

Искусственный интеллект в диагностике рака предстательной железы с помощью магнитно-резонансной томографии. Новый подход

И.А. Абоян¹, В.А. Редькин¹, М.Г. Назарук², А.С. Поляков¹, С.М. Пакус¹, С.И. Лемешко¹, А.В. Хасигов³

¹ГБУ РО «Клинико-диагностический центр «Здоровье» в г. Ростове-на-Дону; Россия, 344011 Ростов-на-Дону, пер. Доломановский, 70/3;

²ООО «Гремион плюс»; Россия, 344065 Ростов-на-Дону, ул. 50-летия Ростсельмаша, 1/52;

³ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Минздрава России; Россия, Республика Северная Осетия — Алания, 362019 Владикавказ, ул. Пушкинская, 40

Контакты: Андрей Сергеевич Поляков polyakov.andrey.00@mail.ru

Цель исследования – улучшить процесс диагностики рака предстательной железы (РПЖ) путем обучения нейросети определению очагов злокачественных образований на основе результатов магнитно-резонансной томографии (МРТ) с такой же точностью, как у опытного радиолога, или большей с использованием в качестве истины гистологической разметки препаратов, выполняемой морфологом.

Материалы и методы. Работу проводили на базе КДЦ «Здоровье» в г. Ростове-на-Дону. Отобранным для исследования пациентам выполняли МРТ на аппарате Philips Ingenia 3.0T по протоколу мультипараметрической МРТ предстательной железы, соответствующему требованиям PI-RADS v.2.1. Полученные данные использованы для обучения сверточной нейронной сети, основанной на архитектуре U-Net. Получена достоверная карта фактического расположения очагов РПЖ из программного обеспечения «Цифровой инструмент разметки морфолога».

Результаты. Исследовательская часть работы состояла из следующих этапов:

- разработка программного обеспечения «Цифровой инструмент разметки морфолога» для виртуализации очагов поражения;
- анализ архива данных МРТ и ретроспективный отбор пациентов;
- разметка данных морфологом для обозначения очагов поражения в предстательной железе с послойным переносом визуализированных очагов в гистологическом препарате на изображение предстательной железы в разработанном программном обеспечении, а также обучение нейросети определению злокачественного новообразования предстательной железы, локализации очагов;
- валидация данных.

Установлено, что при определенном объеме входных данных и высоком качестве их разметки нейросеть способна определять очаги РПЖ с той же точностью, что и опытный радиолог. Важное отличие исследования – исключение радиолога из процесса обучения нейросети. По результатам валидации нейросеть корректно локализовала РПЖ в 78 % случаев, в то время как радиолог – в 55 %. В процессе сравнительного анализа также выявлена способность нейросети определять РПЖ в тех зонах предстательной железы, где радиолог не мог распознать никаких визуальных паттернов, указывающих на наличие РПЖ.

Заключение. Обучение нейросети без участия рентгенолога – принципиально новый подход, позволяющий нивелировать опыт и квалификацию специалиста в интерпретации изображений, получаемых при мультипараметрической МРТ.

Ключевые слова: рак предстательной железы, мультипараметрическая магнитно-резонансная томография, искусственный интеллект, нейронные сети, диагностика рака предстательной железы

Для цитирования: 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;20(2):35–43.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2024-20-2-35-43>

Artificial intelligence in diagnosis of prostate cancer using magnetic resonance imaging. New approach

I.A. Aboyan¹, V.A. Redkin¹, M.G. Nazaruk², A.S. Polyakov¹, S.M. Pakus¹, S.I. Lemesenko¹, A.V. Khasigov³

¹Clinical and Diagnostic Center "Zdorovie" in Rostov-on-Don; 70/3 Dolomanovskiy Pereulok, 344011 Rostov-on-Don, Russia;

²"Gremion Plus"; 1/52 50-letiya Rostselmasha St., 344065 Rostov-on-Don, Russia;

³Northern Ossetia State Medical Academy, Ministry of Health of Russia; 40 Pushkinskaya St., 362019 Vladikavkaz, Northern Ossetia—Alania Republic, Russia

Contacts: Andrey Sergeevich Polyakov polyakov.andrey.00@mail.ru

Aim. To improve the diagnosis of prostate cancer by training a neural network to identify malignant tumor lesions using the results of magnetic resonance imaging (MRI) studies with the same or greater accuracy than an experienced radiologist, using as the truth histological mapping of slides performed by a morphologist.

Materials and methods. The work was performed at the "Zdorovie" Clinical and Diagnostic Center in Rostov-on-Don. Patients selected for the study underwent MRI in the Philips Ingenia 3.0T machine according to the prostate multiparametric MRI protocol, which complies with the requirements of PI-RADS v.2.1. The obtained data was used to train a convolutional neural network based on the U-Net architecture. The correct map of the actual locations of prostate cancer lesions was obtained using the "Morphologist's digital mapping tool" software.

Results. The research part of the work consisted of following stages:

- development of the "Morphologist's digital mapping tool" software for virtualization of lesions;
- analysis of MRI data archive, retrospective selection of patients;
- mapping of data by a morphologist to identify lesions in the prostate with layer-by-layer transfer of visualized lesions in the histological preparation to the image of the prostate gland in the "Morphologist's digital mapping tool", as well as training of the neural network to identify the presence of a malignant neoplasm in the prostate, location of the lesion(s), clinically significant disease;
- data validation.

For a certain amount of input data and high-quality mapping of this data, the neural network is capable of detecting prostate cancer lesions with the same accuracy as an experienced radiologist. Validation showed that the neural network correctly localized prostate cancer in 78 % of cases, while the radiologist did so in 55 % of cases. Comparative analysis also revealed the ability of the neural network to detect prostate cancer in areas of the prostate where the radiologist could not recognize any visual patterns indicating the presence of prostate cancer.

Conclusion. Training a neural network without the participation of a radiologist is a fundamentally new approach that allows to sidestep the experience and qualifications of a radiologist in interpreting the obtained multiparametric MRI images.

Keywords: prostate cancer, multiparametric magnetic resonance imaging, artificial intelligence, neural networks, diagnosing prostate cancer

For citation: Aboyan I.A., Redkin V.A., Nazaruk M.G. et al. Artificial intelligence in diagnosis of prostate cancer using magnetic resonance imaging. New approach. *Onkourologiya = Cancer Urology* 2024;20(2):35–43. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2024-20-2-35-43>

Введение

Рак предстательной железы (РПЖ) — одно из наиболее распространенных злокачественных заболеваний у мужчин. Ежегодно в мире диагностируют около 1,6 млн случаев РПЖ, при этом 366 тыс. мужчин погибают от этого заболевания. Диагностике и лечению злокачественных новообразований предстательной железы в последнее время уделяется все больше внимания как в России, так и за рубежом [1]. Стабильно высокий уровень заболеваемости РПЖ позволяет отнести разработку технологий его ранней диагностики и лечения к числу наиболее актуальных задач современной онкоурологии [2]. Кроме того, в связи с растущим числом пожилого населения нагрузка на здра-

воохранение будет только увеличиваться. В результате объем диагностической визуализации и управленческого мониторинга, выполняемый рентгенологами, также имеет тенденцию к прогрессивному росту, что, в свою очередь, требует повышения эффективности и скорости обработки полученных данных [3].

Мультипараметрическая магнитно-резонансная томография (мпМРТ) — наиболее чувствительный метод неинвазивной диагностики РПЖ. Помимо определения характера заболевания, мпМРТ позволяет создавать трехмерную реконструкцию предстательной железы и ее зон, проводить стадирование и динамическое наблюдение за РПЖ, а также определять степень его злокачественности. Текущие клинические реко-

мендации указывают использование мпМРТ в качестве приоритетного метода визуализации перед биопсией [4–9]. Данный подход может обеспечить более раннюю стратификацию риска у лиц с подозрением на РПЖ и повысить процент необходимых биопсий за счет более целенаправленного подхода. Несмотря на стандартизацию, вариативность интерпретации изображений, полученных с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ), у рентгенологов остается серьезной проблемой, при этом погрешность заключения по-прежнему составляет около 25 % [7, 10, 11]. Кроме того, различия в протоколах исследований между учреждениями приводят к неоднородности качества изображений и затрудняют их сравнение и группировку. Несмотря на унификацию описания предстательной железы посредством имплементации в клиническую практику классификации PI-RADS v.2 и v.2.1, обучение чтению снимков мпМРТ достаточно длительное, что опосредует различия в заключениях между специалистами. Помимо этого, ручная послойная сегментация занимает длительное время и напрямую зависит от опыта рентгенолога.

Автоматизировать выделение предстательной железы можно различными подходами, в том числе с помощью искусственного интеллекта (ИИ) и его методов — машинного и глубокого обучения. В последнее время исследователи по всему миру уделяют пристальное внимание ИИ [12]. Он потенциально может повлиять на дальнейшее повышение роли МРТ предстательной железы в обнаружении и лечении локализованного РПЖ. Большая часть работ по ИИ в МРТ предстательной железы содержит многообещающие результаты для решения различных задач, в частности интерпретации полученных изображений и обработки данных для биопсии. К потенциальным преимуществам ИИ в МРТ относятся повышение производительности, сокращение времени считывания и вариаций изображений, а также повышение точности диагностики РПЖ [13]. В настоящее время основной подход в обучении нейросетей при МРТ-диагностике РПЖ — использование данных, получаемых врачами-радиологами. Однако специалисты лучевой диагностики не имеют окончательных морфологических данных о патологических процессах в предстательной железе и их топической локализации по результатам радикального лечения РПЖ. Поэтому такой подход имеет серьезные ограничения: ИИ никогда не сможет получать более качественные данные о злокачественном новообразовании предстательной железы, чем радиолог.

Цель исследования — улучшить процесс диагностики РПЖ путем обучения нейросети определению очагов злокачественных образований на основании результатов МРТ с такой же точностью, как у опытного радиолога, или большей, при меньших временных

затратах с использованием в качестве истины гистологической разметки препаратов, выполняемой морфологом.

Материалы и методы

Работа проводилась на базе КДЦ «Здоровье» в г. Ростове-на-Дону. Все данные были обезличены, с целью их идентификации на этапах исследования введены цифровые маркировки. Пациенты с местнораспространенными формами РПЖ и положительным хирургическим краем исключались.

Отобраным для исследования пациентам выполняли МРТ на аппарате Phillips Ingenia 3.0T по протоколу мпМРТ предстательной железы, соответствующему требованиям PI-RADS v.2.1. Исследование проводили в предоперационном периоде (1–2 дня до запланированного вмешательства). Аксиальные T2-взвешенные изображения (ВИ) использовали для посрезовой сегментации (выделения) предстательной железы при помощи программы 3D Slicer. Полученное объемное изображение контуров органа загружали в инструмент разметки морфолога. В дальнейшем его также использовали для регистрации аксиальных T2-ВИ, диффузионно-взвешенных изображений (DWI) и измеряемого коэффициента диффузии (ADC) при обучении нейросети.

В гистологическом архиве были найдены все необходимые препараты для пациентов. Препараты за 2 года исследований были просмотрены и расконсервированы в соответствии с протоколом. Морфологом проводилось гистологическое исследование согласно диагностическому протоколу на основе [14–16]. Все препараты оценены после выполнения робот-ассистированной радикальной простатэктомии, оперативные вмешательства выполнены не ранее 8 нед после первичной биопсии. МРТ проведена в предоперационном периоде до выполнения биопсии предстательной железы. Для морфологического исследования использовали микропрепараты, окрашенные гематоксилином и эозином. Выполняли тотальное исследование ткани удаленной предстательной железы с проведением картирования для топографо-анатомического ориентирования. Края препарата удаленной предстательной железы маркировали гистологической краской для оценки полноты рассмотрения органа по периферии. Техническое задание предполагало точное определение очагов злокачественной опухоли с последующим составлением графической схемы и переносом полученных данных в графический интерфейс.

Полученные на предыдущих этапах данные использовали для обучения сверточной нейронной сети, основанной на архитектуре U-Net. В качестве входных данных от радиолога использовали 3 последовательности изображений: T2-ВИ, DWI и ADC. Получена правиль-

ная карта фактического расположения очагов РПЖ из программного обеспечения «Цифровой инструмент разметки морфолога».

Результаты

Исследовательская часть работы состояла из следующих этапов:

1. Разработка программного обеспечения «Цифровой инструмент разметки морфолога» с графическим интерфейсом для виртуализации очагов поражения в предстательной железе (мобильное приложение для планшета).
2. Анализ архива данных МРТ-исследований, ретроспективный отбор пациентов, которым впоследствии была выполнена робот-ассистированная радикальная простатэктомия.
3. Выполнение морфологом разметки данных для обозначения очагов поражения предстательной железы с послойным переносом визуализированных очагов в гистологическом препарате на ее изображение в разработанном программном обеспечении. Обучение нейросети определению злокачественного новообразования предстательной железы, локализации очага, а также клинически значимого рака.
4. Валидация данных.

Первичная гипотеза состояла в том, что при определенном объеме входных данных и их высоком качестве разметки нейросеть способна определять очаги РПЖ с той же точностью, что и опытный радиолог. При этом важное отличие настоящего исследования — исключение радиолога из процесса обучения нейросети.

Сначала были проанализированы данные предоперационной МРТ пациентов, которые в последующем подвергались робот-ассистированной радикальной простатэктомии. Далее проведена сегментация

предстательной железы каждого пациента на T2-ВИ для последующей загрузки в «Цифровой инструмент разметки морфолога» (рис. 1). Радиологом по каждому пациенту подготовлены данные для обучения нейросети: 3D-модель предстательной железы (рис. 2), 3 канала исследований: T2, ADC, DWI.

Затем было разработано приложение «Цифровой инструмент разметки морфолога» для планшета на базе Android (рис. 3) со следующими функциональными возможностями:

- загрузка 3D-моделей предстательной железы в приложение;
- выбор пациента по идентификационному номеру из списка;
- ввод количества срезов, на которые необходимо разделить 3D-модель;
- возможность обозначить очаги раковых образований на каждом срезе с помощью стилуса;
- ввод суммы баллов по шкале Глисона по каждому очагу в слое.

В приложение были загружены все 3D-модели предстательных желез, подготовленные радиологом. Модель соответствует стандартной нарезке макропрепарата (1:1). Таким образом, при выявлении очага в каждой зоне предстательной железы морфолог непосредственно переносил его на 3D-модель в планшет. Гистолог, смотря в микроскоп на срезы, послойно переносил данные об очагах раковых образований с указанием суммы баллов по шкале Глисона в мобильное приложение для разметки по каждому пациенту (рис. 4). В результате были получены послойные данные об очагах РПЖ для всех препаратов.

На основе данных, полученных от радиолога и гистолога, с использованием современной архитектуры (DeepLabV3) обучали нейросеть определять наиболее вероятную область ракового образования. В качестве входных параметров использовали изображения МРТ

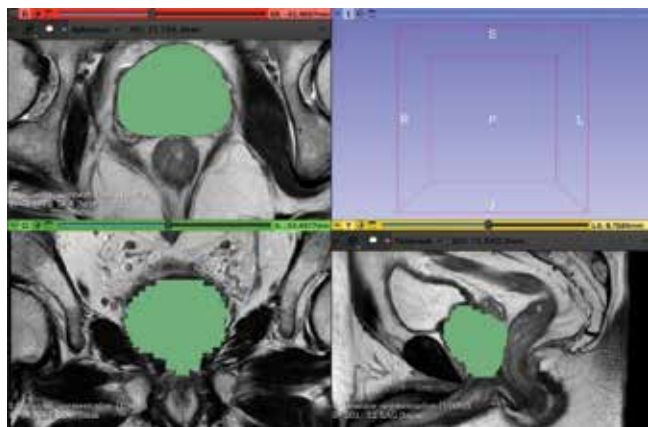


Рис. 1. Сегментация предстательной железы на T2-взвешенных изображениях
 Fig. 1. Segmentation of the prostate on T2-weighted images

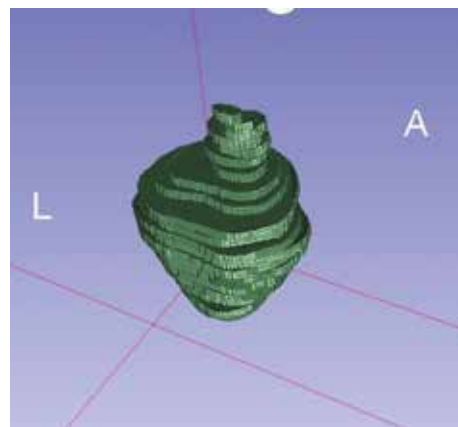


Рис. 2. 3D-модель предстательной железы
 Fig. 2. 3D model of the prostate

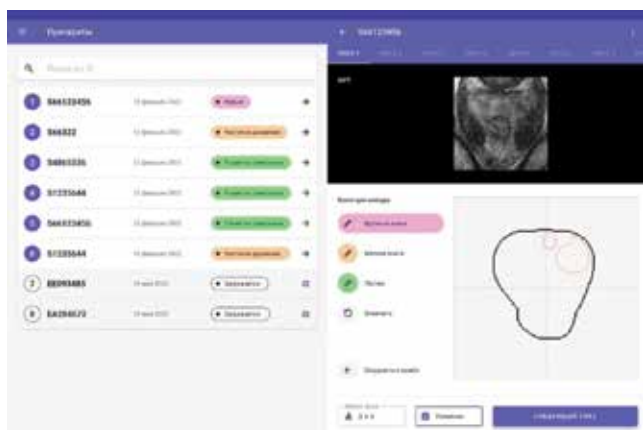


Рис. 3. Приложение «Цифровой инструмент разметки морфолога»
Fig. 3. "Morphologist's digital mapping tool" application

(без контраста): T2, ADC, DWI, а в качестве правильных ответов — информацию о фактическом расположении и дифференцировке раковых образований из «Цифрового инструмента разметки морфолога».

Затем провели сравнительный анализ точности определения РПЖ опытным радиологом и альфа-версией нейросети. Использовали данные пациентов, не участвовавших в обучении нейросети. Для нашего алгоритма эти данные были новыми. Радиолог должен был указать крупные очаги раковых образований по всем доступным каналам мпМРТ, используя стандартный протокол исследования. Нейросеть же должна была указать область (размером $0,5 \times 0,5$ см) наиболее ве-



Рис. 4. Внесение в приложение данных об очагах раковых образований
Fig. 4. Adding data on cancer lesions to the application

роятного нахождения ракового образования. Как и в процессе обучения, нейросети были представлены 3 канала: T2, ADC, DWI (рис. 5).

По результатам валидации нейросеть корректно локализовала РПЖ в 78 % случаев, в то время как радиолог — в 55 %. В процессе сравнительного анализа также выявлена способность нейросети определять РПЖ в тех зонах предстательной железы, где радиолог не мог распознать никаких визуальных паттернов, указывающих на наличие РПЖ.

Обсуждение

Понятие ИИ объединяет программы, оснащенные интеллектуальным модулем, который позволяет им самостоятельно (т. е. без прямого контроля со стороны человека) обучаться новым действиям и адаптироваться под меняющиеся условия и задачи. Это свойство обеспечивается встроенными в интеллектуальный модуль алгоритмами машинного обучения [17].

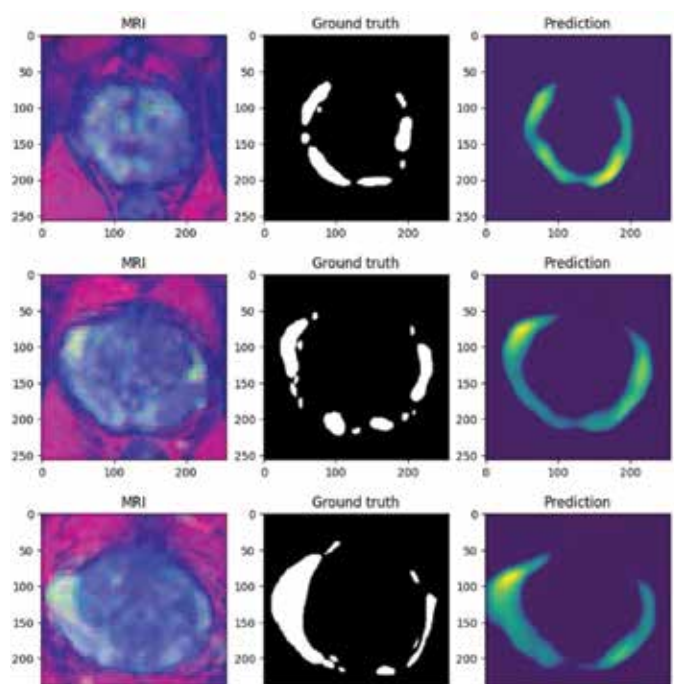


Рис. 5. Изображения магнитно-резонансной томографии, используемые для обучения нейросети
Fig. 5. Magnetic resonance images used for training of the neural network

Существует 3 подхода к обучению ИИ: символизм (основанный на символическом («человекочитаемом») методе), коннекционизм (на основе таких методов, как глубокое обучение или искусственная нейронная сеть) и байесовский подход (на основе теоремы Байеса) [18]. Коннекционизм предполагает, что когнитивные функции могут быть описаны сетями взаимосвязанных элементов, составляющих нейронную сеть. Каждая нейронная сеть содержит 3 слоя. Входной слой обрабатывает информацию, скрытый анализирует полученные данные, а выходной представляет полученную информацию в конечном виде [17, 19].

Технологии ИИ начинают играть важную клиническую роль в МРТ предстательной железы пациентов с РПЖ. Данной методике посвящено все больше исследований, в связи с чем в 2020 г. разработан контрольный список для работ по ИИ в медицинской визуализации, предназначенный для авторов и рецензентов [20]. Данный список подготовлен в соответствии с рекомендациями по составлению отчетов о диагностических исследованиях специально для решения задач применения ИИ в медицинской визуализации, включая классификацию, обнаружение, реконструкцию и оптимизацию рабочих процессов. Он состоит из 42 пунктов, позволяющих автору наилучшим образом представить исследование в данной области.

К 2022 г. в открытом доступе представлено 3369 результатов МРТ предстательной железы, полученных в период с 2003 по 2021 г. в Европе и США, в том числе для аппаратов 3 Тл ($n = 3018$; 89,6 %) и 1,5 Тл ($n = 296$; 8,8 %) [21]. В 346 (10,3 %) случаях сканировали с помощью эндоректальной катушки, а в 3023 (89,7 %) — с помощью поверхностных катушек с фазированной решеткой; 412 случаев собрано для анатомической сегментации, 3096 — для обнаружения/классификации РПЖ. Для 2240 случаев доступны контуры поражений, а в 56 случаях имеются совпадающие гистопатологические изображения. Также в 2620 случаях предусмотрено определение уровня простатического специфического антигена. Общий размер всех открытых наборов данных составляет примерно 253 ГБ.

В исследованиях, посвященных возможностям ИИ в медицине, участвуют и корпорации, разрабатывающие технологии визуализации. Национальный институт здоровья США и компания NVIDIA в 2018 г. начали совместную разработку систем глубокого обучения в области неинвазивной и инвазивной визуализации. Научные разработки посвящены диагностике РПЖ на основе сегментации изображений мпМРТ и направлены на повышение точности оценки. Врачи-радиологи института проанализировали данные 465 мпМРТ из нескольких медицинских центров, где используются приборы различных производителей и разные протоколы МРТ. Исследователи пришли к выводу, что использование разработанной нейронной сети обес-

печивает производительность, аналогичную квалифицированным радиологам [22].

Основная проблема диагностики РПЖ — отсутствие неинвазивных инструментов, которые могли бы дифференцировать клинически значимый и незначимый РПЖ, что приводит к гипердиагностике и избыточному лечению. Эта и другие диагностические проблемы могут быть решены с помощью ИИ. Существует множество определений клинически значимого РПЖ: сумма баллов по шкале Глисона ≥ 6 или ≥ 7 в сочетании с различными клиническими факторами, включая пороговые значения простатического специфического антигена, наличие экстрапростатического распространения и процент положительных столбиков при биопсии [9]. В большинстве исследований РПЖ является клинически значимым при сумме баллов по шкале Глисона ≥ 7 [13]. ИИ может помочь улучшить обнаружение РПЖ среди доброкачественных процессов, а также сегментацию подозрительных очагов и нормальной анатомии на снимках МРТ для таких задач, как оценка объема или планирование биопсии или лечения [23]. Нейронные сети могут варьировать от двухклассовых (клинически значимый и незначимый РПЖ) до многоклассовых систем детекции поражений, таких как оценка по критериям Международного общества урологической патологии [24] или по шкале PI-RADS [25].

Проведено несколько проверочных исследований, определявших влияние ИИ на рабочий процесс рентгенолога. В недавнем межинституциональном исследовании S. Gaug и соавт. показано, что использование ИИ повышает специфичность в сочетании с категоризацией PI-RADS v.2, а также эффективность работы радиолога [26]. Индекс чувствительности к поражению для PI-RADS v.2 ≥ 3 составил 78 %. Y. Song и соавт., G.J.S. Litjens и соавт. продемонстрировали улучшенное выявление РПЖ и распознавание клинически значимого и незначимого РПЖ в сочетании с прогнозированием на основе PI-RADS v.2 [27, 28]. Одно из значимых продвижений в данной области — разработка в 2023 г. R. Yu и соавт. системы PI-RADS^{AI}. Авторы использовали деидентифицированные данные МРТ 1540 пациентов в 4 центрах, ранее не подвергавшихся биопсии. PI-RADS^{AI} — нейронная сеть, способная имитировать диагностические возможности опытных радиологов для детекции РПЖ при МРТ. Во время тестирования данная нейросеть выявила 87,2 % (628/720) целевых поражений. В парном тесте PI-RADS^{AI} превзошла результаты 5 (45,5 %) из 11 и сравнялась с результатами 3 (27,3 %) из 11 радиологов в постановке клинически значимого диагноза РПЖ [29].

S.A. Harmon и соавт. оценили алгоритмы ИИ, разработанные для обнаружения РПЖ с помощью мпМРТ. Несмотря на множество различий в извлечении признаков, методах МРТ и группах наблюдения, резуль-

таты исследования демонстрируют высокий уровень обнаружения: 75–80 % и более, что находится в пределах сообщаемой производительности радиолога [30].

Р. Сао и соавт. при сквозном обучении нейросети, имитирующей стандартный процесс чтения рентгенологом данных мпМРТ, основывались на сочетании различных результатов визуализации подкомпонентов мпМРТ. Нейросеть достигла чувствительности обнаружения подтвержденных гистопатологией индексных поражений и клинически значимых поражений 89,7 и 87,9 % соответственно при 1 ложноположительном результате, что всего на 3,4 и 1,5 % ниже, чем у опытных радиологов, использующих PI-RADS v.2 [31].

В настоящее время ИИ интегрируется в клиническую практику для поддержки диагнозов, помощи в принятии терапевтических решений и прогнозирования результатов лечения пациентов [32]. Также технологии ИИ могут быть использованы в исследовательской работе в качестве систем сортировки пациентов, выявления закономерностей, переноса и группировки по клиническим признакам [33]. Тем не менее также важно учитывать, что алгоритмы глубокого обучения еще недостаточно развиты для клинического использования без надзора рентгенолога. При этом во многих исследованиях отсутствует внешняя проверка, поэтому неясно, как модели будут работать с новыми данными [34].

Автоматизация рабочего процесса диагностики РПЖ с использованием мпМРТ, начиная от оценки качества и заканчивая характеристикой злокачественных новообразований, необходима из-за ее субъективного и трудоемкого характера. Интеграция передовых

методов ИИ в клиническую практику может улучшить точность диагностики. Чтобы сделать системы ИИ более практичными и применимыми в клиническом использовании, будущая работа должна быть сосредоточена на более крупных и разнообразных наборах данных, стандартизированных протоколах и форматах отчетности, включая передовые методы обучения и достижения лучшей интерпретируемости получаемых моделей.

Заключение

В последнее время наблюдается всплеск научного интереса к вопросам применения ИИ в медицинской визуализации в связи с быстрым прогрессом в машинном и глубоком обучении. Основная цель использования инструментов ИИ при визуализации РПЖ — помощь врачам в принятии точных решений в процессе диагностики. Для этого хорошо подходит мпМРТ предстательной железы, поскольку она широко применяется для обнаружения поражений в соответствии с тенденциями использования таргетной биопсии и аблационной терапии РПЖ, а также для улучшения результатов радикального хирургического лечения пациентов. Обучение нейросети без участия рентгенолога, примененное в настоящем исследовании, является принципиально новым подходом, позволяющим нивелировать опыт и квалификацию специалиста в интерпретации получаемых изображений мпМРТ. В ближайшем будущем ИИ значительно повысит производительность и улучшит рабочий процесс диагностики РПЖ за счет уменьшения различий в качестве МРТ на этапах обработки и получении заключений.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Каприн А.Д., Алексеев Б.Я., Матвеев В.Б. и др. Рак предстательной железы. Клинические рекомендации. Современная онкология 2021;23(2):211–47. DOI: 10.26442/18151434.2021.2.200959
2. Воронина Е.С., Фомкин Р.Н., Бучарская А.Б. и др. Тканевая экспрессия аутофагического маркера LC3B как потенциальный биомаркер рецидива рака предстательной железы после лечения высокоинтенсивным сфокусированным ультразвуком (пилотное исследование). Онкоурология 2023;19(2):47–55. DOI: 10.17650/1726-9776-2023-19-2-47-55
3. Voronina E.S., Fomkin R.N., Bucharskaya A.B. et al. Tissue expression of LC3B autophagy marker as a potential biomarker of prostate cancer recurrence after treatment with high-intensity focused ultrasound (pilot study). Onkourologiya = Cancer Urology 2023;19(2):47–55. (In Russ.). DOI: 10.17650/1726-9776-2023-19-2-47-55
4. Kaprin A.D., Alekseev B.Ya., Matveev V.B. et al. Prostate cancer. Clinical recommendations. Sovremennaya onkologiya = Journal of Modern Oncology 2021;23(2):211–47. (In Russ.). DOI: 10.26442/18151434.2021.2.200959
5. Brown L.C., Ahmed H.U., Faria R. et al. Multiparametric MRI to improve detection of prostate cancer compared with transrectal ultrasound-guided prostate biopsy alone: the PROMIS study. Health Technol Assess 2018;22(39):1–176. DOI: 10.3310/hta22390
6. Zhen L., Liu X., Yegang C. et al. Accuracy of multiparametric magnetic resonance imaging for diagnosing prostate cancer: a systematic review and meta-analysis. BMC Cancer 2019;19(1):1244. DOI: 10.1186/s12885-019-6434-2
7. Richenberg J., Løgager V., Panebianco V. et al. The primacy of multiparametric MRI in men with suspected prostate cancer. Eur Radiol 2019;29(12):6940–52. DOI: 10.1007/s00330-019-06166-z
8. Van der Leest M., Cornel E., Israël B. et al. Head-to-head comparison of transrectal ultrasound-guided prostate biopsy versus multiparametric prostate resonance imaging with subsequent magnetic resonance-guided biopsy in biopsy-naïve men with elevated prostate-specific antigen: a large prospective multicenter clinical study. Eur Urol 2019;75(4):570–8. DOI: 10.1016/j.eururo.2018.11.023
9. for a systematic review and meta-analysis. BMJ Open 2023;13(8):e074009. DOI: 10.1136/bmjopen-2023-074009

9. Ahmed H.U., El-Shater Bosaily A., Brown L.C. et al. Diagnostic accuracy of multi-parametric MRI and TRUS biopsy in prostate cancer (PROMIS): a paired validating confirmatory study. *Lancet* 2017;389(10071):815–22. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)32401-1
10. Stabile A., Giganti F., Rosenkrantz A.B. et al. Multiparametric MRI for prostate cancer diagnosis: current status and future directions. *Nat Rev Urol* 2020;17(1):41–61. DOI: 10.1038/s41585-019-0212-4
11. Rosenkrantz A.B., Ayoola A., Hoffman D. et al. The learning curve in prostate MRI interpretation: self-directed learning *versus* continual reader feedback. *AJR Am J Roentgenol* 2017;208(3):W92–100. DOI: 10.2214/AJR.16.16876
12. Талышинский А.Э., Гулиев Б.Г., Камышанская И.Г. и др. Анализ подходов к глубокому обучению для автоматизированного выделения и сегментации предстательной железы: обзор литературы. *Онкоурология* 2023;19(2):101–10. DOI: 10.17650/1726-9776-2023-19-2-101-110
12. Talyshinskii A.E., Guliev B.G., Kamyshanskaya I.G. et al. Analysis of deep learning approaches for automated prostate segmentation: literature review. *Onkourologiya = Cancer Urology* 2023;19(2):101–10. (In Russ.). DOI: 10.17650/1726-9776-2023-19-2-101-110
13. Belue M.J., Turkbey B. Tasks for artificial intelligence in prostate MRI. *Eur Radiol Exp* 2022;6(1):33. DOI: 10.1186/s41747-022-00287-9
14. Urinary and male genital tumours. WHO Classification of Tumors. 5th edn. Vol. 8. 2022.
15. TNM classification of malignant tumours. 8th edn. 2017.
16. Gladell P., Paner M.D., John R. et al. Protocol for the examination of radical prostatectomy specimens from patients with carcinomas of the prostate gland. Version: 4.2.0.1. 2021.
17. Шамхалова К.К., Меринов Д.С., Артемов А.В., Гурбанов Ш.Ш. Искусственный интеллект и нейронные сети в урологии. *Экспериментальная и клиническая урология* 2023;16(2):32–7. DOI: 10.29188/2222-8543-2023-16-2-32-37
17. Shchamkhalova K.K., Merinov D.S., Artemov A.V., Gurbanov Sh.Sh. Artificial intelligence and neural networks in urology. *Ekspierimental'naya i klinicheskaya urologiya = Experimental and Clinical Urology* 2023;16(2):32–7. (In Russ.). DOI: 10.29188/2222-8543-2023-16-2-32-37
18. Lee J.G., Jun S., Cho Y.W. et al. Deep learning in medical imaging: general overview. *Korean J Radiol* 2017;18(4):570–84. DOI: 10.3348/kjr.2017.18.4.570
19. Степанов П.П. Искусственные нейронные сети. Молодой ученый 2017;138(4):185–7.
19. Stepanov P.P. Artificial neural networks. *Molodoy uchenyy = Young Scientist* 2017;138(4):185–7. (In Russ.).
20. Mongan J., Moy L., Kahn C.E.Jr. Checklist for artificial intelligence in medical imaging (CLAIM): a guide for authors and reviewers. *Radiol Artif Intell* 2020;2(2):e200029. DOI: 10.1148/ryai.2020200029
21. Sunoqrot M.R.S., 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/s41747-022-00288-8
22. Попов Г.В., Чуб А.А., Лернер Ю.В. и др. Искусственный интеллект в диагностике рака предстательной железы. *Архив патологии* 2021;83(2):38–45. DOI: 10.17116/patol20218302138
22. Popov G.V., Chub A.A., Lerner Yu.V. et al. Artificial intelligence in the diagnosis of prostate cancer. *Arkhiv patologii = Archive of Pathology* 2021;83(2):38–45. (In Russ.). DOI: 10.1186/s41747-022-00288-8
23. Giganti F., Lindner S., Piper J.W. et al. Multiparametric prostate MRI quality assessment using a semi-automated PI-QUAL software program. *Eur Radiol Exp* 2021;5(1):48. DOI: 10.1186/s41747-021-00245-x
24. Van Leenders G.J.L.H., van der Kwast T.H., Grignon D.J. et al. The 2019 International Society of Urological Pathology (ISUP) consensus conference on grading of prostatic carcinoma. *Am J Surg Pathol* 2020;44(8):e87–99. DOI: 10.1097/PAS.0000000000001497
25. Le M.H., 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):6497–514. DOI: 10.1088/1361-6560/aa7731
26. Gaur S., Lay N., Harmon S.A. et al. Can computer-aided diagnosis assist in the identification of prostate cancer on prostate MRI? A multi-center, multi-reader investigation. *Oncotarget* 2018;9(73):33804–17. DOI: 10.18632/oncotarget.26100
27. Song Y., Zhang Y.D., Yan X. et al. Computer-aided diagnosis of prostate cancer using a deep convolutional neural network from multiparametric MRI. *J Magn Reson Imaging* 2018;48(6):1570–7. DOI: 10.1002/jmri.26047
28. Litjens G.J.S., Barentsz J.O., Karssemeijer N., Huisman H.J. Clinical evaluation of a computer-aided diagnosis system for determining cancer aggressiveness in prostate MRI. *Eur Radiol* 2015;25(11):3187–99. DOI: 10.1007/s00330-015-3743-y
29. Yu R., Jiang K.W., Bao J. et al. PI-RADS^{AI}: introducing a new human-in-the-loop AI model for prostate cancer diagnosis based on MRI. *Br J Cancer* 2023;128(6):1019–29. DOI: 10.1038/s41416-022-02137-2
30. Harmon S.A., Tuncer S., Sanford T. et al. Artificial intelligence at the intersection of pathology and radiology in prostate cancer. *Diagn Interv Radiol* 2019;25(3):183–8. DOI: 10.5152/dir.2019.19125
31. 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):2496–506. DOI: 10.1109/TMI.2019.2901928
32. Briganti G., Le Moine O. Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow. *Front Med (Lausanne)* 2020;7:27. DOI: 10.3389/fmed.2020.00027
33. Syer T., Mehta P., Antonelli M. et al. Artificial intelligence compared to radiologists for the initial diagnosis of prostate cancer on magnetic resonance imaging: a systematic review and recommendations for future studies. *Cancers (Basel)* 2021;13(13):3318. DOI: 10.3390/cancers13133318
34. Bulten W., Kartasalo K., Chen P.C. et al. Artificial intelligence for diagnosis and Gleason grading of prostate cancer: the PANDA challenge. *Nat Med* 2022;28(1):154–63. DOI: 10.1038/s41591-021-01620-2

Вклад авторов

И.А. Абоян: разработка дизайна, редактирование статьи;
 В.А. Редькин, М.Г. Назарук, А.С. Поляков, С.М. Пакус, С.И. Лемешко, А.В. Хасигов: получение данных для анализа, анализ полученных данных, написание текста статьи.

Authors' contributions

I.A. Aboyan: developing the article design, article editing;
 V.A. Redkin, M.G. Nazaruk, A.S. Polyakov, S.M. Pakus, S.I. Lemeshko, A.V. Khasigov: obtaining data for analysis, analysis of the obtained data, article writing.

ORCID авторов / ORCID of authors

И.А. Абоян / I.A. Aboyan: <https://orcid.org/0000-0002-2798-368X>

А.С. Поляков / A.S. Polyakov: <https://orcid.org/0009-0007-9589-5458>

С.М. Пакус / S.M. Pakus: <https://orcid.org/0000-0001-6468-5983>

С.И. Лемешко / S.I. Lemeshko: <https://orcid.org/0009-0003-0431-7902>

А.В. Хасигов / A.V. Khasigov: <https://orcid.org/0000-0003-1103-4532>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики

Протокол исследования одобрен комитетом по биомедицинской этике ГБУ РО «Клинико-диагностический центр «Здоровье» в г. Ростове-на-Дону.

Compliance with patient rights and principles of bioethics

The study protocol was approved by the biomedical ethics committee of Clinical and Diagnostic Center “Zdorovie” in Rostov-on-Don.

Статья поступила: 27.02.2024. **Принята к публикации:** 27.06.2024. **Опубликована онлайн:** 12.08.2024.

Article submitted: 27.02.2024. **Accepted for publication:** 27.06.2024. **Published online:** 12.08.2024.