

Автоматизированная морфометрия предстательной железы по данным магнитно-резонансной томографии

Н.М. Насибян, А.В. Владзимирский, К.М. Арзамасов

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В рамках внедрения инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения этих технологий в системе здравоохранения города Москвы проведено исследование инструмента на основе искусственного интеллекта (ИИ-сервис) для автоматизации морфометрии предстательной железы по магнитно-резонансным томограммам (МРТ). В отличие от 11 предыдущих систем, ориентированных на ретроспективный анализ, данное решение помогает рентгенологам сократить время описания исследований и повысить их точность. **Цель исследования** — оценить качество и достоверность автоматической морфометрии предстательной железы на результатах МРТ с помощью технологий искусственного интеллекта в условиях практического здравоохранения. **Методы.** Проспективное диагностическое исследование в соответствии с методологией репортирования результатов научных исследований диагностических тестов STARD 2015 проведено в период с апреля по октябрь 2024 года. Использованы 560 результатов МРТ, сопоставленных с данными морфометрического ИИ-сервиса. **Результаты.** Оценена точность ИИ-сервиса для морфометрии предстательной железы. Проведено 7 клинических мониторингов на 560 МРТ с полным соответствием в 71,6%. Ложноотрицательные случаи составили 3,9%, технические дефекты — 3,8%. Интегральная клиническая оценка достигла 88,0–97,0%, подтверждая высокое качество диагностики. Преобладали ошибки в оконтуривании железы (52%) и неправильные измерения (13%), часто связанные с пролабированием верхушки предстательной железы. **Заключение.** Автоматизация рутинных измерений вносит существенный вклад в стандартизацию процессов описания результатов лучевых методов исследований. Особо важен этот аспект с точки зрения обеспечения преемственности медицинской помощи при обращении пациента в различные медицинские организации. Технологии искусственного интеллекта для автоматизации измерений предстательной железы показали высокую клиническую оценку в 92,0%, что свидетельствует об их точности и качестве. Эти данные могут быть использованы для разработки новых продуктов автоматизированной морфометрии на основе МРТ.

Ключевые слова: искусственный интеллект; предстательная железа; морфометрия; магнитно-резонансная томография; МРТ; лучевая диагностика; диагностическая точность.

Для цитирования:

Насибян Н.М., Владзимирский А.В., Арзамасов К.М. Автоматизированная морфометрия предстательной железы по данным магнитно-резонансной томографии. *Клиническая практика*. 2025;16(2):23–33. doi: 10.17816/clinpract677719 EDN: VNHQYP

Поступила 25.03.2025

Принята 23.05.2025

Опубликована online 25.06.2025

ОБОСНОВАНИЕ

В последние годы отмечается неуклонный рост интереса к применению технологий искусственного интеллекта (ИИ) в здравоохранении в целом и лучевой диагностике в частности [1–6]. Автоматизированный анализ результатов диагностических

исследований рассматривается как потенциально эффективный инструмент повышения производительности и качества труда врачей-рентгенологов, оптимизации процессов отделений лучевой диагностики, решения проблемы кадрового дефицита. Постоянно нарастает количество научных пуб-

Automated Morphometry of the Prostate Gland by the Results of Magnetic Resonance Imaging

N.M. Nasibian, A.V. Vladzimirskyy, K.M. Arzamasov

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Within the framework of the experiment on using the innovative technologies in the field of computer vision for analyzing the medical images and on further usage of these technologies in the healthcare system of the City of Moscow, the research was carried out using the equipment based on the artificial intelligence (AI-service) for the purpose of automatization of the morphometry of the prostate gland using the magnetic resonance imaging (MRI), for the issue is topical due to the high incidence of urological diseases among men. Unlike the 11 previous systems, oriented at the retrospective analysis, this solution helps the radiologists in shortening the time of describing the examination results and in increasing their accuracy. **AIM:** to evaluate the quality and the validity of automatic morphometry of the prostate gland by the MRI results using the technologies of artificial intelligence in the settings of practical healthcare. **METHODS:** A prospective diagnostic research in accordance with the methodology of reporting results of scientific research involving the STARD 2015 diagnostic tests was conducted during the period from April until October of 2024. A total of 560 MRI results were used and compared to the data from the morphometric AI-service. **RESULTS:** An evaluation of the accuracy of using the AI-service for the morphometry of the prostate gland was carried out. A total of 7 clinical monitoring procedures were conducted using 560 MRI datasets with the complete conformity reported in 71.6%. The rate of false-negative cases was 3.9%, technical defects were found in 3.8% of the cases. The integral clinical evaluation has achieved the range of 88.0–97.0%, confirming the high diagnostic quality. The predominant errors were the ones related to the contouring of the gland (52%) and incorrect measurements (13%), often related to the prolapsing of the prostate gland apex. **CONCLUSION:** The automatization of routine measurements greatly contributes to the standardizing the processes of describing the results obtained by radio-diagnostic methods. This aspect is of special importance from the point of view of providing the continuity of medical aid in case of patients presenting to various medical organizations. The artificial intelligence technologies for the automatization of the prostate gland measurements have demonstrated high clinical value in 92.0%, which indicates their accuracy and quality. These data can be used for developing new MRI-based automated morphometry products.

Keywords: artificial intelligence; prostate gland; morphometry; magnetic resonance imaging; MRI; radiology; diagnostic accuracy.

For citation:

Nasibian NM, Vladzimirskyy AV, Arzamasov KM. Automated Morphometry of the Prostate Gland by the Results of Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Clinical Practice*. 2025;16(2):23–33. doi: 10.17816/clinpract677719 EDN: VNHQYP

Submitted 25.03.2025

Accepted 23.05.2025

Published online 25.06.2025

ликаций на тему ИИ, однако количество научной продукции не соответствует качеству, причём как самих публикаций, так и предлагаемых решений на основе ИИ. Подавляющее большинство опубликованных разработок по-прежнему представляют собой экспериментальные образцы, а лежащие в их

основе математические модели обучены и протестированы на ограниченных наборах данных. Преобладает ретроспективная оценка точности технологий ИИ в лабораторных условиях, в то время как клинических исследований качества и применимости ИИ исчезающе мало. В XXI веке трудно пред-

ставить себе ситуацию, когда новое лекарственное вещество тестируется лишь в лаборатории, но не испытывается в полноценном клиническом исследовании. В отношении технологий ИИ наблюдается именно такая, полностью неприемлемая для современной медицинской науки картина.

В России с 2020 года проводится эксперимент по внедрению инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения этих технологий в системе здравоохранения города Москвы (далее — московский эксперимент; mosmed.ai) [7]. В настоящее время это крупнейшее в мире научное проспективное многоцентровое исследование применимости, безопасности и качества ИИ. В рамках московского эксперимента проводится двухэтапное исследование программного обеспечения на основе технологий ИИ (так называемых ИИ-сервисов), разработанных для решения строго определённых диагностических задач. На первом ретроспективном этапе осуществляется довольно стандартное тестирование на эталонных наборах данных, однако на втором — основном — и проспективном этапах изучаются качество и стабильность ИИ-сервисов при работе с реальным потоком исследований в условиях практического здравоохранения [8–10]. Благодаря длительному, в течение месяцев и лет, применению ИИ-технологий в реальной практике появляется возможность изучить их влияние на рабочие процессы в лучевой диагностике, причём не в целом, но в контексте решения строго определённой трудовой операции и клинической задачи. Одной из таких вполне конкретных задач является морфометрия размеров и объёма предстательной железы при интерпретации и описании результатов магнитно-резонансной томографии (МРТ) малого таза. Отметим, что в структуре урологической патологии мужчин онкологические и воспалительные заболевания предстательной железы преобладают, что делает их скрининг и диагностику чрезвычайно актуальной задачей [11, 12].

Морфометрия представляет собой рутинную процедуру, отнимающую рабочее время врача-рентгенолога и создающую потенциальные риски в силу субъективности выполнения измерений. Очевидно, что для повышения производительности и качества труда эта процедура вполне может быть автоматизирована. Ведь именно для автоматизации измерений показано значимое сокращение длительности описаний результатов лучевых исследований и соответствующее повышение про-

изводительности труда врача-рентгенолога [13]. Стоит отметить, ранее создан набор данных «MosMedData MPT малого таза с морфометрическими показателями предстательной железы» для калибровочного тестирования, представляющий собой структурированный набор из двухсот деперсонализированных результатов мультипараметрических магнитно-резонансных исследований взрослых мужчин с наличием морфометрической разметки (вертикальный, переднезадний и фронтальный размеры предстательной железы в миллиметрах относительно оси органа)¹. Изображения представлены в формате DICOM 3.0, разметка — в виде файла в формате XLSX.

На фоне колоссального интереса к применению ИИ в лучевой диагностике проблематика автоматизированного анализа результатов МРТ органов малого таза практически не исследована. В частности, не так давно опубликовано порядка 11 разработок на основе ИИ для анализа результатов МРТ предстательной железы. Ни одна из них не предназначена для непосредственной помощи врачу за счёт автоматизации рутинной, механистической процедуры измерения целевого органа, зато разработчики пытаются, и в основном безуспешно, решить сложнейшие задачи дифференциальной диагностики. Ещё один существенный недостаток заключается в том, что все эти разработки тестировались только ретроспективно или в режиме соревнования друг с другом, т.е. проверка и оценка точности в реальных клинических условиях не проводились [14, 15].

Цель исследования — оценить качество и достоверность автоматической морфометрии предстательной железы на результатах магнитно-резонансной томографии с помощью технологий искусственного интеллекта в условиях практического здравоохранения.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проспективное диагностическое исследование в соответствии с методологией репортирования результатов научных исследований диагностических тестов STARD 2015².

¹ Свидетельство о регистрации базы данных RU 2025620045/09.01.2025. Заявка № 2024626323 от 20.12.2024. Васильев Ю.А., Насибян Н.М., Владимировский А.В., и др. MosMedData: MPT малого таза с морфометрическими показателями предстательной железы. EDN: IXRMQR

² Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025610804/14.01.2025. Заявка № 2024691653 от 20.12.2024. Васильев Ю.А., Владимировский А.В., Омелянская О.В., и др. Платформа подготовки наборов данных. EDN: TZQQHN

Критерии соответствия

Критерии включения: пациенты мужского пола старше 18 лет; МРТ выполнена в амбулаторных условиях по стандартному протоколу; протокол сканирования: Ioc (локаторы), T2-ВИ (T2-взвешенные изображения), T1-ВИ (T1-взвешенные изображения), ДВИ (диффузионно-взвешенные изображения, DWI) с подавлением сигнала жировой ткани и построение на их основе карт ИКД (изменяемый коэффициент диффузии, ADC), динамическое контрастное усиление (ДКУ/DCE); наличие результатов автоматизированного анализа (работа ИИ-сервиса); наличие информированного добровольного согласия на проведение исследования.

Критерии исключения: двигательные артефакты, артефакты от инородных объектов на уровне исследования; технические дефекты МР-исследования; технические дефекты в результатах работы ИИ-сервиса.

Условия проведения

Исследование выполнено на базе ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы» (ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ). В исследовании использованы результаты лучевых исследований, проведённых в медицинских организациях Департамента здравоохранения г. Москвы, оказывающих медицинскую помощь взрослому населению в амбулаторных условиях (городских поликлиниках). Результаты исследований сохранялись в централизованном архиве медицинских изображений г. Москвы (Едином радиологическом информационном сервисе Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы, ЕРИС ЕМИАС), их описание и составление протоколов выполнялось врачами-рентгенологами референс-центра на базе ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ.

В соответствии с Постановлением Правительства Москвы от 21 ноября 2019 года №1543-ПП³, ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ является оператором эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего примене-

ния этих технологий в системе здравоохранения города Москвы (московского эксперимента). Сотрудниками учреждения осуществляются независимое тестирование и контроль качества работы программных продуктов на основе технологий ИИ. Разработчиками и правообладателями указанных продуктов являются третьи лица — компании и предприятия различной формы собственности, не аффилированные с НПКЦ ДиТ ДЗМ.

Продолжительность исследования

Исследование проводилось в период с 01.04.2024 по 31.10.2024. В указанный период изучаемый программный продукт на основе технологий ИИ осуществлял анализ результатов МРТ целевой области в соответствии с процедурами московского эксперимента. Ежемесячно формировалась выборка для мониторинга качества работы (подробнее эта процедура описана далее). Обобщение и анализ результатов выполнены в период с 01.01.2025 по 01.03.2025.

Описание исследования

Выполнена оценка применимости технологий ИИ для автоматизации измерений предстательной железы в условиях практического здравоохранения.

Индекс-тест (исследуемый метод) — программный продукт на основе технологий ИИ (ИИ-сервис) для распознавания и анализа МР-исследований предстательной железы, интегрированный в ЕРИС ЕМИАС в соответствии с процедурами московского эксперимента.

Функции ИИ-сервиса: определение вертикального, переднезаднего (сагиттального) и фронтального (поперечного) размеров предстательной железы в миллиметрах относительно оси органа (уретры); вычисление объёма предстательной железы [16]. В исследование включён ИИ-сервис IMV PIRADS (ООО «Имвижн», Россия) — единственный участник московского эксперимента по данному направлению.

Референс-тест: клинический мониторинг качества работы ИИ-сервиса в соответствии с оригинальной методикой, разработанной и валидированной в условиях московского эксперимента [14, 17, 18].

Методика проведения клинического мониторинга качества работы ИИ-сервиса. Формирование выборки из всего объёма проанализированных ИИ-сервисом результатов МРТ за отчётный пери-

³ Постановление Правительства Москвы от 21 ноября 2019 г. N 1543-ПП «О проведении эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73059396/>

од. Выборка формируется случайным образом, её размер обоснован ранее и составляет 80 исследований ежемесячно [1]. Выборка пересматривается двумя врачами-рентгенологами со стажем работы не менее 5 лет.

Каждый эксперт оценивает результаты автоматизированного анализа данного исследования по двум критериям: корректность определения и маркировки локализации патологических проявлений (маркировка ИИ-сервисом); правильность трактовки ИИ-сервисом результатов лучевого исследования (заключение ИИ-сервиса).

С учётом морфометрического характера изучаемого ИИ-сервиса под первым критерием понимали правильность сегментации, под вторым — определение объёма и размеров предстательной железы. Для каждого исследования эксперт устанавливал вариант оценки: полное соответствие (1 балл), некорректная оценка (0,5 баллов), ложноположительный результат (0,25 баллов), ложноотрицательный результат (0 баллов). Вариант оценки определялся для каждого указанного выше критерия отдельно, затем все полученные баллы суммировали; максимально возможное значение суммы для данной выборки принимали за 100,0%, после чего вычисляли удельный вес начисленной суммы баллов; в итоге получали уровень клинической оценки, изменяющийся в диапазоне от 0,0 до 100,0%.

В данном контексте использовали следующие подходы: ложноположительный результат означает ошибочное измерение размеров или объёма предстательной железы, приводящее к определению случая как патологического при исходно нормальном состоянии целевого органа; ложноотрицательный результат — ошибочное измерение размеров или объёма предстательной железы, приводящее к определению случая как нормального при фактическом наличии патологических изменений. Ошибочные измерения могут быть обусловлены неправильной сегментацией либо дефектами математических вычислений, связанных с классификацией результатов автоматизированного анализа. Некорректная оценка означает наличие расхождений в измерениях ИИ-сервисом и врачом-рентгенологом, однако такие расхождения не приводят к формированию ложноположительного или ложноотрицательного результата.

В выборку второго этапа включены результаты клинических мониторингов, проведённых в течение 7 месяцев (каждый месяц для мониторинга формировалась новая выборка из 80 результатов МРТ

предстательной железы, обработанных морфометрическим ИИ-сервисом). Соответственно, всего в исследование включено 560 случаев.

Статистический анализ

В исследовании не проводилось сравнение групп, в связи с чем размер выборки не рассчитывался. Вместе с тем размер выборки для регулярного мониторинга качества работы технологий ИИ составляет 80 исследований ежемесячно. Подходы к его определению опубликованы ранее [19].

В работе использована статистическая программа MedCalc v. 23.1.1 (MedCalc Software Ltd, Бельгия). Специальные статистические критерии не применялись, использована описательная статистика.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В условиях практического здравоохранения проведена оценка диагностической точности ИИ-сервиса для морфометрии предстательной железы. В отношении данного продукта в соответствии с методологией московского эксперимента проведено семь клинических мониторингов (по одному мониторингу ежемесячно, размер выборки — 80 случаев). Соответственно формировались выборки исследований, позволяющие оценивать диагностическую точность работы технологий ИИ в проспективном дизайне, т.е. в условиях практического здравоохранения. Для мониторинга случайным образом отобраны 560 результатов МРТ предстательной железы с результатами автоматизированного анализа.

Основные результаты исследования

Полное соответствие результатов работы ИИ-сервиса получено в 71,6% ($n=401$) случаев (табл. 1). Довольно высок был процент случаев с частичным согласием врача-эксперта — 20,5% ($n=115$). Удельный вес ложноотрицательных случаев составил 3,9% ($n=22$). Примечательно, что почти на таком же уровне был процент технических дефектов, возникающих при обработке результатов МРТ — 3,8%, т.е. в 21 случае ИИ-сервис оказался технически ненадёжным.

Клиническая оценка определялась каждый месяц для выборки из 80 исследований, её значения колебались в диапазоне от 88,0 до 97,0%. На общей выборке из 560 исследований, т.е. за весь период применения ИИ-сервиса в условиях практического

Таблица 1

Показатели клинического мониторинга качества работы ИИ-сервиса для морфометрии предстательной железы по результатам магнитно-резонансной томографии

Количество (n=560)	Оценка				
	Полное соответствие	Некорректная оценка	ЛП	ЛО	Дефект
Абс.	401	115	1	22	21
%	71,6	20,5	0,2	3,9	3,8

Примечание. ЛП — ложноположительный результат; ЛО — ложноотрицательный результат.

здравоохранения, значение клинической оценки составило 92,0%.

Отдельно необходимо проанализировать эпизоды некорректной работы ИИ-сервиса. Суммарно в 138 случаях результаты автоматизированного анализа оценены в той или иной мере как некачественные (рис. 1). В структуре выявленных при мониторинге ошибочных или некорректных действий ИИ-сервиса преобладало некорректное оконтуривание предстательной железы — 52,0%; в 14,0% дефектных случаев сегментация отсутст-

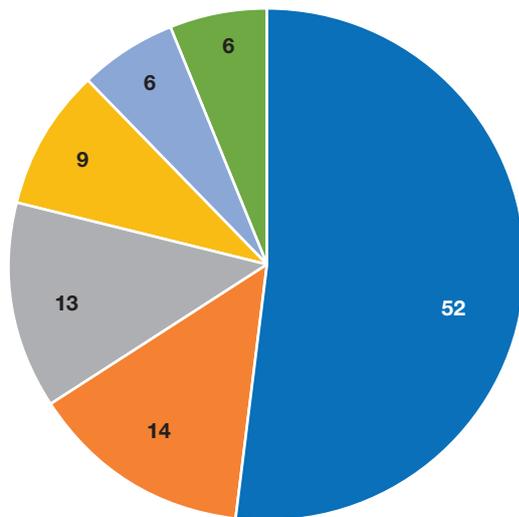
вовала на одной из проекций. Обращает на себя внимание высокий процент неправильных измерений (включая некорректное арифметическое вычисление объёма) на фоне полностью адекватной сегментации целевого органа — 13,0%.

Наиболее типичные ошибки сегментации были связаны с наличием пролабирования верхушки предстательной железы в мочевого пузыря, оконтуривания железы с захватом расширенных венозных сплетений или семенных пузырьков. Примеры автоматизированного анализа, выполненного ИИ-сервисом для морфометрии предстательной железы на результатах МРТ, представлены на рис. 2 и 3.

Полученные данные свидетельствуют о довольно высоком диагностическом качестве изучаемого инструмента. Следовательно, технологии ИИ (компьютерного зрения) можно считать применимыми для автоматизации измерений предстательной железы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проблематика применения технологий ИИ для анализа результатов МРТ малого таза (в частности, предстательной железы) в научной литературе освещена несколько односторонне [20–22]. В общем виде сформулированы возможные задачи для разработок в соответствующей предметной области, в число которых входят сегментация и поиск патологических очагов, классификация и повышение качества мультипараметрического изображения, обнаружение и дифференциальная диагностика злокачественных новообразований, классификация степени риска по шкале Глисона⁴



- Некорректная сегментация (оконтуривание) предстательной железы
- Отсутствие сегментации (оконтуривание) на одной из проекций
- Некорректные измерения и/или вычисления объёма (на фоне правильной сегментации)
- ИИ-сервис не распознал отсутствие предстательной железы (постоперационное состояние)
- ИИ-сервис не обнаружил целевой орган (при его наличии)
- ИИ-сервис не обнаружил дефект изображения

Рис. 1. Структура некорректных или ошибочных действий ИИ-сервиса для морфометрии предстательной железы по результатам магнитно-резонансной томографии, %.

⁴ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024620575 от 06.02.2024. Заявление № 2024620252/26.01.2024. Васильев Ю.А., Блохин И.А., Гележе П.Б., и др. Набор данных бипараметрической МРТ предстательной железы с гистологической верификацией. EDN: XEAAGM Режим доступа: <https://telemedai.ru/nauka/nauchnaya-infrastruktura/nauchnaya-deyatelnost/intellektualnaya-sobstvennost>

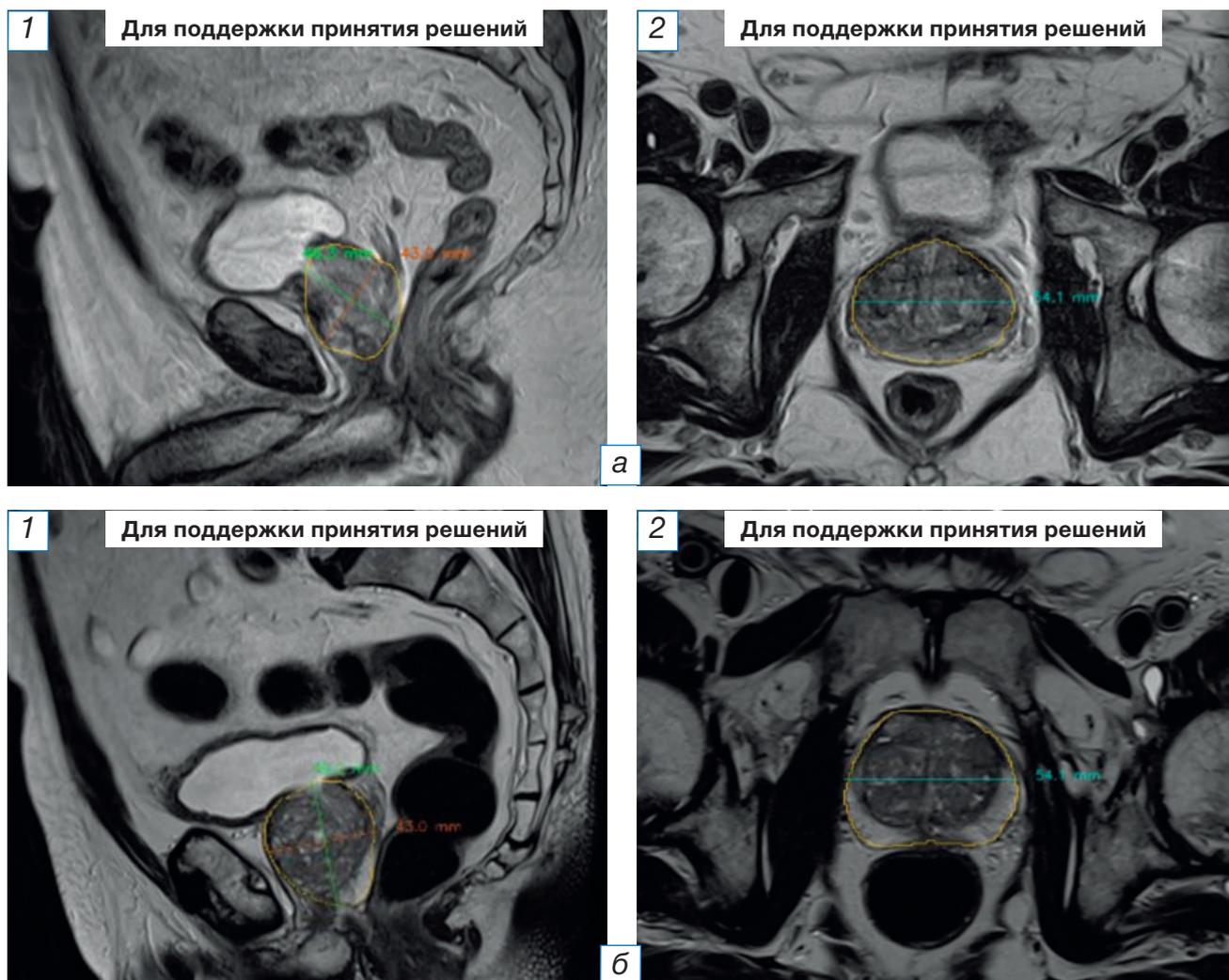


Рис. 2. Результаты магнитно-резонансной томографии органов малого таза у мужчин в возрасте 65 (а) и 67 (б) лет, проанализированные ИИ-сервисом: сегментация и морфометрия предстательной железы выполнены правильно. 1 — сагиттальная проекция; 2 — аксиальная проекция.

[23–25]. В реальной разработке преобладают онкологическая диагностика, использование методов радиомики, а также мультимодальный подход в виде совместного применения результатов МРТ и патоморфологических исследований предстательной железы [26]. Именно для радиомических моделей показана высокая точность дифференциальной диагностики очагов предстательной железы. Повышает ценность таких публикации факт того, что разработанные модели проходят и внешнюю валидацию, т.е. независимую проверку на новых данных. Обобщение в метаанализе данных из 43 статей (9983 пациента) позволили получить средние значения точности (площади под характеристической кривой) радиомических моделей — 0,91–0,93 [27], вместе с тем открытыми остаются вопросы воспроизводимости результатов работы таких моделей, их применения не в лабораторных, а клинических условиях. На этом фоне задачи мор-



Рис. 3. Результаты магнитно-резонансной томографии органов малого таза у мужчины в возрасте 86 лет, проанализированные ИИ-сервисом: пример неправильной сегментации предстательной железы (контур предстательной железы в сагиттальной проекции выполнен не в полном объеме).

фометрии предстательной железы незаслуженно обойдены вниманием. Между тем выполнение рутинных измерительных процедур врачом-рентгенологом «вручную» приводит к затратам времени и всегда чревато погрешностями точности и повторяемости [28–32].

В целом в научной литературе показан довольно высокий уровень диагностической точности ИИ (на основе типовых архитектур нейросетей) при анализе МРТ предстательной железы. Так, при автоматизированной сегментации предстательной железы коэффициент Дайса составляет 0,86–0,9 [33, 34], при классификации патологических проявлений площадь под характеристической кривой также достигает 0,84–0,91 [35, 36]. Точность детекции патологических очагов ниже и находится в диапазоне 0,64–0,81 [37]. В сравнительном исследовании установлено, что ИИ превзошёл международную группу врачей-рентгенологов в составе 62 специалистов в точности выявления клинически значимого рака предстательной железы и классификации по PI-RADS (Prostate Imaging Reporting and Data System) [38]. Существенным недостатком указанных работ является их экспериментальный характер. Все исследования ИИ для диагностики патологии предстательной железы выполняются в лабораторных условиях, на эталонных наборах данных (включая довольно обширное сравнение точности ИИ и группы из 62 врачей). Более того, независимый анализ качества таких статей показал, что в 47,0% из них отсутствовало полное и корректное описание эталонного набора данных, т.е. основного средства измерения точности ИИ. Ещё более негативным является факт того, что до 92,0% статей содержали манипуляции со статистическим анализом в целях сокрытия низкой точности модели [7].

На этом фоне наше исследование проведено в дизайне проспективного, позволившего установить точность и качество работы ИИ в условиях практического здравоохранения. Впервые на достаточно обширном материале получены показатели точности и стабильности работы ИИ-сервиса для морфометрии предстательной железы, отличающиеся научной новизной. Полученное значение клинической оценки 92,0% свидетельствует о достаточно высокой точности изучаемого ИИ-сервиса при его работе на реальном потоке лучевых исследований. Вместе с тем анализ структуры дефектов позволил объективно выявить проблемы

с сегментацией целевого органа. Исходя из опыта московского эксперимента, некорректная сегментация является типичной ошибкой ИИ-сервисов, особенно часто проявляющаяся на ранних этапах их разработки (для данной клинической задачи) [7]. Изучаемый ИИ-сервис вошёл в эксперимент относительно недавно, поэтому указанный тип дефекта вполне объясним. Результаты клинического мониторинга могут быть использованы как для устранения конкретного дефекта, так и для общего улучшения ИИ-сервиса и подготовки его к клиническим испытаниям в целях получения статуса медицинского изделия.

Ограничения исследования

В исследование включён только один программный продукт на основе технологий ИИ. Ситуация обусловлена отсутствием иных разработок, решающих задачу автоматизированной морфометрии предстательной железы. По состоянию на 01.03.2025 в Российской Федерации отсутствуют медицинские изделия с ИИ для решения указанной задачи; в исследование включён единственный релевантный участник московского эксперимента. Очевидно, требуются меры стимулирования разработки иных решений, в том числе включающих функционал поддержки диагностических решений на основе радиомики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизация рутинных измерений вносит существенный вклад в стандартизацию процессов описания результатов лучевых исследований. Особо важен этот аспект с точки зрения обеспечения преемственности медицинской помощи при обращении пациента в различные медицинские организации.

Технологии ИИ применимы для автоматизации измерений предстательной железы при описании результатов МРТ органов малого таза. При эксплуатации в условиях практического здравоохранения соответствующий ИИ-сервис продемонстрировал значение клинической оценки 92,0%, что позволяет охарактеризовать точность и качество его работы на потоке результатов МР-исследований как высокое.

Полученные сведения могут быть использованы в качестве методического материала для разработки иных продуктов для автоматизированной морфометрии предстательной железы на результатах МРТ малого таза.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. *Н.М. Насибян* — обзор литературы, сбор и обработка материала, анализ полученных данных, подготовка текста рукописи для подачи в журнал; *А.В. Владзимирский* — концепция исследования, окончательное редактирование, одобрение рукописи; *К.М. Арзамасов* — окончательное редактирование, одобрение рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы одобрили рукопись, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части).

Этическая экспертиза. Исследование проведено в рамках эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы, утверждённого этическим комитетом (выписка из протокола № 2 НЭК МРО РОПР от 20.02.2020) и зарегистрированного на ClinicalTrials (NCT04489992). Все пациенты, изображения которых включены в исследование, при поступлении в стационар подписывали информированное добровольное согласие на использование результатов обследования и лечения в научных целях.

Источники финансирования. Статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИОКР «Разработка платформы подготовки наборов данных лучевых диагностических исследований» (№ ЕГИСУ 123031500003-8) в соответствии с Приказом от 22.12.2023 № 1258 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счёт средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям, подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2024 год и плановый период 2025 и 2026 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе неприменима, данные могут быть опубликованы в открытом доступе.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. *N.M. Nasibian*: literature review, data collection and processing, analysis of results, manuscript preparation; *A.V. Vladzimirskyy*: study conception, final editing, manuscript approval; *K.M. Arzamasov*: final editing, manuscript approval. Thereby, all authors provided approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval. This study was carried out in accordance with the framework established by the Experiment on the Use of Innovative Technologies in Computer Vision for Medical Image Analysis, with subsequent applications in the healthcare system of Moscow. The research received approval from the ethical committee, as documented in protocol No. 2 of IEC of MRB of the RSR dated February 20, 2020. Additionally, the study is registered on ClinicalTrials under the identifier NCT04489992. All patients whose images were included in the study signed an informed voluntary consent upon admission to the hospital to use the results of the examination and treatment for scientific purposes.

Funding sources. This paper was prepared by a team of authors as a part of the research and development project “Development of a platform to generate datasets containing diagnostic imaging studies” (EGISU No 123031500003-8) in accordance with Order No. 1258 dated December 22, 2023: “On approval of state assignments funded from the Moscow city budget to state budgetary (autonomous) institutions subordinated to the Moscow Healthcare Department for 2024 and the planning period of 2025 and 2026”.

Disclosure of interests. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Statement of originality. The authors did not use previously published information (text, illustrations, data) in conducting the research and creating this paper.

Data availability statement. The editorial policy regarding data sharing is not applicable to this work, data can be published as open access.

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

Provenance and peer-review. This paper was submitted to the journal on an initiative basis and reviewed according to the usual procedure. Two external reviewers and the scientific editor of the publication participated in the review.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Омелянская О.В., и др. Обзор метаанализов о применении искусственного интеллекта в лучевой диагностике // *Медицинская визуализация*. 2024. Т. 28, № 3. С. 22–41. [Vasiliev YuA, Vladzimirskyy AV, Omelyanskaya OV, et al. Review of meta-analyses on the use of artificial intelligence in radiology. *Medical visualization*. 2024;28(3):22–41]. doi: 10.24835/1607-0763-1425 EDN: QYASNZ
2. Kelly BS, Judge C, Bollard SM, et al. Radiology artificial intelligence: a systematic review and evaluation of methods (RAISE). *Eur Radiol*. 2022;32(11):7998–8007. doi: 10.1007/s00330-022-08784-6
3. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, et al. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Canc*. 2018;18(8):500–510. doi: 10.1038/s41568-018-0016-5
4. Katzman BD, van der Pol CB, Soyer P, Patlas MN. Artificial intelligence in emergency radiology: A review of applications and possibilities. *Diagn Interv Imaging*. 2023;104(1):6–10. doi: 10.1016/j.diii.2022.07.005
5. Ваньков В.В., Артемова О.Р., Карпов О.Э., и др. Итоги внедрения искусственного интеллекта в здравоохранении России // *Врач и информационные технологии*. 2024. № 3. С. 32–43. [Vankov VV, Artemova OR, Karpov OE, et al. Results of the implementation of artificial intelligence in the Russian healthcare. *Medical doctor and information technology*. 2024;(3):32–43]. doi: 10.25881/18110193_2024_3_32 EDN: TIASHB
6. Гусев А.В., Артемова О.Р., Васильев Ю.А., Владимирский А.В. Внедрение медицинских изделий с технологиями искусственного интеллекта в здравоохранении России: итоги 2023 г. // *Национальное здравоохранение*. 2024. Т. 5, № 2. С. 17–24. [Gusev AV, Artemova OR, Vasiliev YuA, Vladzimirskyy AV. Integration of ai-based software as a medical device into Russian healthcare system: Results of 2023. *National Health Care (Russia)*. 2024;5(2):17–24]. doi: 10.47093/2713069X.2024.5.2.17-24 EDN: GEQMJV
7. Владимирский А.В., Васильев Ю.А., Арзамасов К.М., и др. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента. 2-е изд. Москва: Издательские решения, 2023. 388 с. [Vladzimirskyy AV, Vasiliev YA, Arzamasov KM, et al. *Computer vision in radiation diagnostics: The first stage of the Moscow experiment*. 2nd ed. Moscow: Izdatel'skie resheniya; 2023. 388 p. (In Russ.)]. EDN: FOYLXK
8. Аполихин О.И., Сивков А.В., Комарова В.А., Никушина А.А. Болезни предстательной железы в Российской Федерации: статистические данные 2008–2017 гг. // *Экспериментальная и клиническая урология*. 2021. № 2. С. 4–13. [Apolikhin OI, Sivkov AV, Komarova VA, Nikushina AA. Prostate diseases in the Russian Federation: Statistical data for 2008–2017. *Experimental & clinical urology*. 2019;(2):4–13. doi: 10.29188/2222-8543-2019-11-2-4-12 EDN: DHXMJP
9. Chen J, He L, Ni Y, et al. Prevalence and associated risk factors of prostate cancer among a large Chinese population. *Sci Rep*. 2024;14(1):26338. doi: 10.1038/s41598-024-77863-z
10. Tan EH, Burn E, Barclay NL, et al.; OPTIMA Consortium. Incidence, prevalence, and survival of prostate cancer in the UK. *JAMA Network Open*. 2024;7(9):e2434622. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2024.34622
11. Fernandes MC, Yildirim O, Woo S, et al. The role of MRI in prostate cancer: Current and future directions. *Magma (New York)*. 2022;35(4):503–521. doi: 10.1007/s10334-022-01006-6
12. Stempel CV, Dickinson L, Pendsé D. MRI in the management of prostate cancer. seminars in ultrasound, CT, and MR. 2020;41(4):366–372. doi: 10.1053/j.sult.2020.04.003
13. Sunoqrot MR, Saha A, Hosseinzadeh M, et al. Artificial intelligence for prostate MRI: Open datasets, available applications, and grand challenges. *Eur Radiol Exp*. 2022;6(1):35. doi: 10.1186/s41747-02200288-8
14. Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Омелянская О.В., и др. Методология тестирования и мониторинга программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для медицинской диагностики // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 3. С. 252–267. [Vasiliev YuA, Vladzimirskyy AV, Omelyanskaya OV, et al. Methodology for testing and monitoring artificial intelligence-based software for medical diagnostics. *Digital Diagnostics*. 2023;4(3):252–267]. doi: 10.17816/DD321971 EDN: UEDORU
15. Четвериков С.Ф., Арзамасов К.М., Андрейченко А.Е., и др. Подходы к формированию выборки для контроля качества работы систем искусственного интеллекта в медико-биологических исследованиях // *Современные технологии в медицине*. 2023. Т. 15, № 2. С. 19–27. [Chetverikov SF, Arzamasov KM, Andreichenko AE, et al. Approaches to sampling for quality control of artificial intelligence in biomedical research. *Modern technologies in medicine*. 2023;15(2):19–27]. doi: 10.17691/stm2023.15.2.02 EDN: FUKXYC
16. Cohen JF, Korevaar DA, Altman DG, et al. STARD 2015 guidelines for reporting diagnostic accuracy studies: explanation and elaboration. *BMJ Open*. 2016;6(11):e012799. doi: 10.1136/bmjopen-2016-012799
17. Maki JH, Patel NU, Ulrich EJ, et al. Part I. Prostate cancer detection, artificial intelligence for prostate cancer and how we measure diagnostic performance: A comprehensive review. *Curr Probl Diagn Radiol*. 2024;53(5):606–613. doi: 10.1067/j.cpradiol.2024.04.002
18. Bozgo V, Roest C, van Oort I, et al. Prostate MRI and artificial intelligence during active surveillance: Should we jump on the bandwagon? *Eur Radiol*. 2024;34(12):7698–7704. doi: 10.1007/s00330-02410869-3
19. Бобровская Т.М., Васильев Ю.А., Никитин Н.Ю., и др. Объем выборки для оценки диагностической точности программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике // *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2024. Т. 39, № 3. С. 188–198. [Bobrovskaya TM, Vasilev YuA, Nikitin NYu, et al. Sample size for assessing a diagnostic accuracy of ai-based software in radiology. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2024;39(3):188–198]. doi: 10.29001/2073-8552-2024-39-3-188-198 EDN: BPCPLL
20. Belue MJ, Turkbey B. Tasks for artificial intelligence in prostate MRI. *Eur Radiol Exp*. 2022;6(1):33. doi: 10.1186/s41747-022-00287-9
21. Harmon SA, Tuncer S, Sanford T, et al. Artificial intelligence at the intersection of pathology and radiology in prostate cancer. *Diagnost Intervent Radiol (Ankara, Turkey)*. 2019;25(3):183–188. doi: 10.5152/dir.2019.19125
22. Рева С.А., Шадеркин И.А., Зятчин И.В., Петров С.Б. Искусственный интеллект в онкоурологии // *Экспериментальная и клиническая урология*. 2021. Т. 14, № 2. С. 46–51. [Reva SA, Shaderkin IA, Zyatchin IV, Petrov SB. Artificial intelligence in

- cancer urology literature review. *Experimental & clinical urology*. 2021;14(2):46–51]. doi: 10.29188/2222-8543-2021-14-2-46-51 EDN: BHBSNP
23. Абоян И.А., Редькин В.А., Назарук М.Г. и др. Искусственный интеллект в диагностике рака предстательной железы с помощью магнитно-резонансной томографии. Новый подход // *Онкоурология*. 2024. Т. 20, № 2. С. 35–43. [Aboyan IA, Redkin VA, Nazaruk MG, et al. Artificial intelligence in diagnosis of prostate cancer using magnetic resonance imaging. New approach. *Cancer urology*. 2024;20(2):35–43]. doi: 10.17650/1726-9776-2024-20-2-35-43 EDN: MBGNUY
 24. Алифов Д.Г., Звезда С.А., Кельн А.А., и др. Лучевая диагностика рака простаты на основе искусственного интеллекта и радиомного машинного обучения // *Университетская медицина Урала*. 2021. Т. 7, № 4. С. 48–50. [Alifov DG, Zvezda SA, Cologne AA, et al. Radiation diagnostics of prostate cancer based on artificial intelligence and radome machine learning. *Universitetskaya meditsina Urala*. 2021;7(4):48–50]. EDN: CUBNFQ
 25. Kaneko M, Magoulanis V, Ramacciotti LS, et al. The novel green learning artificial intelligence for prostate cancer imaging: A balanced alternative to deep learning and radiomics. *Urol Clin North Am*. 2024;51(1):1–13. doi: 10.1016/j.ucl.2023.08.001
 26. Lu Y, Yuan R, Su Y, et al. Biparametric MRI-based radiomics for noninvasive discrimination of benign prostatic hyperplasia nodules (BPH) and prostate cancer nodules: A bio-centric retrospective cohort study. *Sci Rep*. 2025;15(1):654. doi: 10.1038/s41598-024-84908-w
 27. Lomer NB, Ashoobi MA, Ahmadzadeh AM, et al. MRI-based radiomics for predicting prostate cancer grade groups: A systematic review and metaanalysis of diagnostic test accuracy studies. *Acad Radiol*. 2024;S1076-6332(24)009541. doi: 10.1016/j.acra.2024.12.006
 28. Учваткин А.А., Юдин А.Л., Афанасьева Н.И., Юматова Е.А. Оттенки серого: как и почему мы ошибаемся // *Медицинская визуализация*. 2020. Т. 24, № 3. С. 123–145. [Uchevatkin AA, Yudin AL, Afanas'yeva NI, Yumatova EA. Shades of grey: How and why we make mistakes. *Medical visualization*. 2020;24(3):123–145]. doi: 10.24835/1607-0763-2020-3-123-145 EDN: XVKCLV
 29. Van der Loo I, Bucho TM, Hanley JA, et al. Measurement variability of radiologists when measuring brain tumors. *Eur J Radiol*. 2024;183:111874. doi: 10.1016/j.ejrad.2024.111874
 30. Sanford TH, Zhang L, Harmon SA, et al. Data augmentation and transfer learning to improve generalizability of an automated prostate segmentation model. *AJR*. 2020;215(6):1403–1410. doi: 10.2214/AJR.19.22347
 31. Ushinsky A, Bardis M, Glavis-Bloom J, et al. A 3D-2D hybrid U-net convolutional neural network approach to prostate organ segmentation of multiparametric MRI. *AJR*. 2021;216(1):111–116. doi: 10.2214/AJR.19.22168
 32. Wang B, Lei Y, Tian S, et al. Deeply supervised 3D fully convolutional networks with group dilated convolution for automatic MRI prostate segmentation. *Med Phys*. 2019;46(4):1707–1718. doi: 10.1002/mp.13416
 33. Le MH, Chen J, Wang L, et al. Automated diagnosis of prostate cancer in multi-parametric MRI based on multimodal convolutional neural networks. *Phys Med Biol*. 2017;62(16):6497–6514. doi: 10.1088/13616560/aa7731
 34. Liu S, Zheng H, Feng Y, Li W. Prostate cancer diagnosis using deep learning with 3D multiparametric MRI. In: *Medical imaging: Computer-aided diagnosis*. Computer Vision and Pattern Recognition (cs.CV); Machine Learning (stat.ML); 2017. P. 1013428. doi: 10.1117/12.2277121
 35. Cao R, Mohammadian Bajgiran A, Afshari Mirak S, et al. Joint prostate cancer detection and gleason score prediction in mp-MRI via FocalNet. *IEEE Trans Med Imaging*. 2019;38(11):2496–2506. doi: 10.1109/TMI.2019.2901928
 36. Ishioka J, Matsuoka Y, Uehara S, et al. Computeraided diagnosis of prostate cancer on magnetic resonance imaging using a convolutional neural network algorithm. *BJU Int*. 2018;122(3):411–417. doi: 10.1111/bju.14397
 37. Saha A, Bosma JS, Twilt JJ, et al.; PI-CAI consortium. Artificial intelligence and radiologists in prostate cancer detection on MRI (PI-CAI): An international, paired, non-inferiority, confirmatory study. *Lancet Oncol*. 2024;25(7):879–887. doi: 10.1016/S14702045(24)00220-1
 38. Belue MJ, Harmon SA, Lay NS, et al. The low rate of adherence to checklist for artificial intelligence in medical imaging criteria among published prostate MRI artificial intelligence algorithms. *J Am Coll Radiol*. 2023;20(2):134–145. doi: 10.1016/j.jacr.2022.05.022

ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за переписку:

Насибян Нелли Маратовна;

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

ORCID: 0009-0004-4620-6204;

eLibrary SPIN: 4936-2738;

e-mail: nelli-nasibyan94@yandex.ru

Соавторы:

Владимирский Антон Вячеславович, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0002-2990-7736;

eLibrary SPIN: 3602-7120;

e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru

Арзамасов Кирилл Михайлович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0001-7786-0349;

eLibrary SPIN: 3160-8062;

e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru

AUTHORS' INFO

The author responsible for the correspondence:

Nelli M. Nasibian;

address: 24 Petrovka st, bldg 1, Moscow, Russia,127051;

ORCID: 0009-0004-4620-6204;

eLibrary SPIN: 4936-2738;

e-mail: nelli-nasibyan94@yandex.ru

Co-authors:

Anton V. Vladzimirskyy, MD, PhD;

ORCID: 0000-0002-2990-7736;

eLibrary SPIN: 3602-7120;

e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru

Kirill M. Arzamasov, MD, PhD;

ORCID: 0000-0001-7786-0349;

eLibrary SPIN: 3160-8062;

e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru