-P, основанных на значениях ИКД и морфологических особенностях, была почти нечувствительна к опыту врача-рентгенолога. Вместе с тем они отметили, что оценка вторичного паттерна RAC, включающего меньшинство метастазов (менее 50% поражений по определению) в отдельной анатомической области, зависит от способности врача-рентгенолога идентифицировать отличающийся от остальных ответ отдельных очагов. Оценка вторичного паттерна RAC направлена на выявление дискордантного (смешанного) ответа после терапии и может быть клинически важной. Недооценка прогрессирования заболевания на уровне вторичного паттерна RAC может отсрочить переход к следующему варианту лечения, причем пациенту в это время будет проводиться неэффективное (и дорогостоящее) лечение.

Результаты, полученные Liu и соавт. [27], выполнявшими исследования малого таза на 3 Тл томографе, также показали, что воспроизводимость оценки

Таблица 2
Table 2

Категории системы MET-RADS-P для оценки ответа на лечение

MET-RADS-P categories for assessing response to treatment

RAC	Классификация	Критерии оценки ответа на терапию для метастатического поражения скелета	Критерии оценки ответа на терапию для пораженных лимфатических узлов и метастазов в паренхиматозных органах (критерии RECIST 1.1)
1	Наиболее вероятный ответ на лечение	<ul style="list-style-type: none">— Замещение нормальным костным мозгом областей очаговой или диффузной метастатической инфильтрации.— Уменьшение количества или размера очаговых поражений, соответствующее наиболее вероятному ответу на лечение.— Трансформация диффузного неопластического процесса в очаговое поражение.— Регрессия мягкотканого компонента в костных метастазах.— Тотальное склерозирование поражения, четкость контуров, истончение или исчезновение гипертенсивного ободка на T2-ВИ с подавлением жира.— Появление интра- или перитуморального жира внутри/вокруг очагов поражения (жировые точки/признаки ореола).— Изменение ИКД $\leq 1400 \text{ мкм}^2/\text{с}$ на $> 1400 \text{ мкм}^2/\text{с}$.— Увеличение в сравнении с исходным уровнем ИКД на 40% и более с соответствующим снижением сигнала на ДВИ с высоким b-фактором и морфологические данные, соответствующие стабилизации и ответу на лечение Видимое улучшение, но недостаточное для RAC 1: <ul style="list-style-type: none">— повышение ИКД в ранее выявленных очагах $\leq 1000 \text{ мкм}^2/\text{с}$ до $< 1400 \text{ мкм}^2/\text{с}$;— увеличение ИКД $> 25\%$ но $< 40\%$ в сравнении с исходным уровнем, с соответствующим снижением сигнала на ДВИ с высоким b фактором; и признаки стабилизации или ответа на лечение в очагах на морфологических изображениях	<ul style="list-style-type: none">— Полная регрессия ранее увеличенных лимфатических узлов (все узлы должны быть менее 10мм)— Уменьшение суммы наибольшего диаметра целевых поражений как минимум на 30%, в сравнении с начальными данными
2	Вероятный ответ на лечение	Без существенных изменений	Все изменения, соответствующие ответу опухоли, не подходящие под критерии RECIST 1.1 для полного/частичного ответа: <ul style="list-style-type: none">— Уменьшение суммы наибольшего диаметра целевых поражений менее чем на 30%, в сравнении с начальными данными
3	Стабилизация	Без существенных изменений	Без существенных изменений
4	Вероятное прогрессирование	Видимое ухудшение, но недостаточное для постановки RAC 5: <ul style="list-style-type: none">— неоднозначное выявление нового(-ых) очага(-ов);— очаг без изменения размера, но с увеличением интенсивности сигнала на ДВИ с высоким значением b-фактора (со значениями ИКД $< 1400 \text{ мкм}^2/\text{с}$) в соответствии с возможным прогрессированием заболевания;— рецидив: повторное появление очагов, которые ранее исчезли, или увеличение очагов (поражений), которые частично регрессировали /стабилизировались после проведенного лечения; наличие очагов, которые могут быть клинически значимыми (за исключением бессимптомных переломов);— стеноз позвоночного канала за счет экстраоссального компонента очага, не сопровождающийся неврологическими симптомами и не требующий лучевой терапии	Все изменения, соответствующие прогрессированию, не подходящие под критерии RECIST 1.1 для прогрессирования: <ul style="list-style-type: none">— Увеличение суммы наибольшего диаметра целевых поражений менее чем на 20% в сравнении с данными до начала лечения
5	Наиболее вероятное прогрессирование	<ul style="list-style-type: none">— новые компрессионные переломы/компрессия спинного мозга, требующие лучевой терапии/хирургического вмешательства в случае злокачественного характера по сигнальным характеристикам на МРТ;— однозначные новые очаговые/диффузные области метастатической инфильтрации в ранее нормальном костном мозге;— однозначное увеличение количества/размера очаговых поражений;— переход очаговых поражений в диффузный паттерн;— появление/увеличение мягкотканого компонента в костных метастазах;— новые поражения/области с высокой интенсивностью сигнала на изображениях с высоким b-фактором и значением ИКД от $600 \text{ мкм}^2/\text{с}$ до $1000 \text{ мкм}^2/\text{с}$	<ul style="list-style-type: none">— Увеличение суммы наибольшего диаметра целевых поражений как минимум на 20% в сравнении с данными до начала лечения.— Появления одного или нескольких новых поражений. Для нецелевых очагов: <ul style="list-style-type: none">— для лимфатических узлов менее 1 см прогрессированием считается увеличение по меньшей мере на 5 мм с итоговым размером более 1 см по короткой оси;— для лимфатических узлов с исходными размерами 1–1,5 см прогрессированием считается увеличение минимум на 5 мм с итоговым размером более 1,5 см по короткой оси

для доминантного паттерна RAC была выше, чем для вторичного, и зависела от опыта врача-рентгенолога.

Исследование Yoshida и соавт. [28] было направлено на оценку распространенности метастазов и прогностического влияния шкалы Met-RADS-P у 70 пациентов с КРРПЖ. МРТ ВТ выявило, что 40% пациентов с КРРПЖ имели олигометастатический процесс и были кандидатами на местную терапию. Кроме того, впервые было показано прогностическое значение шкалы Met-RADS-P у пациентов с КРРПЖ, поскольку была установлена связь объема костных метастазов и наличия висцерально-поражения с общей выживаемостью.

Основным препятствием к широкому внедрению в клиническую практику МРТ ВТ является длительность процедуры исследования и большой объем диагностических данных, требующий значительного времени для анализа и составления отчета. С целью оптимизации извлечения количественной информации из карт FF% и ИКД было разработано несколько методов полуавтоматической сегментации для разграничения пораженных и здоровых тканей и доброкачественных образований. Так, предложен

инструмент для сегментации изображений МРТ ВТ, сочетающий применение пороговых значений и ручное редактирование, чтобы обеспечить более эффективную сегментацию опухолевой нагрузки. При оценке костного мозга и костных метастазов он показал очень хорошую воспроизводимость [2]. Однако на данный момент сегментация не является частью стандартов Met-RADS и для ее валидации необходимы дальнейшие клинические испытания.

Заключение. Система Met-RADS-P систематизирует подход к выполнению и описанию МРТ ВТ у пациентов с КРРПЖ, позволяя воспроизвести методику практически на любом современном томографе, начиная с составления протокола сканирования, заканчивая стандартизированным отчетом о результатах исследования. Это делает метод МРТ ВТ воспроизводимым в различных медицинских учреждениях, а следовательно, повышает его ценность. Тем не менее Met-RADS-P относительно новая система и нуждается в крупных многоцентровых клинических исследованиях для подтверждения ее эффективности и репрезентативности, а также нивелирования недостатков.

Информация об авторах:

Березовская Татьяна Павловна — доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отделения лучевой диагностики Медицинского радиологического научного центра имени А. Ф. Цыба — филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10; e-mail: berez@mrnc.obninsk.ru; ORCID 0000-0002-3549-4499;

Рипп Владислав Олегович — врач-рентгенолог, аспирант отделения лучевой диагностики Медицинского радиологического научного центра имени А. Ф. Цыба — филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10; ORCID 0000-0001-8970-4212;

Троянов Алексей Владимирович — врач-онколог отделения лучевого и хирургического лечения урологических заболеваний с группой брахитерапии рака предстательной железы Медицинского радиологического научного центра имени А. Ф. Цыба — филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10; ORCID 0000-0001-7025-5365;

Иванов Сергей Анатольевич — доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики имени В. П. Харченко медицинского института РУДН, директор Медицинского радиологического научного центра имени А. Ф. Цыба — филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10; ORCID 0000-0001-7689-6032;

Каприн Андрей Дмитриевич — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заслуженный врач РФ, генеральный директор федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Маршала Жукова, д. 10; директор федерального государственного бюджетного учреждения «Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П. А. Герцена» Министерства здравоохранения Российской Федерации; главный внештатный онколог Министерства здравоохранения Российской Федерации, заведующий кафедрой онкологии и рентгенодиагностики имени В. П. Харченко медицинского института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН); 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, ORCID 0000-0001-8784-8415.

Information about authors:

Tatiana P. Berezovskaya — Dr. of Sci. (med.), professor, chief researcher of the Department of Radiology of the A. Tsyb Medical Radiological Research Centre — branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation «Medical Radiological Research Center», Russian Federation, 249031, Obninsk, Marshal Zhukov str., 10; ORCID 0000-0002-3549-4499;

Vladislav O. Ripp — radiologist, graduate student of the Department of Radiology of the A. Tsyb Medical Radiological Research Centre — branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation «Medical Radiological Research Center», Russian Federation, 249031, Obninsk, Marshal Zhukov str., 10; ORCID 0000-0001-8970-4212;

Aleksey V. Troyanov — oncologist of the Department of Radiation and Surgical Treatment of Urological Diseases with a group of brachytherapy for prostate cancer of the A. Tsyb Medical Radiological Research Centre — branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation «Medical Radiological Research Center», Russian Federation, 249036, Obninsk, Marshal Zhukov str., 10; ORCID 0000-0001-7025-5365;

Sergey A. Ivanov — Dr. of Sci. (med.), corresponding member of the Russian Academy of Sciences, director A. Tsyb MRRC, professor of Chair of Oncology and Radiology named after Kharchenko V.P. RUDN University; Russian Federation, 249031, Obninsk, Marshal Zhukov str., 10; ORCID 0000–0001–7689–6032;

Andrey D. Kaprin — Dr. of Sci. (med.), professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, honored doctor of the Russian Federation, general director, Head of Chair of Oncology and Radiology named after Kharchenko V.P. RUDN University; Russian Federation, 249031, Obninsk, Marshal Zhukov str., 10; ORCID 0000–0001–8784–8415.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *Т.П. Березовская*; сбор и анализ данных — *Т.П. Березовская, В.О. Пунн, А.В. Троянов*; подготовка рукописи — *Т.П. Березовская, В.О. Пунн, С.А. Иванов, А.В. Троянов, А.Д. Каприн*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *TPB*, aided in the concept and plan of the study; *TPB, VOR, AVT* provided collection and mathematical analysis of data; *TPB, VOR, SAI, AVT, ADK* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интереса, связанных с публикацией настоящей статьи.

Conflict of interest. The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Соответствие принципам этики. Одобрения этического комитета не требовалось.

Adherence to ethical standards. The approval of the ethics committee was not required.

Поступила/Received: 04.03.2024

Принята к печати/Accepted: 29.08.2024

Опубликована/Published: 29.09.2024

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Padhani A.R., Liu G., Koh D.M. et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging as a cancer biomarker: consensus and recommendations // *Neoplasia*. 2009. Vol. 11, No. 2. P. 102–125. doi: 10.1593/neo.81328.
2. Summers P., Saia G., Colombo A. et al. Whole-body magnetic resonance imaging: technique, guidelines and key applications // *Eancer medical science*. 2021. Vol. 15. P. 1164. doi: 10.3332/ecancer.2021.1164.
3. Messiou C., Hillengass J., Delorme S. et al. Guidelines for acquisition, interpretation, and reporting of whole-body MRI in myeloma: myeloma response assessment and diagnosis system (MY-RADS) // *Radiology*. 2019. Vol. 291. P. 5–13. doi: 10.1148/radiol.2019181949.
4. Petralia G., Koh D.M., Attariwala R. et al. Oncologically Relevant Findings Reporting and Data System (ONCO-RADS): Guidelines for the Acquisition, Interpretation, and Reporting of Whole-Body MRI for Cancer Screening // *Radiology*. 2021. Vol. 299, No. 3. P. 494–507. doi: 10.1148/radiol.2021201740.
5. Padhani A.R., Lecouvet F.E., Tunariu N. et al. METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer: Practical Guidelines for Acquisition, Interpretation, and Reporting of Whole-body Magnetic Resonance Imaging-based Evaluations of Multiorgan Involvement in Advanced Prostate Cancer // *Eur. Urol*. 2017. Vol. 71, No. 1. P. 81–92. doi: 10.1016/j.eururo.2016.05.033.
6. Schmidt G.P., Schoenberg S.O., Reiser M.F. et al. Whole-body MR imaging of bone marrow // *Eur. J. Radiol*. 2005. Vol. 55. P. 33–40. doi: 10.1016/j.ejrad.2005.01.019.
7. Dixon W.T. Simple proton spectroscopic imaging // *Radiology*. 1984. Vol. 153, No. 1. P. 189–194. doi:10.1148/radiology.153.1.6089263.
8. Bray T.J., Chouhan M.D., Punwani S., Bainbridge A., Hall-Craggs M.A. Fat fraction mapping using magnetic resonance imaging: insight into pathophysiology // *Br. J. Radiol*. 2018 Sep. Vol. 91, No. 1089. P. 20170344. doi: 10.1259/bjr.20170344.
9. Gee C.S., Nguyen J.T., Marquez C.J., Heunis J., Lai A., Wyatt C., Han M., Kazakia G., Burghardt A.J., Karampinos D.C., Carballido-Gamio J., Krug R. Validation of bone marrow fat quantification in the presence of trabecular bone using MRI // *J. Magn. Reson. Imaging*. 2015. Vol. 42, No. 2. P. 539–544. doi: 10.1002/jmri.24795.
10. Guerini H., Omoumi P., Guichoux F. et al. Fat suppression with Dixon techniques in musculoskeletal magnetic resonance imaging: a pictorial review // *Semin Musculoskeletal Radiol*. 2015. Vol. 19. P. 335–347.
11. Lins C.F., Salmon C.E.G., Nogueira-Barbosa M.H. Applications of the Dixon technique in the evaluation of the musculoskeletal system // *Radiol. Bras*. 2021. Vol. 54, No. 1. P. 33–42. doi:10.1590/0100-3984.2019.0086.
12. Lecouvet F.E., Pasoglou V., Van Nieuwenhove S., Van Haver T., de Broqueville Q., Denolin V. et al. Shortening the acquisition time of whole-body MRI: 3D T1 gradient echo Dixon vs fast spin echo for metastatic screening in prostate cancer // *Eur. Radiol*. 2020. Vol. 30, No. 6. P. 3083–3093.
13. Михайлов А.И., Панов В.О., Мещерякова Н.А., Пронин А.И., Вихрова Н.Б., Долгушин М.Б. Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография всего тела с оценкой измеряемого коэффициента диффузии при лимфоме Ходжкина // *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2018. Vol. 1, № 3. С. 44–48. [Mikhaylov A.I., Panov V.O., Meshcheryakova N.A., Pronin A.I., Vikhrova N.B., Dolgushin M.B. Whole-body diffusion-weighted magnetic resonance imaging with measured diffusion coefficient assessment in Hodgkin's lymphoma. *Oncological journal: radiation diagnostics, radiation therapy*, 2018, Vol. 1, No. 3, pp. 44–48 (In Russ.)] doi:10.37174/2587-7593-2018-1-3-44-48
14. Kwee T.C., Takahara T., Ochiai R., Nieuwenstein R.A., Luijten P.R. Diffusion-weighted whole-body imaging with background body signal suppression (DWIBS): features and potential applications in oncology // *Eur. Radiol*. 2008. Vol. 18, No. 9. P. 1937–1952. doi: 10.1007/s00330-008-0968-z.
15. Takahara et al. Diffusion weighted whole body imaging with background body signal suppression (DWIBS): Technical improvement using free breathing, STIR and high resolution 3D display // *Radiation medicine*. 2003. Vol. 22. P. 275–282.

16. Nagarajan R., Margolis D., Raman S., Sheng K., King Ch., Reiter R., Thomas M.A. Correlation of Gleason Scores with Diffusion-Weighted Imaging Findings of Prostate Cancer // *Advances in Urology*. 2012. Vol. 2012, 5 p. <https://doi.org/10.1155/2012/374805>.
17. 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. Vol. 8, Suppl. 3. P. S216-S222. doi: 10.21037/gs.2019.05.02.
18. Shi Y.J., Li X.T., Zhang X.Y., Liu Y.L., Tang L., Sun Y.S. Differential diagnosis of hemangiomas from spinal osteolytic metastases using 3.0 T MRI: comparison of T1-weighted imaging, chemical-shift imaging, diffusion-weighted and contrast-enhanced imaging // *Oncotarget*. 2017. Vol. 8, No. 41. P. 71095–71104. doi: 10.18632/oncotarget.20533.
19. Koh D.M., Blackledge M., Padhani A.R. et al. Whole-body diffusion-weighted MRI: tips, tricks, and pitfalls // *AJR Am.J.Roentgenol*. 2012. Vol. 199, No. 2. P. 252–262. doi: 10.2214/AJR.11.7866.
20. Van Nieuwenhove S., Van Damme J., Padhani A.R., Vandecaveye V., Tombal B., Wuts J., Pasoglou V., Lecouvet F.E. Whole-body magnetic resonance imaging for prostate cancer assessment: Current status and future directions // *J. Magn. Reson. Imaging*. 2022. 55: 653–80. <https://doi.org/10.1002/jmri.27485>.
21. Grimm A., Meyer H., Nickel M.D. et al. Evaluation of 2-point, 3-point, and 6-point Dixon magnetic resonance imaging with flexible echo timing for muscle fat quantification // *Eur. J. Radiol*. 2018. Vol. 103. P. 57–64.
22. Gandaglia G., Abdollah F., Schiffmann J., Trudeau V., Shariat SF., Kim SP., Perrotte P., Montorsi F., Briganti A., Trinh QD., Karakiewicz PI., Sun M. Distribution of metastatic sites in patients with prostate cancer: A population-based analysis // *Prostate*. 2014. Feb. Vol. 74, No. 2. P. 210–216. doi: 10.1002/pros.22742.
23. Scher H.I., Morris M.J., Stadler W.M. et al. Trial Design and Objectives for Castration-Resistant Prostate Cancer: Updated Recommendations From the Prostate Cancer Clinical Trials Working Group 3 // *J. Clin. Oncol*. 2016. Vol. 34, No. 12. P. 1402–1418. doi:10.1200/JCO.2015.64.2702.
24. Lapini A., Caffo O., Pappagallo G., Iacovelli R., D'Angelillo R.M., Vavassori V., Ceccarelli R., Bracarda S., Jereczek-Fossa B.A., Da Pozzo L., Conti G.N. Monitoring Patients with Metastatic Hormone-Sensitive and Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer: A Multidisciplinary Consensus Document // *Cancers (Basel)*. 2019 Dec 1. Vol. 11, No. 12. P. 1908. doi: 10.3390/cancers11121908.
25. Eisenhauer E.A., Therasse P., Bogaerts J. New response evaluation criteria in solid tumours: revised RECIST guideline (version 1.1) // *Eur. J. Cancer*. 2009. Vol. 45. P. 228–247.
26. Pricolo P., Ancona E., Summers P. et al. Whole-body magnetic resonance imaging (WB-MRI) reporting with the METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer (MET-RADS-P): inter-observer agreement between readers of different expertise levels // *Cancer Imaging*. 2020. Vol. 20, No. 1. P. 77. doi: 10.1186/s40644-020-00350-x.
27. Liu X., Xie T., Sun Z., Guo Y., Zhang X., Wang X. Analysis of interreader agreement in structured reports of pelvic multiparametric magnetic resonance imaging using the METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer guidelines // *Diagn. Interv. Radiol*. 2023. Jan 31. Vol. 29, No. 1. P. 29–39. doi: 10.5152/dir.2022.211232.
28. Yoshida S., Takahara T., Ishii C. et al. METastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer as a Prognostic Imaging Marker in Castration-resistant Prostate Cancer // *Clin. Genitourin Cancer*. 2020. Vol. 18, No. 4. P. e391-e396. doi: 10.1016/j.clgc.2019.12.010.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2025 года.

Подписной индекс:

«Урал Пресс» (Пресса России) **014023**