

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

Оптимизированный протокол бипараметрической магнитно-резонансной томографии для диагностики рака предстательной железы

Л.Р. Абуладзе¹, Д.С. Семенов¹, О.Ю. Панина^{1,2,3}, Ю.А. Васильев¹¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация² Городская клиническая онкологическая больница №1, Москва, Российская Федерация³ Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Рак предстательной железы занимает одну из лидирующих позиций в структуре онкологической заболеваемости среди мужчин. Актуальные на сегодняшний момент рекомендации PI-RADS формируют требования к протоколу магнитно-резонансной томографии, которые невозможно полностью реализовать на значительной части функционирующих томографов. В результате подход к выполнению исследования варьирует в разных медицинских организациях, что нередко негативно влияет на качество интерпретации изображения и диагностику целевой патологии.

Цель — разработать оптимизированный для существующего парка магнитно-резонансных томографов протокол бипараметрической магнитно-резонансной томографии, потенциально эффективный для скрининга рака предстательной железы и раннего выявления новообразований. При этом протокол должен быть максимально приближен к актуальным рекомендациям PI-RADS v2.1 и соответствовать требованиям к эффективности работы отделений лучевой диагностики.

Материалы и методы. Предварительный анализ полученных магнитно-резонансных изображений предстательной железы в медицинских организациях Департамента здравоохранения города Москвы показал отсутствие единого подхода к выполнению данного исследования. Методом итерационной корректировки параметров сканирования нами был настроен протокол, обеспечивающий приемлемое качество визуализации при максимально возможном соответствии требованиям PI-RADS. Для количественной оценки качества получаемых изображений применялся фантом для контроля магнитно-резонансной томографии, рекомендованный Американским обществом рентгенологов.

Результаты. Разработан оптимизированный бипараметрический протокол для томографа Excelart Vantage 1,5 T, включающий T2-взвешенные изображения в трёх плоскостях и диффузионно-взвешенные изображения общей длительностью менее 11 мин. При этом обеспечен высокий уровень детализации предстательной железы, а параметры качества изображения (неоднородность яркости, нелинейность, разрешающая способность и толщина выделяемого среза) соответствовали допустимым производителем диапазонам.

Заключение. Предложенный протокол позволяет эффективно оценивать состояние предстательной железы. Его внедрение в практику медицинских организаций может оказать значимое влияние на выявляемость рака предстательной железы у населения. Следует отметить, что длительность протокола обеспечивает возможность его дополнения практически любым набором импульсных последовательностей в зависимости от целей исследования.

Ключевые слова: рак предстательной железы; бипараметрическая магнитно-резонансная томография; стандартизация.

Как цитировать

Абуладзе Л.Р., Семенов Д.С., Панина О.Ю., Васильев Ю.А. Оптимизированный протокол бипараметрической магнитно-резонансной томографии для диагностики рака предстательной железы // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 3. С. 166–177. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

Optimized biparametric magnetic resonance imaging protocol for prostate cancer detection

Liya R. Abuladze¹, Dmitriy S. Semenov¹, Olga Yu. Panina^{1,2,3}, Yuriy A. Vasilev¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

² City Clinical Oncological Hospital No. 1, Moscow, Russian Federation

³ Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Prostate cancer is one of the most commonly diagnosed cancers in men worldwide. PI-RADS v2.1 contains the requirements for the magnetic resonance imaging protocol, which cannot be fully implemented on a significant component of functioning scanners. Consequently, magnetic resonance imaging approaches vary in different medical organizations and often do not allow for a qualitative interpretation of images and diagnosis of the target pathology.

AIM: To develop a biparametric magnetic resonance imaging protocol optimized for the existing magnetic resonance imaging scanners for the diagnosis of prostate cancer and to allow the screening and detection of neoplasms as early as possible. Simultaneously, the protocol should fulfill the current PI-RADS v2.1 recommendations to the maximum possible extent and meet the requirements of effective workflow in the radiology department.

MATERIALS AND METHODS: Preliminary analysis of prostate magnetic resonance imaging scanning in medical organizations of the Moscow Health Care Department showed the absence of a unified approach. Using the iterative adjustment of scanning parameters, we adjusted the protocol to ensure acceptable quality with maximum available compliance with PI-RADS v2.1.

To quantify the quality of the images, we used the magnetic resonance imaging phantom recommended by the American College of Radiology.

RESULTS: The biparametric protocol was developed for Excelart Vantage 1.5 T, including T2-weighted images in three planes and diffusion-weighted images, which took less than 11 min. Moreover, the image quality parameters (intensity inhomogeneity, nonlinearity, resolution, and slice thickness) were within the acceptable ranges recommended by the magnetic resonance imaging manufacturer.

CONCLUSION: The prostate may be effectively evaluated using the proposed magnetic resonance imaging protocol. Introducing it into practice could have a significant impact on the detection of prostate cancer in men. The entire duration of the protocol provides a possibility to supplement it with any sequences, depending on the final purpose of investigation.

Keywords: prostate cancer; biparametric magnetic resonance imaging; standardization.

To cite this article

Abuladze LR, Semenov DS, Panina OYu, Vasilev YuA. Optimized biparametric magnetic resonance imaging protocol for prostate cancer detection. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):166–177. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

Received: 16.06.2022

Accepted: 25.07.2022

Published: 23.08.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

用于诊断前列腺癌的优化双参数磁共振成像协议

Liya R. Abuladze¹, Dmitriy S. Semenov¹, Olga Yu. Panina^{1,2,3}, Yuriy A. Vasilev¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

² City Clinical Oncological Hospital No. 1, Moscow, Russian Federation

³ Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russian Federation

简评

论证。前列腺癌在男性癌症发病率结构中占据主导地位之一。目前的PI-RADS建议构成了对磁共振成像协议的要求，无法在功能性断层扫描仪的大部分上完全实施。因此，各医疗机构进行检查的方法各不相同，这往往对图像解读和目标病理诊断的质量产生负面影响。

目标是为现有的核磁共振成像开发一种用于诊断前列腺癌的双参数磁共振成像的优化方案，允许潜在的有效筛查和早期发现肿瘤。同时，该协议应尽可能接近当前的PI-RADS v2.1建议，并满足放射科效率的要求。

材料与方 法。莫斯科市卫生管理局医疗机构对获得的前列腺磁共振图像进行的初步分析表明，该研究的实施缺乏统一的方法。通过反复调整扫描参数，我们建立了一个协议，可提供可接受的可视化质量，同时尽可能满足PI-RADS要求。为了量化所获得图像的质量，使用了美国放射科医师协会推荐的磁共振成像控制体模。

结果。我们已为Excelart Vantage1.5 T断层扫描仪开发了一个优化的双参数协议，其中包括三个平面的作加权像和弥散加权成像，总时间不到11分钟。同时，确保了高水平的前列腺细节，图像质量参数（亮度不均匀性、非线性、分辨率和所选部分的厚度）对应于制造商的可接受范围。

结论。拟议的协议可以对前列腺进行有效的评估。将其引入医疗机构的实践会对人群中前列腺癌的可探测性产生重大影响。应该指出的是，该协议的持续时间使得可以根据研究的目标，补充几乎任何一套脉冲序列。

关键词：前列腺癌； 双参数磁共振成像； 标准化。

To cite this article

Abuladze LR, Semenov DS, Panina OYu, Vasilev YuA. 用于诊断前列腺癌的优化双参数磁共振成像协议. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):166-177.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD108484>

收到: 16.06.2022

接受: 25.07.2022

发布日期: 23.08.2022

ОБОСНОВАНИЕ

Рак предстательной железы (РПЖ) занимает второе место в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями среди мужчин [1]. Магнитно-резонансная томография (МРТ) является одним из ведущих методов диагностики РПЖ. Впервые рекомендации PI-RADS (Prostate Imaging Reporting and Data System) для оценки результатов мультипараметрической МРТ (мпМРТ) были опубликованы в 2012 г. [2] и обновлены в 2015 г. [3]. Однако система оценки по PI-RADS v.2 была недостаточно совершенной [4], поэтому в 2019 г. появилась новая версия — PI-RADS v2.1, что позволило упростить оценку и снизить вариабельность интерпретации мпМРТ предстательной железы врачами-рентгенологами [5]. В последние годы интерес к бипараметрической МРТ (бпМРТ) объясняется как более коротким временем сканирования и, соответственно, более низкой себестоимостью исследования, так и возможностью избежать зачастую неоправданного введения контрастного препарата. Динамическое контрастное усиление не всегда играет решающую роль, поскольку используется в случае обнаружения по T2-взвешенным изображениям (T2-ВИ) и картам измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) гипоинтенсивных образований. Кроме того, применение контрастного препарата имеет ряд побочных эффектов, в том числе увеличивает время сканирования и стоимость исследования [6].

Практика показала, что рекомендации PI-RADS, независимо от конечной цели исследования, не всегда могут быть соблюдены по целому ряду причин: вследствие технических характеристик магнитно-резонансных томографов, особенностей их настройки, индивидуальных пожеланий врачей-рентгенологов и клиницистов отдельных медицинских организаций, сформировавшихся протоколов сканирования для того или иного отделения лучевой диагностики.

Цель исследования — разработать ускоренный (оптимизированный) протокол бпМРТ для диагностики РПЖ в условиях медицинских организаций Департамента здравоохранения города Москвы (МО ДЗМ), максимально приближённый к рекомендациям PI-RADS v2.1. Такой протокол имеет потенциал для сокращения времени проводимого исследования с целью оптимизации работы отделений. При условии дальнейшего доказательства сопоставимой с мпМРТ диагностической точности — стандартизировать протоколы сканирования предстательной железы. В перспективе рассматривается внедрение искусственного интеллекта, чтобы использовать разработанные алгоритмы для повышения качества визуализации и оценки результатов МРТ органов малого таза у мужчин.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Первым этапом выполнена оценка действующих протоколов сканирования предстательной железы в МО

ДЗМ. Поиск и анализ результатов проводился в Едином радиологическом информационном сервисе автоматизированной Единой медицинской информационной системы г. Москвы (ЕРИС ЕМИАС) на предмет различий в методике сканирования и установленных технических параметров. Метаданные были получены и проанализированы путём их выгрузки из ЕРИС ЕМИАС. Временной интервал, по которому проводился поиск в соответствующих МО, включал 2019–2021 гг. Поисковый запрос включал следующие ключевые слова: «магнитно-резонансная томография органов малого таза», «магнитно-резонансная томография органов малого таза с контрастированием», «мультипараметрическая магнитно-резонансная томография предстательной железы», «бипараметрическая магнитно-резонансная томография предстательной железы». Клинические случаи были выбраны авторами случайным образом.

Далее, так же случайным образом, были выбраны три медицинские организации (МО 1, МО 2, МО 3) с наиболее распространённой моделью МРТ (Excelart Vantage 1,5 Тл, Тошиба, Япония) и при помощи имитирующего предстательную железу фантома [7] настроены оптимизированные протоколы. Качество визуализации оценивалось врачом-рентгенологом со стажем более 10 лет совместно с коллегами, работающими непосредственно на данном аппарате во время сканирования. С точки зрения организации процесса, исследования выполнялись традиционным способом: пациентов располагали в положении лежа на спине, использовали стандартную катушку для тела. Все пациенты прошли необходимую подготовку перед исследованием с целью уменьшения артефактов и наводок.

После формирования протокола, максимально приближённого к требованиям PI-RADS v2.1 [8] и удовлетворяющего врачей-рентгенологов, была выполнена количественная оценка качества визуализации. Для этого рекомендованный Американским обществом рентгенологов (American College of Radiology, ACR) фантом был отсканирован с применением оптимизированного протокола так, как это выполняется в принятой процедуре технического контроля [9] (рис. 1). По полученным аксиальным изображениям фантома рассчитаны параметры качества: неоднородность, нелинейность, разрешающая способность, толщина выделяемого среза.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка выполняемых исследований

Решая поставленную задачу, мы столкнулись с тем, что методика сканирования отличается в различных МО ДЗМ. Так, например, в трёх МО набор импульсных последовательностей, помимо необходимых, значительно варьирует, что влияет как на полноту диагностической информации, так и на суммарное время сканирования (табл. 1).

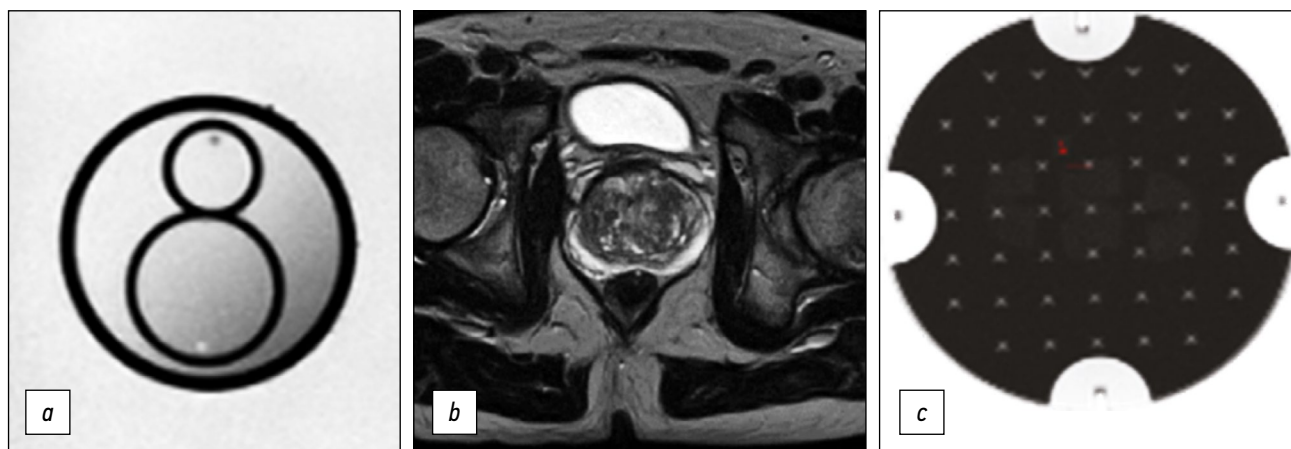


Рис. 1. Оценка качества визуализации: *a* — фантом предстательной железы; *b* — пациент; *c* — фантом Американского общества радиологов (ACR).

То же актуально и для технических параметров сканирования. В табл. 2 и 3 на примере T2-ВИ и диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) в аксиальной проекции суммированы метаданные, наглядно отражающие вышеупомянутые различия.

В результате, получаемые в разных организациях изображения ожидаемо различаются, что показано на рис. 2–4.

Таким образом, во всех представленных МО ДЗМ соблюдены рекомендуемые PI-RADS v2.1 требования к наличию T2-ВИ в аксиальной и минимум в одной дополнительной (сагиттальной и/или корональной) проекции. Стоит также отметить, что рекомендуемая толщина слоя для T2-ВИ в аксиальной проекции должна составлять не более 3 мм: в МО 2 и МО 3 она составляет 4 мм (см. рис. 3 и 4). То же актуально и для МО 1: толщина

Таблица 1. Используемые импульсные последовательности

Импульсная последовательность	МО 1	МО 2	МО 3
T2 ax	+ (3)	+ (4)	+ (4)
T2 cor	+ (3)	+ (3)	-
T2 sag	+ (3)	+ (4)	+ (5)
T1 ax	+ (3)	+ (4)	-
T1 cor	-	-	+ (5)
T1 FS cor	-	-	+ (6)
T2 FS ax	+ (3)	-	+ (4)
T2 FS cor	+ (3)	-	+ (3)
DWI	+ (5)	+ (4)	+ (3)
ADC	+ (5)	+ (4)	+ (3)
Суммарное время сканирования, мин	22	30	40

Примечание. «+» — наличие, в скобках указана толщина слоя в миллиметрах (мм); «-» — отсутствие. МО — медицинская организация.

Таблица 2. Технические параметры на примере T2-взвешенных изображений, аксиальная проекция

Технические параметры	МО 1	МО 2	МО 3
TR, мс	5851	6006	5082
TE, мс	120	75	75
FOV, см	35×30	30×35	40×30
Matrix	256×256	256×256	512×256
NAQ	1	1	1
Spacing between slices, мм	3,5	4,3	4,4
ETL, мс	23	9	9

Примечание. Здесь и в табл. 3, 4: TR (repetition time) — время повторения; TE (echo time) — время эхо; FOV (field of view) — поле обзора; Matrix — матрица; NAQ (number of acquisition) — число сборов данных; Spacing between slices — расстояние между срезами; ETL (echo train length) — длина эхо-трейна. МО — медицинская организация.

Таблица 3. Технические параметры на примере диффузионно-взвешенных изображений, аксиальная проекция

Технические параметры	МО 1	МО 2	МО 3
TR, мс	6772	9377	8841
TE, мс	80	80	100
FOV, см	40×32	37×30	30×30
Matrix	128×128	128×192	128×128
NAQ	2	2	2
Spacing between slices, мм	1,75	4,5	6
ETL, мс	56	72	60

среза ДВИ составляет 5 мм при рекомендованных ≤ 4 мм (см. рис. 2). Важным фактором является поле обзора: согласно PI-RADS v2.1, для T2-ВИ значения FOV должны составлять 12–20 см, в то время как в МО 1 и МО 3 поле обзора значительно больше — 30×35 и 40×30 см соответственно (см. рис. 2 и 4). Согласно PI-RADS v2.1, рекомендуемое поле обзора для ДВИ составляет 16–22 см, в то время как во всех трёх МО данные рекомендации не соблюдены. Факт вариативности показателей FOV и толщины срезов неизбежно оказывает влияние на разрешающую способность и, как следствие, на возможность выявления образований.

Настройка оптимизированного протокола

С технической точки зрения, процедура настройки параметров протокола не отличалась от обычной работы

аппликатора (например, при вводе оборудования в эксплуатацию). Однако в данном случае мы ориентировались на параметры, рекомендуемые PI-RADS v2.1. С целью минимизации воздействия факторов MPT на пациента предварительная настройка параметров выполнялась на фантоме. При этом значения параметров ввиду невозможности точного воспроизведения рекомендаций по техническим причинам выбирались максимально приближёнными к ним и итерационно корректировались для достижения удовлетворительного (с точки зрения врача-рентгенолога) результата. Полученный в результате протокол представлен в табл. 4.

Отметим, что T1-ВИ, согласно PI-RADS, не является обязательной последовательностью для бпМРТ. Её включение в протокол основано на стремлении обеспечить возможность оценки как вторичного поражения

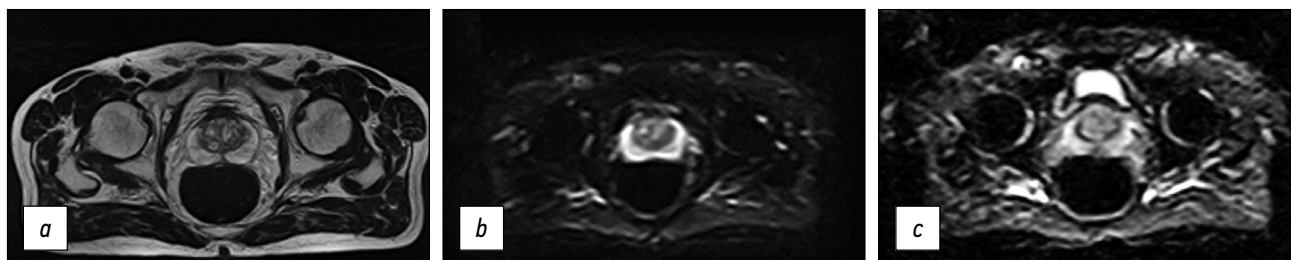


Рис. 2. Медицинская организация 1 (МО 1): *a* — T2-ВИ, аксиальная проекция (TR 5851, TE 120, FOV 35×30 см, Matrix 256×256); *b*, *c* — ДВИ и ИКД (TR 6772, TE 80, FOV 40×32 см, Matrix 128×128).

Примечание. Здесь и на рис. 3–5: T2-ВИ — T2-взвешенные изображения; ДВИ — диффузионно-взвешенные изображения; ИКД — измеряемый коэффициент диффузии. TR (repetition time) — время повторения; TE (echo time) — время эхо; FOV (field of view) — поле обзора; Matrix — матрица.

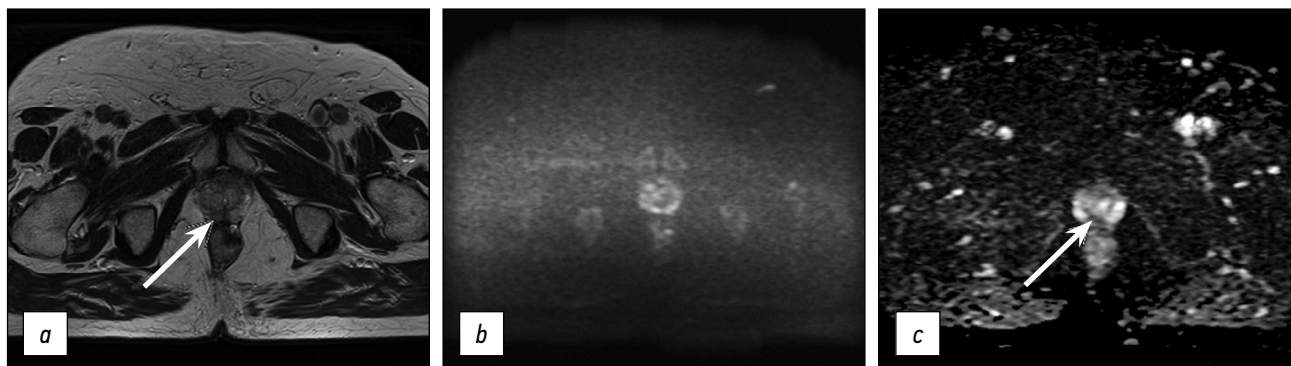


Рис. 3. Медицинская организация 2 (МО 2). В периферической зоне справа определяется гипоинтенсивная на T2-ВИ и карте ИКД зона, прилежащая к капсуле (стрелки): *a* — T2-ВИ, аксиальная проекция (TR 6006, TE 75, FOV 30×25 см, Matrix 256×256); *b*, *c* — ДВИ и ИКД (TR 9377, TE 80, FOV 37×30 см, Matrix 128×192).

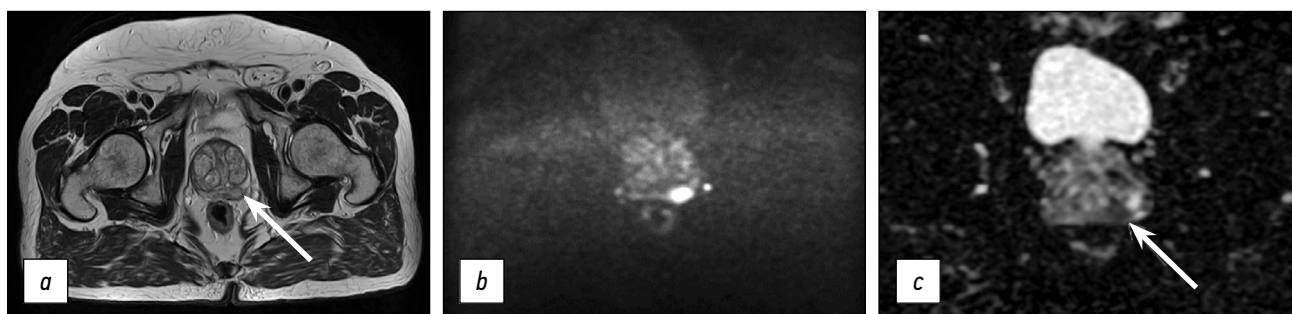


Рис. 4. Медицинская организация 3 (МО 3). В периферической зоне слева определяется гипоинтенсивное на T2-ВИ и карте ИКД образование (стрелки): *a* — T2-ВИ, аксиальная проекция (TR 5082, TE 75, FOV 40×30 см, Matrix 512×256); *b, c* — ДВИ и ИКД (TR 8841, TE 100, FOV 30×30 см, Matrix 128×128).

Таблица 4. Оптимизированные параметры сканирования

Импульсные последовательности, толщина слоя, мм	Установленные технические параметры		Длительность, мин
T2 AX (3)	TR, мс	6400	2:25
	TE, мс	126	
	FOV, см	20×20	
	Matrix	512×512	
	NAQ	1	
	Spacing, мм	3,3	
	ETL, мс	13	
T2 SAG (3)	TR, мс	5000	2:25
	TE, мс	100	
	FOV, см	20×20	
	Matrix	512×512	
	NAQ	1	
	Spacing, мм	3,3	
	ETL, мс	9	
T2 COR (3)	TR, мс	5000	2:25
	TE, мс	100	
	FOV, см	20×20	
	Matrix	512×512	
	NAQ	1	
	Spacing, мм	3,3	
	ETL, мс	9	
DWI (b=1000)	TR, мс	6858	3:25
	TE, мс	100	
	FOV, см	30×30	
	Matrix	256×256	
	NAQ	5	
	Spacing, мм	3	
	ETL, мс	60	
T1 AX (5)	TR, мс	5,5	0:15
	TE, мс	2,5	
	FOV, см	25×27	
	Matrix	640×476	
	NAQ	1	
	Spacing, мм	2,5	
Суммарное время сканирования (мин)			

Таблица 5. Результаты контроля качества изображений

Параметр	Определённое значение			Допустимое значение
	МО 1	МО 2	МО 3	
Неоднородность, %	9,44	5,9	4,8	<10
Разрешающая способность, мм	1,0	1,25	1,0	≤1,5
Нелинейность, %	0,1	0,4	0,2	<1
Толщина среза, мм	3,0	3,1	3,0	3±1

Примечание. МО — медицинская организация.

лимфатических узлов и костных структур исследуемой области, так и наличия геморрагических изменений в тканях железы и семенных пузырьках. Длительность T1-ВИ в предложенной конфигурации составила 15 сек, что не оказывает значимого влияния на общее время исследования.

Контроль качества

Традиционным подходом к оценке технического состояния МРТ являются сканирование фантома и расчёт количественных характеристик качества изображения. В данной работе мы использовали стандартную процедуру контроля для разработанного протокола [9]. По полученным изображениям рассчитаны неоднородность яркости, разрешающая способность, нелинейность и измеряемая толщина среза (табл. 5).

За допустимые значения были приняты характеристики томографа, взятые из документации производителя. Отметим, что часто используемый параметр соотношения сигнала/шума в данном исследовании не определялся из-за отсутствия референтного значения для разработанного протокола.

Клинические изображения

Полученный в результате протокол позволяет обеспечить достаточно высокий уровень качества визуализации. На рис. 5 представлены изображения, полученные с применением оптимизированного протокола. Суммарное время сканирования составило менее 11 мин.

ОБСУЖДЕНИЕ

РПЖ является одной из лидирующих причин смерти среди мужчин. Так, например, в США РПЖ занимает второе место в структуре смертности от онкологических заболеваний [10], в европейских странах — третье [11]. Несмотря на совершенствование методов диагностики РПЖ и проведение мониторинга простатспецифического антигена, заболеваемость в России остаётся высокой [12]. В настоящий момент к установленным факторам риска относят возраст, расовую (негроидную) принадлежность, а также семейный анамнез: риск развития заболевания выше в случае диагностики РПЖ у ближайших родственников в раннем возрасте или при наличии нескольких родственников с установленным диагнозом [13].

БпМРТ — протокол сканирования, который включает в себя только T2-ВИ и ДВИ с картами ИКД. Всем пациентам с PI-RADS ≥3, подозрительным на злокачественные образования, принято проводить биопсию [14]. А поскольку такие поражения требуют дальнейшего внимания (основными импульсными последовательностями являются T2-ВИ и ДВИ), эффект от динамического контрастного усиления может не иметь решающего значения. Таким образом, бпМРТ может быть широко внедрена в клиническую практику. Использование такого протокола в качестве быстрого неинвазивного теста для дальнейшей маршрутизации мужчин, нуждающихся в обследовании, и лиц с низким риском клинически значимого РПЖ представляется возможным.

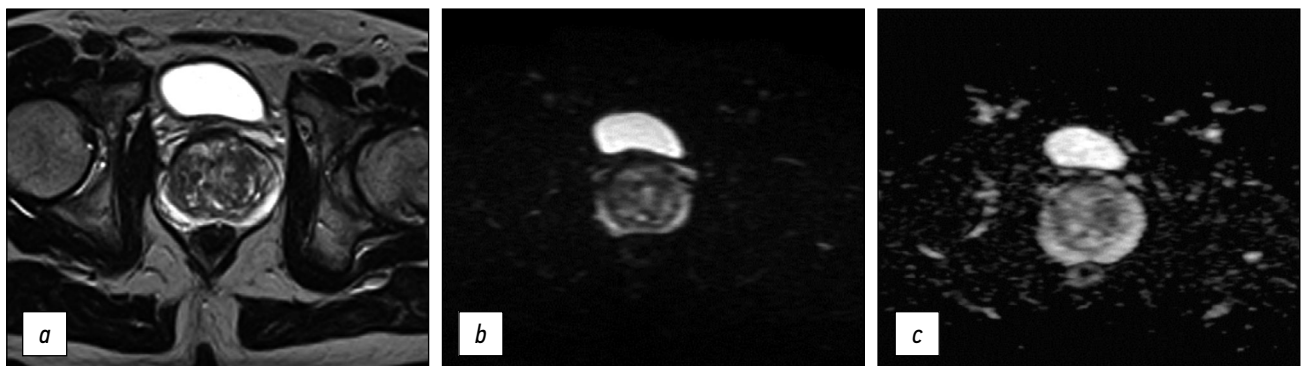


Рис. 5. Изображения, полученные с применением ускоренного протокола бипараметрической магнитно-резонансной томографии. Пациент с изменениями предстательной железы, соответствующими PI-RADS 2: *a* — T2-ВИ, аксиальная проекция; *b*, *c* — ДВИ и ИКД.

T. Tamada и соавт. [6] показали, что для выявления клинически значимого РПЖ по PI-RADS v2.1 бпМРТ сопоставима с мпМРТ. Однако стоит отметить, что диагностическая чувствительность была значительно выше при использовании мпМРТ, чем бпМРТ, в то время как специфичность была значительно выше при использовании бпМРТ, чем мпМРТ. Именно поэтому применение бпМРТ с использованием протокола PI-RADS v2.1 поможет избежать ненужных биопсий. В исследовании R.L. Sherrer и соавт. [14] показано, что у пациентов с отрицательными результатами в диагностике клинически значимого РПЖ по бпМРТ не выявлено опухолевой патологии и методом мпМРТ. Справедливости ради стоит отметить, что несмотря на то, что бпМРТ в работе J.P. Zawaidh и соавт. [15] была сопоставима с мпМРТ, при мультипараметрическом исследовании было выявлено меньше образований, классифицированных как PI-RADS 3 (8,3%), чем при бпМРТ (17%), и меньше ложноположительных результатов (11,4 против 18,9%), что и обеспечивает более высокую специфичность (74 против 67%) мпМРТ.

Для адекватной оценки МР-изображений врачом-рентгенологом необходим целый ряд факторов: правильная подготовка пациента, выбор режима сканирования в зависимости от конечной цели исследования, а также выбор оптимальных параметров сканирования. К тому же стоит отметить, что диагностика может быть затруднена (из-за выраженных артефактов от перистальтики кишечника или, например, имплантатов тазобедренных суставов), ввиду чего исследование нельзя будет подвергнуть оценке по PI-RADS по определению. Немаловажную роль играет знание анамнеза пациента. Клинико-лабораторные данные вкупе с анализом МР-изображений дают более полную картину о состоянии пациента.

Говоря об оптимизации работы отделений, вопросы «ускорения» протоколов сканирования предстательной железы поднимаются и в иностранной литературе. M. van der Leest и соавт. [16] предлагают применение протокола, содержащего в себе только T2-ВИ, ДВИ и ИКД для диагностики клинически значимого РПЖ с целью укорочения времени и удешевления исследования. В работе продемонстрированы следующие данные: ненужной биопсии удалось избежать 47% пациентов при использовании ускоренного протокола бпМРТ, при этом обычные протоколы бпМРТ и мпМРТ потребовали проведения биопсии в 49% случаев. Авторы сообщают, что ускоренная бпМРТ может быть выполнена за 8 мин, что позволяет сократить прямые затраты на исследование более чем в два раза (54%) по сравнению с мпМРТ и на 37% по сравнению с обычной бпМРТ. Согласие между экспертами, запланированное исследование, составило 90% для быстрой и 93% для обычной бпМРТ [16]. В то же время, согласно результатам работы A. Stanzione и соавт. [17], диагностическая точность ускоренного протокола бпМРТ была самой низкой (83%) в отличие от протоколов бпМРТ

и мпМРТ (86 и 87% соответственно). Авторы пришли к выводу, что такой протокол неприменим для данной цели, в том числе продемонстрировали результаты, что интерпретация исследований напрямую зависит от опыта врачей-рентгенологов.

R. Engels и соавт. [8] провели масштабный анализ, результатом которого было суммирование минимальных рекомендуемых технических параметров для мпМРТ в виде таблицы, где итоговое время сканирования на бипараметрическом протоколе с использованием томографов 1,5 Тл составило более 13 мин. В нашем исследовании достигнута цель в виде укорочения времени протокола сканирования: так, при использовании рекомендованных PI-RADS v2.1 импульсных последовательностей для бпМРТ длительность нашего протокола составила 10 мин 40 сек. Нами также предложено использовать дополнительно T1-ВИ в аксиальной проекции длительностью 15 сек, при этом суммарное время сканирования составляет 10 мин 55 сек.

Разработанный нами протокол является первым этапом работы, посвящённой целесообразности применения МРТ в качестве метода скрининга РПЖ. Для подтверждения этой гипотезы необходимо больше доказательств, что даёт простор будущим исследователям. Представлено всего три клинических случая из трёх различных МО ДЗМ, демонстрирующих разнородность протоколов сканирования предстательной железы. Вместе с тем стоит отметить, что протокол был разработан для одной модели МРТ (Excelart Vantage 1,5 Тл), для которой и были рассчитаны параметры качества. Протокол, безусловно, требует адаптации и тестирования на других моделях томографов с последующей оценкой результатов.

Протокол требует дальнейшего изучения диагностической точности для выявления РПЖ, например, посредством применения текстурного анализа, представляющего собой предмет повышенного интереса в диагностике РПЖ [18], с целью сопоставления с результатами гистопатологических заключений. Следовательно, следующим этапом будет статистическое сравнение исследований, полученных с помощью стандартных для разных МО ДЗМ протоколов сканирования предстательной железы, и оптимизированного протокола.

Протокол следует подвергнуть дальнейшей оценке суммарных временных затрат и экономической целесообразности в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наборы импульсных последовательностей напрямую зависят от конечной цели проводимого исследования, индивидуальных пожеланий врачей-рентгенологов и клиницистов отдельных МО. Наличие сформировавшихся, «привычных», протоколов сканирования для того или иного отделения лучевой диагностики как результат отсутствия стандартизированных,

унифицированных протоколов представляет собой проблему. Поскольку сканирование, полностью отвечающее рекомендациям PI-RADS v2.1, не всегда возможно в условиях МО ДЗМ для диагностики РПЖ, процедуру в каждой конкретной МО проводят по разным протоколам с использованием набора различных импульсных последовательностей и технических характеристик, что отражается в том числе на времени проведения исследования. Мы предлагаем оптимизированный протокол бПМРТ. Технические характеристики предложенного протокола максимально приближены к стандартам PI-RADS, при этом время сканирования составляет менее 11 мин, что, безусловно, может сыграть роль в оптимизации работы отделений лучевой диагностики в условиях повышенной нагрузки.

Стандартизированный протокол с использованием полученных МР-изображений имеет потенциал для дальнейшего обучения и внедрения искусственного интеллекта в программы обследования органов малого таза у мужчин посредством методов лучевой диагностики.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы (№ ЕГИСУ: АААА-А21-121012290079-2) в соответствии с Программой Департамента здравоохранения города Москвы «Научное обеспечение столичного здравоохранения» на 2020–2022 годы.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries // *CA Cancer J Clin.* 2021. Vol. 71. P. 209–249. doi: 10.3322/caac.21660
2. Barentsz J.O., Richenberg J., Clements R., et al. ESUR prostate MR guidelines 2012 // *Eur Radiol.* 2012. Vol. 22, N 4. P. 746–757. doi: 10.1007/s00330-011-2377-y
3. Weinreb J.C., Barentsz J.O., Choyke P.L., et al. PI-RADS prostate imaging — reporting and data system: 2015, version 2 // *Eur Urol.* 2016. Vol. 69, N 1. P. 16–40. doi: 10.1016/j.eururo.2015.08.052
4. Park S.Y., Jung D.C., Oh Y.T., et al. Prostate cancer: PI-RADS version 2 helps preoperatively predict clinically significant cancers // *Radiology.* 2016. Vol. 280, N 1. P. 108–116. doi: 10.1148/radiol.16151133
5. Israël B., van der Leest M., Sedelaar M., et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the detection of clinically significant prostate cancer: what urologists need to know. Part 2: interpretation // *Eur Urol.* 2020. Vol. 77, N 4. P. 469–480. doi: 10.1016/j.eururo.2019.10.024
6. Tamada T., Kido A., Yamamoto A., et al. Comparison of biparametric and multiparametric mri for clinically significant prostate cancer detection with pi-rads version 2.1 // *J Magn Reson Imaging.* 2021. Vol. 53, N 1. P. 283–291. doi: 10.1002/jmri.27283
7. Патент на изобретение РФ RU 208239 U1. Семенов Д.С., Петрайкин А.В., Васильев Ю.А., и др. Устройство фантома для настройки протоколов магнитно-резонансной томографии предстательной железы у пациентов с металлоконструкциями тазобедренного сустава. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47429681>. Дата обращения: 15.03.2022.
8. Engels R.R., Israël B., Padhani A.R., et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the detection of clinically significant prostate cancer: what urologists need to know. Part 1: acquisition // *Eur Urol.* 2020. Vol. 77, N 4. P. 457–468. doi: 10.1016/j.eururo.2019.09.021
9. Методика контроля параметров и характеристик магнитно-резонансных томографов в условиях эксплуатации. Методические рекомендации № 17 (утв. 10.09.2011). Режим доступа: [https:// docs.cntd.ru/document/456079947](https://docs.cntd.ru/document/456079947). Дата обращения: 15.03.2022.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Ю.А. Васильев — концепция и дизайн исследования, настройка предлагаемого протокола сканирования, редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи, консультативная поддержка; Л.П. Абуладзе — концепция и дизайн исследования, анализ данных, написание текста статьи; Д.С. Семенов — концепция и дизайн исследования, анализ данных, написание текста статьи, проведение технического аудита; О.Ю. Панина — редактирование текста рукописи, консультативная поддержка.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared as part of research (№ ЕГИСУ: АААА-А21-121012290079-2) under the Program of the Moscow Healthcare Department “Scientific Support of the Capital’s Healthcare” for 2020–2022.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors’ contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Yu.A. Vasilev — study design, MRI protocol optimization, manuscript revising, advisory support, L.R. Abuladze — study design, data analysis, manuscript drafting; D.S. Semenov — study design, data analysis, manuscript drafting, technical audit; O.Yu. Panina — manuscript revising, advisory support.

10. Siegel R.L., Miller K.D., Fuchs H.E., et al. Cancer Statistics, 2021 // *CA Cancer J Clin.* 2021. Vol. 71, N 1. P. 7–33. doi: 10.3322/caac.21654
11. Ferlay J., Colombet M., Soerjomataram I., et al. Cancer incidence and mortality patterns in Europe: Estimates for 40 countries and 25 major cancers in 2018 // *Eur J Cancer.* 2018. Vol. 103. P. 356–387. doi: 10.1016/j.ejca.2018.07.005
12. Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. Москва, 2021. 252 с.
13. Patel A.R., Klein E.A. Risk factors for prostate cancer // *Nat Clin Pract Urol.* 2009. Vol. 6, N 2. P. 87–95. doi: 10.1038/ncpuro1290
14. Sherrer R.L., Glaser Z.A., Gordetsky J.B., et al. Comparison of biparametric MRI to full multiparametric MRI for detection of clinically significant prostate cancer // *Prostate Cancer Prostatic Dis.* 2019. Vol. 22, N 2. P. 331–336. doi: 10.1038/s41391-018-0107-0
15. Zawaideh J.P., Sala E., Shaida N., et al. Diagnostic accuracy of biparametric versus multiparametric prostate MRI: assessment of contrast benefit in clinical practice // *Eur Radiol.* 2020. Vol. 30, N 7. P. 4039–4049. doi: 10.1007/s00330-020-06782-0
16. Van der Leest M., Israël B., Cornel E.B., et al. High diagnostic performance of short magnetic resonance imaging protocols for prostate cancer detection in biopsy-naïve men: the next step in magnetic resonance imaging accessibility // *Eur Urol.* 2019. Vol. 76, N 5. P. 574–581. doi: 10.1016/j.eururo.2019.05.029
17. Stanzone A., Ponsiglione A., Cuocolo R., et al. Abbreviated protocols versus multiparametric mri for assessment of extraprostatic extension in prostatic carcinoma: a multireader study // *Anticancer Res.* 2019. Vol. 39, N 8. P. 4449–4454. doi: 10.21873/anticancer.13617
18. Гележе П.Б., Блохин И.А., Семенов С.С., и др. Радиомика магнитно-резонансной томографии при раке предстательной железы: что известно в настоящее время? // *Digital Diagnostics.* 2021. Т. 2, № 4. С. 441–452. doi: 10.17816/DD70170

REFERENCES

1. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71:209–49. doi: 10.3322/caac.21660
2. Barentsz JO, Richenberg J, Clements R, et al. ESUR prostate MR guidelines 2012. *Eur Radiol.* 2012;22(4):746–757. doi: 10.1007/s00330-011-2377-y
3. Weinreb JC, Barentsz JO, Choyke PL, et al. PI-RADS prostate imaging — reporting and data system: 2015, version 2. *Eur Urol.* 2016;69(1):16–40. doi: 10.1016/j.eururo.2015.08.052
4. Park SY, Jung DC, Oh YT, et al. Prostate cancer: PI-RADS version 2 helps preoperatively predict clinically significant cancers. *Radiology.* 2016;280(1):108–116. doi: 10.1148/radiol.16151133.
5. Israël B, van der Leest M, Sedelaar M, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the detection of clinically significant prostate cancer: what urologists need to know. part 2: interpretation. *Eur Urol.* 2020;77(4):469–480. doi: 10.1016/j.eururo.2019.10.024
6. Tamada T, Kido A, Yamamoto A, et al. Comparison of biparametric and multiparametric mri for clinically significant prostate cancer detection with pi-rads version 2.1. *J Magn Reson Imaging.* 2021;53(1):283–291. doi: 10.1002/jmri.27283
7. Patent RUS 208239 U1. Semenov DS, Petryaykin AV, Vasiliev YuA, et al. Phantom device for configuring protocols of magnetic resonance imaging of the prostate gland in patients with metal structures of the hip joint. (In Russ). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47429681>. Accessed: 15.03.2022.
8. Engels RR, Israël B, Padhani AR, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the detection of clinically significant prostate cancer: what urologists need to know. Part 1: acquisition. *Eur Urol.* 2020;77(4):457–468. doi: 10.1016/j.eururo.2019.09.021
9. Methodology for monitoring the parameters and characteristics of magnetic resonance tomographs under operating conditions Methodological recommendations No. 17 (approved 10.09.2011). (In Russ). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/456079947>. Accessed: 15.03.2022.
10. Siegel RL, Miller KD, Fuchs HE, et al. Cancer Statistics, 2021. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(1):7–33. doi: 10.3322/caac.21654
11. Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, et al. Cancer incidence and mortality patterns in Europe: Estimates for 40 countries and 25 major cancers in 2018. *Eur J Cancer.* 2018;103:356–387. doi: 10.1016/j.ejca.2018.07.005
12. Malignant neoplasms in Russia in 2020 (morbidity and mortality). Ed. by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. Moscow, 2021. 252 p. (In Russ).
13. Patel AR, Klein EA. Risk factors for prostate cancer. *Nat Clin Pract Urol.* 2009;6(2):87–95. doi: 10.1038/ncpuro1290
14. Sherrer RL, Glaser ZA, Gordetsky JB, et al. Comparison of biparametric MRI to full multiparametric MRI for detection of clinically significant prostate cancer. *Prostate Cancer Prostatic Dis.* 2019;22(2):331–336. doi: 10.1038/s41391-018-0107-0
15. Zawaideh JP, Sala E, Shaida N, et al. Diagnostic accuracy of biparametric versus multiparametric prostate MRI: assessment of contrast benefit in clinical practice. *Eur Radiol.* 2020;30(7):4039–4049. doi: 10.1007/s00330-020-06782-0
16. Van der Leest M, Israël B, Cornel EB, et al. High diagnostic performance of short magnetic resonance imaging protocols for prostate cancer detection in biopsy-naïve men: the next step in magnetic resonance imaging accessibility. *Eur Urol.* 2019;76(5):574–581. doi: 10.1016/j.eururo.2019.05.029
17. Stanzone A, Ponsiglione A, Cuocolo R, et al. Abbreviated protocols versus multiparametric mri for assessment of extraprostatic extension in prostatic carcinoma: A multireader study. *Anticancer Res.* 2019;39(8):4449–4454. doi: 10.21873/anticancer.13617
18. Gelezhe PB, Blokhin IA, Semenov SS, et al. Radiomics of magnetic resonance imaging in prostate cancer: what is currently known? *Digital Diagnostics.* 2021;2(4):441–452. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

*** Абуладзе Лия Руслановна;**

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>;

eLibrary SPIN: 5640-9989; e-mail: l.abuladze@npcmr.ru

Семенов Дмитрий Сергеевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;

eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: d.semenov@npcmr.ru

Панина Ольга Юрьевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8684-775X>;

eLibrary SPIN: 5504-8136; e-mail: o.panina@npcmr.ru

Васильев Юрий Александрович, к.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>;

eLibrary SPIN: 4458-5608; e-mail: y.vasilev@npcmr.ru

AUTHORS' INFO

*** Liya R. Abuladze, MD;**

address: Petrovka st. 24/1, Moscow, 127051, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>;

eLibrary SPIN: 5640-9989; e-mail: l.abuladze@npcmr.ru

Dmitriy S. Semenov;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;

eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: d.semenov@npcmr.ru

Olga Yu. Panina, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8684-775X>;

eLibrary SPIN: 5504-8136; e-mail: o.panina@npcmr.ru

Yuriy A. Vasilev, MD, Cand Sci (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0208-5218>;

eLibrary SPIN: 4458-5608; e-mail: y.vasilev@npcmr.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author