

ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ НА РЕЗУЛЬТАТАХ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Н. М. Насибян[✉], А. В. Владзимирский[✉], К. М. Арзамасов[✉]

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

ВВЕДЕНИЕ: Магнитно-резонансная томография обеспечивает точное и надежное обнаружение патологий предстательной железы, а также стадирование рака предстательной железы. Возможности метода используются в проведении прицельной биопсии, проведении лечения, а также для оценки метастатического поражения. В настоящее время большее внимание сосредоточено на возможностях радиомики и искусственного интеллекта для повышения диагностических возможностей магнитно-резонансной томографии, в частности для улучшения точности и сроков выявления образований. Технологии искусственного интеллекта (ИИ) имеют огромное количество потенциальных применений в классификации и улучшении качества мультипараметрического изображения предстательной железы, сегментации самой железы и подозрительных очагов, обнаружении и дифференциации клинически незначимых и значимых раковых опухолей на трехмерном уровне, а также классификации поражений по категориям системы визуализации предстательной железы (шкала Глисона).

ЦЕЛЬ: Оценить диагностическую точность автоматизированного измерения размеров и объема предстательной железы при помощи искусственного интеллекта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проведено ретроспективное диагностическое исследование в соответствии с методологией «STARD 2015». Использована оригинальная методология тестирования и мониторинга ИИ-сервисов на этапах жизненного цикла. Оценка точности проведена путем бинарной классификации: правильное измерение и неправильное измерение. Производилась оценка удельного веса корректных измерений, затем рассчитывалась точность морфометрического ИИ-сервиса по оригинальной формуле — отношение количества исследований с согласием врача с измерениями ИИ-сервиса к общему количеству успешно обработанных ИИ-сервисом исследований, умноженное на 100.

РЕЗУЛЬТАТЫ: При проведении второго калибровочного тестирования была установлена точность определения вертикального размера предстательной железы — 94,68 %, передне-заднего (сагиттального) 97,87 %, фронтального (поперечного) — 96,81 %. Суммарно точность измерений морфометрического ИИ-сервиса для результатов МРТ предстательной железы 96,45 %.

ОБСУЖДЕНИЕ: Проблематика применения искусственного интеллекта для анализа МРТ органов малого таза, в частности предстательной железы, исследуется ограниченным количеством авторов. На этом фоне автоматизированный анализ исследований органов грудной клетки, молочной железы или головного мозга принципиально более популярен. Объективные причины для объяснения такого дисбаланса находятся с трудом. Фактически можно лишь ограничиться стандартным утверждением об отсутствии данных для обучения алгоритмов — в нужном объеме и нужного качества. Большинство авторов фокусируются на проблемах выявления, оценки риска и дифференциальной диагностики очаговых образований предстательной железы. В частности, из 11 решений на основе технологий искусственного интеллекта, имеющих статус медицинского изделия в США и/или странах Западной Европы, 5 выполняют функцию сегментации, другие 5 — детекции очагов (при этом 2 отображают результаты в виде тепловой карты, 3 — формируют проект описания), наконец, одно решение проводит сегментацию железы и расчет «нескольких биомаркеров» (например, плотность ПСА), а также предлагает проект описания результатов исследования. Отметим, что в последнем случае опубликованы значения коэффициента Дайса для задачи сегментации, но отсутствуют данные о точности вычислений биомаркеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Московский эксперимент, в рамках которого проведено наше исследование, представляет собой беспристрастную и объективную внешнюю валидацию, к тому же проводимую по стандартизированной методологии и с «прозрачными» результатами. Задача по автоматизации морфометрии рутинных измерений предстательной железы успешно реализована. Применение технологий искусственного интеллекта для анализа органов малого таза, в частности, предстательной железы, остается актуальным и малоисследованным направлением.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магнитно-резонансная томография, предстательная железа, мультипараметрическое изображение, искусственный интеллект

* Для корреспонденции: Насибян Нелли Маратовна, e-mail: nelli-nasibyan94@yandex.ru

Для цитирования: Насибян Н.М., Владимирский А.В., Арзамасов К.М. Точность измерений предстательной железы на результатах магнитно-резонансной томографии с применением технологий искусственного интеллекта: ретроспективное диагностическое исследование // Лучевая диагностика и терапия. 2025. Т. 16, № 2. С. 64–73, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-2-64-73>.

ACCURACY OF PROSTATE MEASUREMENTS BASED ON MAGNETIC RESONANCE IMAGING RESULTS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES: RETROSPECTIVE DIAGNOSTIC RESEARCH

Nelli M. Nasibyan[✉], Anton V. Vladzimirskij[✉], Kirill M. Arzamasov[✉]

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

INTRODUCTION: Magnetic resonance imaging provides accurate and reliable detection of prostate pathologies, as well as staging of prostate cancer. The capabilities of the method are used in conducting targeted biopsy, treatment, and also for assessing metastatic lesions. Currently, more attention is focused on the possibilities of radiomics and artificial intelligence to improve the diagnostic capabilities of magnetic resonance imaging, in particular to improve the accuracy and timing of detection of formations. Artificial intelligence (AI) technologies have a huge number of potential applications in classifying and improving the quality of multiparametric prostate images, segmenting the prostate gland and suspicious lesions, detecting and differentiating clinically insignificant and significant cancers at the 3D level, and classifying lesions according to the Prostate Imaging Reporting and Data System (PI-RADS).

OBJECTIVE: To evaluate the diagnostic accuracy of automated measurement of prostate size and volume using artificial intelligence.

MATERIALS AND METHODS: A retrospective diagnostic research was conducted in accordance with methodology «STARD 2015». An original methodology for testing and monitoring AI services at life cycle stages was used. The accuracy assessment was carried out by binary classification: correct measurement and incorrect measurement. The proportion of correct measurements was assessed, then the accuracy of the morphometric AI service was calculated using the original formula — the ratio of the number of studies with the doctor's consent to the measurements of the AI service to the total number of studies successfully processed by the AI service, multiplied by 100.

RESULTS: During the second calibration test, the accuracy of determining the vertical size of the prostate gland was 94.68%, the anteroposterior (sagittal) size accuracy was 97.87%, and the frontal (transverse) size accuracy was 96.81%. Overall, the accuracy of the morphometric AI service in measuring prostate gland size from MRI results was 96.45%.

DISCUSSION: The use of artificial intelligence for the analysis of MRI of the pelvic organs particularly of the prostate gland, has been studied by a limited number of authors. In contrast, automated analysis of studies of the chest organs, mammary gland or brain is significantly more common. Objective reasons explaining this imbalance are difficult to find. In fact, we can only limit ourselves to the standard statement about the lack of data for training algorithms — in the required volume and quality. Most researchers focus on the problems of detection, risk assessment and differential diagnosis of focal lesions of the prostate gland. In particular, among 11 AI-based that have received medical device approval in the USA and/or Western Europe, 5 perform the segmentation function, the other 5 focus on the detection of foci (with 2 presenting the results as a heat map and 3 providing reports), and one solution both segments the gland and calculates «several biomarkers» (e.g., PSA density) while also offering a description project of the study results. It should be noted that, in the latter case, Dice coefficient values for the segmentation task have been published, but data on the accuracy of biomarker calculations are not available.

CONCLUSION: The Moscow Experiment, within the framework of which our research was conducted, represents an impartial and objective external validation, moreover, conducted according to a standardized methodology and with «transparent» results. The task of automating the morphometry of routine measurements of the prostate gland has been successfully implemented. The use of artificial intelligence technologies for the analysis of pelvic organs, in particular, the prostate gland, remains a relevant and little-studied area.

KEYWORDS: magnetic resonance imaging, prostate gland, morphometry, multiparametric imaging, artificial intelligence

* For correspondence: Nelli M. Nasibyan, e-mail: nelli-nasibyan94@yandex.ru

For citation: Nasibyan N.M., Vladzimirskij A.V., Arzamasov K.M. Accuracy of prostate measurements based on magnetic resonance imaging results using artificial intelligence technologies: retrospective diagnostic research // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2025. Vol. 16, No. 2. P. 64–73, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-2-64-73>.

Введение. Онкологические и воспалительные заболевания предстательной железы (ПЖ) преобладают в структуре урологической патологии мужчин. Доброкачественную гиперплазию предстательной железы (ДГПЖ) диагностируют более чем

у 70,0% мужчин в возрасте старше 60 лет; очень высока (33,69 на 100 тыс. взрослого мужского населения) и имеет отчетливую тенденцию к росту распространенность рака предстательной железы (РПЖ). Высока распространенность и клиническая

значимость (в том числе в аспекте репродуктивного здоровья) хронического простатита [1].

Скрининг и дифференциальная диагностика заболеваний предстательной железы представляет собой многоэтапный процесс, включающий различные виды исследований — лабораторных, инструментальных, лучевых.

В этом аспекте среди методов визуализации стандартно преобладала ультразвуковая диагностика. Однако в последние годы значительно усилилась роль магнитно-резонансной томографии (МРТ), особенно за счет появления функциональных последовательностей. Этот метод обеспечивает точное и надежное обнаружение патологии, а также стадирование РПЖ. Значителен потенциал МРТ для улучшения стратификации риска перед лечением, отбора и последующего активного наблюдения пациентов (в том числе для мониторинга рецидивов). Возможности метода используются в проведении прицельной биопсии, планировании лечения, а также для оценки метастатического поражения. Внимание многих исследователей сосредоточено на оценке возможностей радиомики и искусственного интеллекта для повышения диагностических возможностей МРТ, в частности для улучшения точности и сроков выявления образований, дифференциальной диагностики (вплоть до отказа от биопсии), оценки агрессивности процесса и общего прогноза [2].

При анализе и интерпретации результатов МРТ органов малого таза у мужчин технологии искусственного интеллекта (ИИ) имеют огромное количество потенциальных применений. Они могут использоваться для классификации и улучшения качества мультипараметрического изображения предстательной железы, сегментации самой железы и подозрительных очагов, обнаружения и дифференциации клинически незначимых и значимых раковых опухолей на трёхмерном уровне, а также классификации поражений по категориям системы визуализации предстательной железы (шкала Глисона) [3].

В научной литературе отмечается большой интерес к проблематике ИИ в медицине, однако в конкретной области МР-диагностики заболеваний предстательной железы научные исследования находятся на самом базовом уровне.

Обсуждаются методические вопросы потенциального применения ИИ при активном наблюдении целевой группы пациентов. При этом отмечается крайне низкий доказательный уровень результатов реального применения соответствующих технологий [4]. Выполняются различные обзоры, в том числе охватывающие разные направления и методы диагностики [5–10]. В этих публикациях преимущественно происходит констатация проблемы и постановка задач, однако реальные результаты отсутствуют.

Рассматриваются вопросы методологии обучения ИИ на основе мультимодального подхода (одновременного использования результатов МРТ и пато-

морфологических исследований предстательной железы) [11].

В виде отдельного направления формируется проблематика применения радиомики для диагностики заболеваний предстательной железы. Количество и качество научных работ здесь неуклонно нарастают [12].

Однако наше внимание сосредоточено на несколько ином аспекте, а именно — автоматизации измерений, которые выполняет врач-рентгенолог при интерпретации данного изображения. Это трудоемкая, механистическая процедура, зачастую занимающая неприемлемо большое время, поэтому она представляется важной задачей для автоматизации.

Надо отметить, что направление автоматизированного анализа результатов МРТ органов малого таза (как у мужчин, так и у женщин) не пользуется особым интересом со стороны разработчиков. На международном уровне в 2022 г. зафиксировано порядка 11 разработок на основе ИИ для анализа результатов МРТ предстательной железы, причем все они тестировались только ретроспективно или в режиме соревнования между алгоритмами; валидация в реальных клинических условиях не проводилась [13]. На этом фоне, например, существуют сотни разработок для анализа результатов рентгенографии и компьютерной томографии органов малого таза.

Проведено сравнительное изучение точности алгоритмов ИИ и международной группы врачей-рентгенологов в выявлении рака предстательной железы; при этом задействованы результаты свыше 10 тысяч МРТ и 62 врача. Установлено, что в среднем ИИ превзошел врачей в точности выявления клинически значимого РПЖ и классификации по PI-RADS [14]. Вместе с тем это исследование носило сугубо ретроспективный, фактически лабораторный характер. Авторы лишь сделали вывод о потребности дальнейшей валидации ИИ в клинических условиях.

На этом фоне с 2020 г. в Российской Федерации проводится крупнейшее в мире научное проспективное многоцентровое исследование применимости, безопасности и качества искусственного интеллекта (ИИ) в реальных клинических условиях: эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения этих технологий в системе здравоохранения города Москвы (Московский эксперимент; mosmed.ai) [15].

Суммарно в его рамках изучается свыше 50 различных алгоритмов искусственного интеллекта для решения свыше 30 различных диагностических задач; общий объем наблюдений уже превысил 13 млн случаев. В соответствии с методологией и порядком Московского эксперимента с 2024 г. в условиях практического здравоохранения исследуется ИИ-сервис для морфометрии предстательной железы. Отметим, что именно автоматизация измерений обуславливает

действительное сокращение длительности описаний результатов лучевых исследований, а следовательно — повышение производительности труда врача-рентгенолога [16]. Накопленные в процессе валидации ИИ в клинических условиях данные требуют систематизации.

Цель. Оценить диагностическую точность программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для автоматизированного измерения размеров и объема предстательной железы.

Материалы и методы. Одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента. Дизайн: ретроспективное диагностическое исследование в соответствии с методологией «STARD 2015».

Индекс-тест (исследуемый метод) — программный продукт на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ-сервис) для распознавания и анализа МР-исследований, интегрированный в Единый радиологический информационный сервис Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы (ЕРИС ЕМИАС) в соответствии с процедурами Московского эксперимента.

В исследование включен ИИ-сервис «IMV PIRADS» (ООО «Имвижн») — единственный участник Московского эксперимента, предоставляющий решение для морфометрии предстательной железы по результатам МРТ.

Референс-тест: эталонный набор данных (n=100), подготовленный при участии авторов статьи по оригинальной методологии, включающей стандартизированные процедуры сбора, подготовки, разметки данных, оформления, публикации и применения набора данных в соответствии с ГОСТ Р 59921.5–2022 [17].

Далее приводится детальное описание индекса и референс-теста¹:

1. Пункт чек-листа 10а. Детальное описание индексного теста, позволяющее повторить его.

Система поддержки принятия врачебных решений и анализа медицинских данных на основе искусственного интеллекта для оценки предстательной железы (IMV PIRADS) / Зубаненко А.А., Ульянов П.Г. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024619893, 27.04.2024. Заявка № 2024618626 от 19.04.2024.

2. Пункт чек-листа 10б. Детальное описание референсного теста, позволяющее повторить его.

Эталонный набор данных (n=100). Сформирован путем подбора (по критериям, приведенным далее), загрузки и деперсонализации в соответствии с законодательством Российской Федерации данных из ЕРИС ЕМИАС.

Критерии включения:

А. Пациент мужчина старше 18 лет.

В. Наличие результатов магнитно-резонансной томографии органов малого таза по стандартному протоколу, выполненному при оказании медицинской помощи в амбулаторных условиях:

— loc (локаторы);

— T2-ВИ (на основе импульсной последовательности Turbo Spin Echo (T2-ВИ TSE);

— T1-ВИ (на основе импульсной последовательности Turbo Spin Echo (T2-ВИ TSE);

— диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ, DWI) с подавлением сигнала жировой ткани и построение на их основе карт измеряемого коэффициента диффузии (ИКД, ADC);

— динамическое контрастное усиление (ДКУ, DCE).

Критерии исключения:

А. Демографические.

В. Двигательные артефакты, артефакты от иностранных объектов на уровне исследования.

С. Технические дефекты (отсутствие T2 сагитальной и аксиальной серий в исследовании; анатомическая область исследования, отличающаяся от малого таза; исследования, выполненные по протоколам сканирования, отличающимся от стандартных протоколов; технические артефакты исследования, которые не относятся к пациенту; данные вне формата DICOM 3.0).

Разметка набора данных состояла в определении вертикального, передне-заднего (сагитального) и фронтального (поперечного) размеров предстательной железы в миллиметрах относительно оси органа (уретры). Выполнялась штатными средствами автоматизированного рабочего места врача-рентгенолога в ЕРИС ЕМИАС.

Результаты разметки сохранялись в электронной таблице офисного табличного редактора. Разметка проводилась двумя врачами-рентгенологами независимо с компетенциями по интерпретации МРТ и стажем работы не менее 3 лет. Затем проводилось сопоставление результатов разметки и формирование консенсусной разметки врачом-рентгенологом (экспертом) со стажем работы не менее 5 лет.

С учетом характера решаемой ИИ задачи (морфометрия) патогистологическая или иная верификация не требовалась.

Набор данных загружался в тестовый контур ЕРИС ЕМИАС, в котором в дальнейшем осуществлялось тестирование ИИ-сервисов. Результаты разметки сохранялись отдельно, в электронных таблицах в закрытой корпоративной информационной системе ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ». Для разработчиков ИИ-сервиса сведения о разметке были недоступны.

¹ Пункты чек-листа цитируются по переводу в Cohen J.F., Korevaar D.A., Altman D.G., Bruns D.E., Gatsonis C.A., Hooft L., Irwig L., Levine D., Reitsma J.B., de Vet H., Bossuyt P. Рекомендации по составлению отчетов о диагностических исследованиях (STARD 2015): разъяснения и уточнения // Вопросы современной педиатрии. 2022. Т. 21, № 3. С. 209–228.

Процедуры создания, хранения и применения наборов данных в целом осуществлялись по оригинальной методологии и с учетом ГОСТ Р 59921.5–2022 [18].

3. Пункт чек-листа 11. Обоснование выбора референсного теста (при наличии аналогов).

Эталонный набор данных формировался в соответствии с правилами и нормативным обеспечением Московского эксперимента для калибровочного тестирования ИИ-сервисов в тестовом контуре ЕРИС ЕМИАС.

Альтернативой эталонному набору данных мог бы послужить произвольный набор данных, размещенный в открытом доступе. Однако, как показывает анализ таких ресурсов, в том числе проведенный независимыми авторами¹, в открытом доступе отсутствуют наборы данных для морфометрии предстательной железы. Имеющиеся в наличии наборы данных (порядке 19 единиц) направлены на решение задач скрининга и дифференциальной диагностики новообразований; соответственно, для задач текущего исследования непригодны.

4. Пункт чек-листа 12а. Определение и обоснование пороговых значений положительных результатов или категорий индексного теста, различая запланированное и выведенное в результате разведочного анализа.

Порог активации (т.н. «cut-off») ИИ-сервиса устанавливается разработчиком и его конкретное значение является интеллектуальной собственностью разработчиков. В открытом доступе соответствующие сведения не размещаются.

Авторы статьи не аффилированы с разработчиком и не имеют доступа к данным о порогах активации, установленных для конкретного продукта.

Нормативным обеспечением Московского эксперимента установлен порог в 81,0% для показателя «площадь под характеристической кривой» и для показателей точности морфометрических ИИ-сервисов. В случае преодоления этого порога при калибровочном тестировании (см. выше), ИИ-сервис может быть допущен к проспективной части исследования (выходящей за рамки данной статьи).

5. Пункт чек-листа 12б. Определение и обоснование пороговых значений положительных результатов или категорий референсного теста, различая запланированное и выведенное в результате разведочного анализа.

Понятие «порогового значения» не применимо для референс-теста в виде эталонного набора данных. При оценке точности ИИ-сервиса допустимыми считали следующие расхождения с эталонной разметкой: вертикальный размер — не более 4 мм; передне-задний (сагиттальный) размер — не более 5 мм; фронтальный (поперечный) размер — не более 2 мм.

6. Пункт чек-листа 13а. Доступность клинических данных и информации о результатах референсного теста тем, кто проводил или фиксировал результаты индексного теста.

Клиническая информация и результаты разметки были доступны авторам статьи как сотрудникам учреждения, непосредственно обеспечивающим проведение калибровочного тестирования. Вместе с тем при разметке набора данных и при оценке точности ИИ-сервиса клиническая информация не использовалась. Задача морфометрии, решаемая ИИ-сервисом, не требовала и не зависела от наличия клинической информации. Результаты разметки не были доступны разработчикам ИИ-сервиса. Физически сохранялись в недоступной разработчикам защищенной корпоративной информационной системе.

7. Пункт чек-листа 13б. Доступность клинических данных и информации о результатах индексного теста тем, кто оценивал результаты референсного теста.

Понятие «результаты референсного теста» в данном контексте не применимо. Вместе с тем надо указать следующее. Разметка эталонного набора данных (референс-теста) выполнялась отдельной группой врачей-рентгенологов в соответствии с задачами Московского эксперимента. Подробно процесс разметки описан в п. 10б.

Задача автоматизированных измерений сама по себе не предполагает сортировки результатов исследований на «норму» и «патологию», так же как и дифференциальную диагностику патологических находок. В соответствии с утвержденными базовыми диагностическими требованиями ИИ-сервис должен выполнить определение вертикального, передне-заднего (сагиттального) и фронтального (поперечного) размеров предстательной железы в миллиметрах относительно оси органа (уретры).

Использована оригинальная методология тестирования и мониторинга ИИ-сервисов на этапах жизненного цикла [19]. Оценку точности проводили путем бинарной классификации: правильное измерение и неправильное измерение. Допустимые расхождения приведены выше. Клиническую информацию при этом не использовали. Оценивали удельный вес корректных измерений, далее по оригинальной формуле рассчитывали точность измерений морфометрического ИИ-сервиса — отношение количества исследований с согласием врача с измерениями ИИ-сервиса к общему количеству успешно обработанных ИИ-сервисом исследований, умноженное на 100. Пороговым уровнем считали значение точности 81,0% по каждому измеряемому параметру.

Результаты. В соответствии с процедурами Московского эксперимента для допуска нового ИИ-сервиса к работе с реальным потоком данных в условиях

¹ Sunoqrot M.R.S., Saha A., Hosseinzadeh M., Elschot M., Huisman H. Artificial intelligence for prostate MRI: open datasets, available applications, and grand challenges // *Eur. Radiol. Exp.* 2022. Aug 1; Vol. 6, No.1. P. 35. doi: 10.1186/s41747-022-00288-8.

практического здравоохранения проводится процедура калибровочного тестирования, с точки зрения научного дизайна она представляет собой ретроспективное диагностическое исследование. Оценка точности анализируемого морфометрического ИИ-сервиса проведена на эталонном наборе данных (n=100).

Перед этим ИИ-сервис технически интегрирован в тестовый контур ЕРИС ЕМИАС и прошел функциональное тестирование для оценки качества интеграции.

Проведен автоматизированный анализ эталонного набора данных (табл. 1, 2). По итогам установления низкая точность определения всех требуемых размеров, совершенно не соответствующая пороговым значениям. Более того, из 100 исследований в наборе данных ИИ-сервис проанализировал только 80 — это свидетельство его технической ненадежности. ИИ-сервис отправлен на доработку.

Таблица 1

Соотношение измерений морфометрическим ИИ-сервисом, совпадающих и не совпадающих с эталонной разметкой в пределах допустимых расхождений, абс.

Table 1

Ratio of measurements by the morphometric artificial intelligence service that match and do not match the reference markup within the permissible discrepancies, abs.

Размер	Первое тестирование	Второе тестирование (после доработки ИИ-сервиса)
Вертикальный	41/39	88/5
Передне-задний (сагиттальный)	27/53	91/2
Фронтальный (поперечный)	46/34	90/3

Таблица 2

Точность измерений морфометрического ИИ-сервиса для анализа результатов МРТ предстательной железы

Table 2

Accuracy of measurements of the morphometric artificial intelligence service for analyzing the results of prostate MRI

Размер	Точность измерений, %	
	первое тестирование	второе тестирование (после доработки ИИ-сервиса)
Вертикальный	34,0	94,68
Передне-задний (сагиттальный)	51,0	97,87
Фронтальный (поперечный)	58,0	96,81

Необходимо подчеркнуть, что в задачи авторов статьи входил исключительно контроль качества ИИ-сервиса в соответствии с процедурами Московского эксперимента (актуальные версии нормативно-правовых актов органов исполнительной власти в сфере здравоохранения по этому вопросу

размещены в свободном доступе на сайте mosmed.ai). Соответственно, разработка ИИ-сервиса и его улучшение по итогам этапных тестирований велась исключительно компанией-разработчиком. Также нормативно-правовыми актами, регулирующими проведение эксперимента, предусмотрен запрет на использование разработчиками данных из ЕРИС ЕМИАС (получаемых как в виде отдельных наборов, так и потока результатов исследований). Правила и ответственность детально изложены в указанных нормативных документах. Кроме того, в отношении именно калибровочного тестирования предусмотрены определенные организационно-технические меры, препятствующие недобросовестному поведению разработчиков; по понятным причинам публичному разглашению они не подлежат.

Спустя 2 месяца проведено повторное калибровочное тестирование (см. табл. 1, 2). ИИ-сервис успешно обработал 93 из 100 предоставленных исследований, что является приемлемым с точки зрения технической надежности на данном, входном этапе Московского эксперимента. Теперь по итогам автоматизированного анализа эталонного набора данных установлена точность определения вертикального размера предстательной железы — 94,68%, передне-заднего (сагиттального) — 97,87%, фронтального (поперечного) — 96,81%. Суммарно точность измерений морфометрического ИИ-сервиса для анализа результатов МРТ предстательной железы составила 96,45%. Полученные значения свидетельствовали о высокой точности измерений и позволили допустить ИИ-сервис к работе с реальным потоком результатов лучевых исследований в условиях практического здравоохранения.

Таким образом, первое тестирование показало неудовлетворительный уровень диагностической точности исследуемого ИИ-сервиса. К участию в активной фазе Московского эксперимента он не был допущен. После доработки, независимо выполненной создателями данного программного продукта, проведено второе тестирование. По его итогам выявлено достаточно высокое качество ИИ-сервиса, причем как с диагностической, так и с технической точек зрения.

Примеры корректной и некорректной работы ИИ-сервиса представлены на рис. 1–4.

Обсуждение. Проблематика применения искусственного интеллекта для анализа результатов МРТ малого таза, в частности предстательной железы, как уже было сказано выше, исследуется очень ограниченным количеством авторов [20]. На этом фоне автоматизированный анализ исследований органов грудной клетки, молочной железы или головного мозга принципиально более популярен.

Объективные причины для объяснения такого дисбаланса находятся с трудом. Фактически можно лишь ограничиться стандартным утверждением об отсутствии данных для обучения алгоритмов —

в нужном объеме и нужного качества. Впрочем, с учетом актуальности и многогранности этот вопрос следует рассматривать в отдельном исследовании.

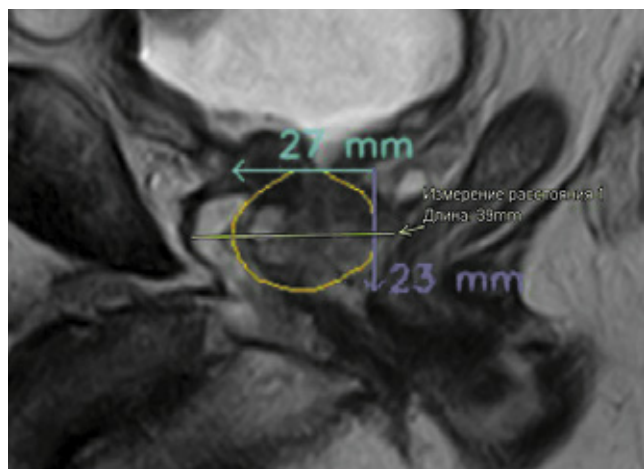


Рис. 1. Мужчина, 69 лет. Пример некорректной работы ИИ-сервиса

Fig. 1. Male, 69 years old. Example of incorrect operation of the artificial intelligence service

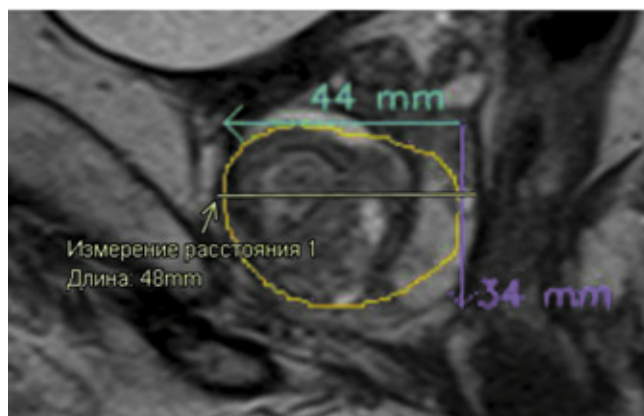


Рис. 2. Мужчина, 79 лет. Пример некорректной работы ИИ-сервиса: несоответствие данных в DICOM SR и DICOM SC

Fig. 2. Male, 79 years old. Example of incorrect operation of the AI service: data mismatch in DICOM SR and DICOM SC

Большинство авторов фокусируются на проблемах выявления, оценки риска и дифференциальной диагностики очаговых образований предстательной железы [13]. В частности, из 11 решений на основе технологий искусственного интеллекта, имеющих статус медицинского изделия в США и/или странах Западной Европы, 5 выполняют функцию сегментации, другие 5 — детекции очагов (при этом 2 отображают результаты в виде тепловой карты, 3 — формируют проект описания), наконец, одно решение проводит сегментацию железы и расчет «нескольких биомаркеров» (например, плотность ПСА), а также предлагает проект описания результатов исследования [21]. Отметим, что в последнем случае опубликованы значения коэффициента Дайса для задачи сегментации, но отсутствуют данные о точно-

сти вычислений биомаркеров [22]. Фактически все процитированные авторы используют T2-ВИ, в единичных случаях ИКД-карты и диффузионно-взвешенные изображения. Для задачи сегментации предстательной железы достигнут средневысокий уровень точности: коэффициент Дайса колеблется от 0,86 до 0,931 [23, 24].

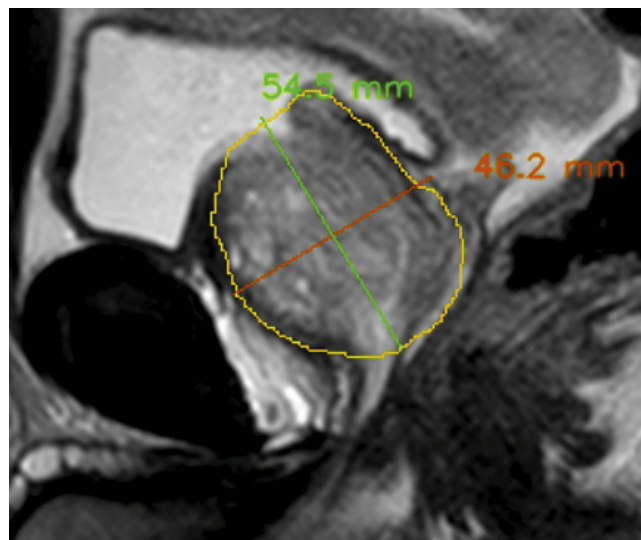


Рис. 3. Мужчина, 70 лет. Пример правильной работы ИИ-сервиса

Fig. 3. Man, 70 years old. Example of correct operation of the artificial intelligence service

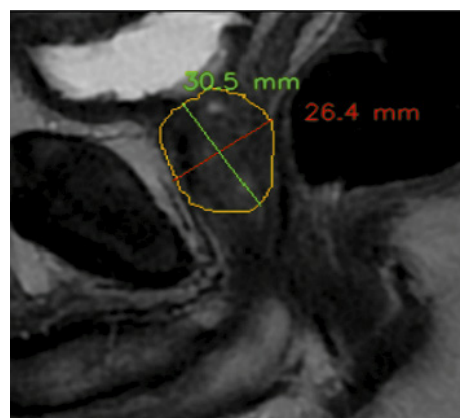


Рис. 4. Мужчина, 80 лет. Пример правильной работы ИИ-сервиса

Fig. 4. Man, 80 years old. Example of correct operation of the artificial intelligence service

Задача детекции патологических проявлений решается с низкой и средней точностью: площадь под характеристической кривой находится в диапазоне от 0,64 до 0,81 [25]. Как ни парадоксально, но при классификации патологических проявлений уровень точности выше — 0,84–0,91 [26]. Как показывает обзор литературы, вопросы автоматизированной морфометрии органов малого таза в целом и предстательной железы в частности практически не рассматриваются. Также не разрабатывается методическая проблематика оценки точности именно морфометрических ИИ-сервисов, для которых типовые метрики

(коэффициент Дайса, ROC-анализ) практически не применимы. На этом фоне наше исследование отличается оригинальностью подхода (автоматизация рутинных измерений — как основной способ повышения производительности труда врачей-рентгенологов) и новизной результатов.

Надо отметить, что подавляющее большинство публикаций на тему искусственного интеллекта для анализа результатов МРТ предстательной железы, по независимым наблюдениям, имеет довольно низкое качество. Из 53 проанализированных статей большинство содержали существенные недостатки и упущенные информационные блоки в соответствии с чек-листом для научного описания применения ИИ в медицинской визуализации (методология CLAIM). В частности, в 47,0% статей отсутствовало обоснование и описание референс-теста, то есть эталонного набора данных и методики его разметки. Но самое главное — 92,0% публикаций содержали манипуляции со статистическим анализом в целях сокрытия низкой точности модели [27]. В первую очередь, это свидетельствует о сильной личной заинтересованности авторов, которые одновременно и разрабатывают решение, и тести-

руют его. Отсутствие внешней независимой проверки критично сказывается как на доказательности подавляющего большинства статей, так и на общем развитии направления ИИ для анализа МРТ малого таза. На этом фоне Московский эксперимент, в рамках которого проведено и наше исследование, представляет собой беспристрастную и объективную внешнюю валидацию, к тому же проводимую по стандартизированной методологии и с «прозрачными» результатами.

Заключение. Применение технологий искусственного интеллекта для анализа результатов МРТ органов малого таза, в частности предстательной железы, остается актуальным и малоисследованным направлением. В рамках Московского эксперимента обоснована и успешно реализована задача по автоматизации морфометрии рутинных измерений предстательной железы, что потенциально вносит вклад в повышение производительности труда врача-рентгенолога. Точность определения морфометрическим ИИ-сервисом вертикального размера предстательной железы — 94,68%, передне-заднего (сагиттального) — 97,87%, фронтального (поперечного) — 96,81%, суммарно точность измерений — 96,45%.

Сведения об авторах:

Насибян Нелли Маратовна — аспирант и врач-рентгенолог государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: nelli-nasibyan94@yandex.ru; ORCID 0009–0004–4620–6204;

Владимирский Антон Вячеславович — доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: VladimirskijAV@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–2990–7736;

Арзамасов Кирилл Михайлович — кандидат медицинских наук, руководитель отдела медицинской информатики, радиомики и радиогеномики Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0001–7786–0349.

Information about the authors:

Nelli M. Nasibyan — postgraduate student, radiologist of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, Petrovka St., 24, bldg. 1; e-mail: nelli-nasibyan94@yandex.ru; ORCID 0009–0004–4620–6204;

Anton V. Vladymirskiy — Dr. of Sci. (Med.), Chief Research Officer of the State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, Petrovka St., 24, bldg. 1; e-mail: VladimirskijAV@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0002–2990–7736;

Kirill M. Arzamasov — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Medical Informatics, Radiomics and Radiogenomics, State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»; 127051, Moscow, Petrovka St., 24, bldg. 1; e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru; ORCID 0000–0001–7786–0349; eLibrary SPIN: 3160–8062.

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).

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 конфликта интересов.

Disclosure: the authors declare no conflict of interest.

Соответствие принципам этики. Одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards. The approval of the ethics committee was not required. Informed consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 06.12.2024

Принята к печати/Accepted: 29.05.2025

Опубликована/Published: 29.06.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. 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*. 2019. № 2. С. 4–13. [Apolihin O.I., Komarova V.A., Nikushina A.A., Sivkov A.V. Prostate diseases in the Russian Federation: statistical data for 2008–2017. *Healthcare organization in urology*, 2019, No. 4, pp. 4–13 (In Russ.)]. doi: 10.29188/2222-8543-2019-11-2-4-12.
2. Fernandes M.C., Yildirim O., Woo S., Vargas H.A., Hricak H. The role of MRI in prostate cancer: current and future directions // *Magma*. 2022. Vol. 35, No. 4. P. 503–521. <https://doi.org/10.1007/s10334-022-01006-6>.
3. Belue M.J., Turkbey B. Tasks for artificial intelligence in prostate MRI // *Eur. Radiol. Exp.* 2022. Vol. 6, No. 1. P. 33. doi:10.1186/s41747-022-00287-9.
4. Bozgo V., Roest C., van Oort I., Yakar D., Huisman H., de Rooij M. Prostate MRI and artificial intelligence during active surveillance: should we jump on the bandwagon? // *Eur. Radiol.* Published online June 27, 2024. doi: 10.1007/s00330-024-10869-3.
5. Harmon S.A., Tuncer S., Sanford T., Choyke P.L., Türkbey B. Artificial intelligence at the intersection of pathology and radiology in prostate cancer // *Diagn. Interv. Radiol.* 2019. Vol. 25, No. 3. P. 183–188. doi: 10.5152/dir.2019.19125.
6. Turkbey B., Haider M.A. Artificial Intelligence for Automated Cancer Detection on Prostate MRI: Opportunities and Ongoing Challenges, From the *AJR* Special Series on AI Applications // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2022. Vol. 219, No. 2. P. 188–194. doi: 10.2214/AJR.21.26917.
7. Карнаузов Н.С., Максименко А.В., Согомонян М.Г. Возможности искусственного интеллекта в онкоурологии // *Современные проблемы науки и образования*. 2024. № 4. С. 1–12. [Karnaukhov N.S., Maksimenko A.V., Sogomonian M.G. Artificial Intelligence Capabilities in Oncourology. *Modern Problems of Science and Education*, 2024, No. 4 pp. 1–12. (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.17513/spno.33556>.
8. Морозов А.О., Базаркин А.К., Вовденко С.В., Тараткин М.С., Балашова М.С., Еникеев Д.В. Применение искусственного интеллекта в молекулярной и генетической диагностике рака простаты // *Вестник урологии*. 2024. Т. 12, № 1. С. 117–130. [Morozov A.O., Bazarkin A.K., Vovdenko S.V., Taratkin M.S., Balashova M.S., Enikeev D.V. Application of Artificial Intelligence in Molecular and Genetic Diagnostics of Prostate Cancer. *Bulletin of Urology*, 2024, Vol. 12, No. 1, pp. 117–130 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21886/2308-6424-2024-12-1-117-130>.
9. Попов Г.В., Чуб А.А., Лернер Ю.В., Цой Л.В., Дубинина А.В., Варшавский В.А. Искусственный интеллект в диагностике рака предстательной железы // *Архив патологии*. 2021. Т. 83, № 2. С. 38–45. [Popov G.V., Chub A.A., Lerner Yu.V., Tsoi L.V., Dubinina A.V., Varshavsky V.A. Artificial intelligence in the diagnosis of prostate cancer. *Archives of Pathology*, 2021, Vol. 83, No. 2, pp. 38–45 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/20218302138>.
10. Талышинский А.Э., Камышанская И.Г., Мищенко А.В., Гулиев Б.Г., Бахтиозин Р.Ф. Применение искусственного интеллекта в обнаружении и стратификации рака предстательной железы: обзор литературы // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина*. 2023. Т. 18, № 2. С. 150–166. [Talyshinsky A.E., Kamyshanskaya I.G., Mishchenko A.V., Guliev B.G., Bakhtiozin R.F. Application of artificial intelligence in the detection and stratification of prostate cancer: a literature review. *Bulletin of St. Petersburg University. Medicine*, 2023, Vol. 18, No. 2, pp. 150–166 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21638/spbu11.2023.204>.
11. Абоян И.А., Редькин В.А., Назарук М.Г., Поляков А.С., Пакус С.М. 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 I.A., Redkin V.A., Nazaruk M.G., Polyakov A.S., Pakus S.M. et al. Artificial intelligence in the diagnosis of prostate cancer using magnetic resonance imaging. A new approach. *Oncourology*, 2024, Vol. 20, No. 2, pp. 35–43 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2024-20-2-35-43>.
12. Kaneko M., Magoulanis V., Ramacciotti L.S., Raman A., Paralkar D. et al. The Novel Green Learning Artificial Intelligence for Prostate Cancer Imaging: A Balanced Alternative to Deep Learning and Radiomics // *The Urologic clinics of North America*. 2024. Vol. 51, No. 1. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2023.08.001>.
13. Sunoqrot M.R.S., Saha A., Hosseinzadeh M., Elschot M., Huisman H. Artificial intelligence for prostate MRI: open datasets, available applications, and grand challenges // *European radiology experimental*. 2022. Vol. 6, No. 1. P. 35. <https://doi.org/10.1186/s41747-022-00288-8>.
14. Saha A., Bosma J.S., Twilt J.J., van Ginneken B., Bjartell A. et al. (2024). Artificial intelligence and radiologists in prostate cancer detection on MRI (PI-CAI): an international, paired, non-inferiority, confirmatory study // *The Lancet. Oncology*. 2024. Vol. 25, No. 7. P. 879–887. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(24\)00220-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(24)00220-1).
15. Морозов С.П., Владимирский А.В., Шулькин И.М., Ледикова Н.В., Арзамасов К.М., Андрейченко А.Е., Логунова Т.А., Омелянская О.В., Гусев А.В. Целесообразность применения технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике (результаты первого года Московского эксперимента по компьютерному зрению) // *Врач и информационные технологии*. 2022. № 1. С. 12–29. [Morozov S.P., Vladymyrsky A.V., Shulkin I.M., Ledikhova N.V., Arzamasov K.M., Andreychenko A.E., Logunova T.A., Omelyanskaya O.V., Gusev A.V. Feasibility of using artificial intelligence in radiology (first year of Moscow Experiment on Computer Vision). *Medical Doctor and Information Technologies*. 2022. No. 1. P. 12–29. (In Russ.)]. https://doi.org/10.25881/18110193_2022_1_12.
16. Морозов С.П., Гаврилов А.В., Архипов И.В., Долотова Д.Д., Лысенко М.А. и др. Влияние технологий искусственного интеллекта на длительность описаний результатов компьютерной томографии пациентов с COVID-19 в стационарном звене здравоохранения // *Профилактическая медицина*. 2022. Т. 25, № 1. С. 14–20. [Morozov S.P., Gavrilov A.V., Arkhipov I.V., Dolotova D.D., Lysenko M.A. et al. The impact of artificial intelligence technologies on the duration of descriptions of the results of computed tomography of patients with COVID-19 in inpatient healthcare. *Preventive Medicine*, 2022, Vol. 25, No. 1, pp. 14–20 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/profmed202250114>.
17. Бобровская Т.М., Васильев Ю.А., Никитин Н.Ю., Арзамасов К.М. Подходы к формированию наборов данных в лучевой диагностике // *Врач и информационные технологии*. 2023. № 4. С. 14. [Bobrovskaya T.M., Vasiliev Yu.A., Nikitin N.Yu., Arzamasov K.M. Approaches to the formation of data sets in radiation diagnostics. *Doctor and information technology*, 2023, No. 4, p. 14 (In Russ.)]. https://doi.org/10.25881/18110193_2023_4_14.
18. 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 Yu.A., Vladimirovsky A.V., Omelyanskaya O.V. et al. Methodology of testing and monitoring software based on artificial intelligence technologies for medical diagnostics. *Digital Diagnostics*, 2023, Vol. 4, No. 3, pp. 252–267 (In Russ.)]. doi: 10.17816/DD321971.

19. Maki J.H., Patel N.U., Ulrich E.J., Dhaouadi J., Jones R.W. Part I: prostate cancer detection, artificial intelligence for prostate cancer and how we measure diagnostic performance: a comprehensive review // *Current problems in diagnostic radiology*. 2024. Vol. 53, No. 5. P. 606–613. <https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2024.04.002>.
20. Belue M.J., Turkbey B. Tasks for artificial intelligence in prostate MRI // *European radiology experimental*. 2022. Vol. 6, No. 1. P. 33. <https://doi.org/10.1186/s41747-022-00287-9>.
21. Jimenez-Pastor A., Lopez-Gonzalez R., Fos-Guarinos B., Garcia-Castro F., Wittenberg M. et al. Automated prostate multi-regional segmentation in magnetic resonance using fully convolutional neural networks // *European radiology*. 2023. Vol. 33, No. 7. P. 5087–5096. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09410-9>.
22. Sanford T.H., Zhang L., Harmon S.A., Sackett J., Yang D. et al. Data Augmentation and Transfer Learning to Improve Generalizability of an Automated Prostate Segmentation Model // *AJR. American journal of roentgenology*. 2020. Vol. 215, No. 6. P. 1403–1410. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.22347>.
23. Ushinsky A., Bardis M., Glavis-Bloom J., Uchio E., Chantaduly C. et al. A 3D-2D Hybrid U-Net Convolutional Neural Network Approach to Prostate Organ Segmentation of Multiparametric MRI. // *AJR. American Journal of Roentgenology*. 2021. Vol. 216, No. 1. P. 111–116. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.22168>.
24. Wang B., Lei Y., Tian S., Wang T., Liu Y. et al. Deeply supervised 3D fully convolutional networks with group dilated convolution for automatic MRI prostate segmentation // *Medical physics*. 2019. Vol. 46, No. 4. P. 1707–1718. <https://doi.org/10.1002/mp.13416>.
25. Cao R., Mohammadian Bajgiran A., Afshari Mirak S., Shakeri S., Zhong X. et al. Joint Prostate Cancer Detection and Gleason Score Prediction in mp-MRI via FocalNet // *IEEE transactions on medical imaging*. 2019. Vol. 38, No. 11. P. 2496–2506. <https://doi.org/10.1109/TMI.2019.2901928>.
26. Le M.H., Chen J., Wang L., Wang Z., Liu W. et al. Automated diagnosis of prostate cancer in multi-parametric MRI based on multimodal convolutional neural networks // *Physics in medicine and biology*. 2017. Vol. 62, No. 16. P. 6497–6514. <https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa7731>.
27. Belue M.J., Harmon S.A., Lay N.S., Daryanani A., Phelps T.E. et al. The Low Rate of Adherence to Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging Criteria Among Published Prostate MRI Artificial Intelligence Algorithms // *Journal of the American College of Radiology: JACR*. 2023. Vol. 20, No. 2. P. 134–145. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2022.05.022>.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2025 года.

Подписной индекс:

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