

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-1-42-49>

Искусственный интеллект в ранней диагностике рака предстательной железы

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А.О. Васильев^{1,2,3}, А.В. Говоров^{1,2}, Ю.А. Ким^{1,2}, П.А. Арутюнян^{1,2}, Д.Ю. Пушкарь^{1,2}

¹ Российский университет медицины» Минздрава России, кафедра урологии; Москва, Россия

² Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина; Москва, Россия

³ Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения г. Москвы; Москва, Россия

Контакт: Арутюнян Павел Арменович, dr.p.arutyunyan@gmail.com

Аннотация:

Введение. Рак предстательной железы (РПЖ) занимает ведущую позицию по заболеваемости и смертности среди мужского населения в мире, ранняя диагностика РПЖ особенно важна для улучшения прогноза пациентов. Искусственный интеллект (ИИ) в ближайшем будущем может стать незаменимым инструментом для повышения точности диагностики РПЖ.

Цель. Оценить перспективы использования ИИ для диагностики и лечения РПЖ, а также оценить влияние ИИ на эффективность лечения.

Материалы и методы. Систематический обзор литературы проведен с использованием научных баз данных на основе ключевых запросов, связанных с ИИ и РПЖ. В работу включены исследования за последние 10 лет.

Результаты. Алгоритмы ИИ, такие как машинное и глубокое обучение, повышают качество диагностики РПЖ, минимизируют факторы субъективности, оптимизируют процесс. Внедрение систем автоматизированной детекции (САД) также может заметно улучшить точность диагностики, при этом результаты работы системы зависят также от опыта специалистов.

Обсуждение. Системы на основе ИИ имеют значимый потенциал для улучшения диагностики, персонализации лечения и снижения материальной нагрузки на систему здравоохранения, но вопросы, связанные с качеством обучающих данных ИИ и интерпретацией алгоритмов, требуют дополнительного изучения.

Выводы. Использование ИИ в диагностике РПЖ – перспективное направление, однако для окончательной оценки работоспособных систем и процесса внедрения нужны дополнительные исследования.

Ключевые слова: искусственный интеллект; машинное обучение; диагностика; рак предстательной железы.

Для цитирования: Васильев А.О., Говоров А.В., Ким Ю.А., Арутюнян П.А., Пушкарь Д.Ю. Искусственный интеллект в ранней диагностике рака предстательной железы. Экспериментальная и клиническая урология 2025;18(1):42-49; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-1-42-49>

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-1-42-49>

Artificial intelligence in early diagnosis of prostate cancer

LITERATURE REVIEW

A.O. Vasilyev^{1,2,3}, A.V. Govorov^{1,2}, Yu.A. Kim^{1,2}, P.A. Arutyunyan^{1,2}, D.Yu. Pushkar^{1,2}

¹ Russian University of Medicine, Ministry of Health of the Russian Federation, Department of Urology; Moscow, Russia

² S.P. Botkin Moscow Medical Scientific and Clinical Center, Department of Health of the City of Moscow; Moscow, Russia

³ Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management, Moscow Department of Health; Moscow, Russia

Contacts: Pavel A. Arutyunyan, dr.p.arutyunyan@gmail.com

Summary:

Introduction. To assess the prospects of using artificial intelligence (AI) for the diagnosis and treatment of prostate cancer (PCa) and to evaluate the impact of AI on treatment efficacy.

Materials and Methods. A systematic literature review was conducted using scientific databases based on key queries related to AI and PCa. Studies from the last 10 years were included.

Results. AI algorithms, such as machine learning (ML) and deep learning (DL), improve the quality of PCa diagnostics, minimize subjective factors, and optimize the diagnostic process. The implementation of computer-aided detection (CAD) systems also enhances diagnostic accuracy, while the results depend on the expertise of specialists.

Discussion. AI-based systems have the potential to improve diagnostics, personalize treatment, and reduce healthcare costs. However, issues related to the quality of AI training data and the interpretation of algorithms require further investigation.

Conclusions. The use of AI in PCa diagnostics is a promising direction. However, additional research is needed for a comprehensive assessment of effective systems and the implementation process.

Key words: artificial intelligence; machine learning; diagnosis; prostate cancer.

For citation: Vasilyev A.O., Govorov A.V., Kim Yu.A., Arutyunyan P.A., Pushkar D.Yu. Artificial intelligence in early diagnosis of prostate cancer. Experimental and Clinical Urology 2025;18(1):42-49; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2025-18-1-42-49>

ВВЕДЕНИЕ

Рак предстательной железы (РПЖ) – одно из наиболее значимых заболеваний для мужской популяции во всем мире. Продолжительность и качество жизни пациентов в значительной мере зависят от раннего выявления РПЖ, что делает актуальным вопросы поиска новых подходов к его диагностике. В последние десятилетия искусственный интеллект (ИИ) стал мощным инструментом для улучшения диагностики и прогнозирования течения различных заболеваний, включая РПЖ. Исследования в области ИИ и машинного обучения привели к созданию новых методов и технологий, позволяющих улучшить точность и надежность диагностики. Одним из перспективных методов, призванных улучшить, а, подчас, и оптимизировать диагностику РПЖ, следует считать внедрение искусственного интеллекта (ИИ).

В середине 30-х годов прошлого века А. Turing одним из первых предположил, что любой вид вычислений можно представить в цифровом виде, и уже в 1951 г. А. Turing написал алгоритм искусственного интеллекта (ИИ), используя который С.С. Strachey смог успешно разработать первую компьютерную программу для игры в шахматы [1, 2]. В 1956 г. на Дартмутской конференции ученых-когнитивистов*, J. McCarthy впервые был использован термин «искусственный интеллект», после чего ИИ официально стал академической дисциплиной [3].

Одним из первых применений ИИ в медицине были экспертные системы, специально разработанные для имитации возможностей принятия решений экспертами в определенной области. Одним из самых ранних примеров экспертной системы в медицине является «MYCIN», разработанная в 1970-х годах группой исследователей из Стэнфордского университета. Анализируя данные пациента, такие как результаты лабораторных исследований, система предоставляла рекомендации по лечению, используя ИИ [4]. Другим ранним примером использования ИИ в медицине следует считать разработку диагностических систем для анализа рентгеновских снимков и компьютерной томографии с целью выявления опухолей и планировании дальнейшего лечения [5].

Применение ИИ в урологии и онкоурологии является относительно новым по сравнению с остальными медицинскими специальностями, а большая часть существующих программ находится на разных стадиях разработки и внедрения [6]. Кроме того, применение ИИ носит междисциплинарный характер и требует тесного сотрудничества между урологами, инженерами и специалистами в области IT-технологий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Систематический обзор литературы проведен с использованием научных баз данных Scopus, MED-

LINE, Clinicaltrials.gov, Science Direct, Web of Science и Google Scholar. Комбинация ключевых слов «искусственный интеллект», «машинное обучение», «сверточные сети», «глубокое обучение», «магнитно-резонансная томография», «МРТ», «предстательная железа» и «рак предстательной железы» («artificial intelligence», «machine learning», «convolutional networks», «deep learning», «magnetic resonance imaging», «MRI», «prostate» and «prostate cancer») использовалась для определения релевантных публикаций. Статьи, рецензии и исследования, опубликованные в последние 10 лет, были предпочтительно включены в настоящий обзор, чтобы обеспечить его актуальность. Отобранные статьи были проанализированы, выделены ключевые результаты и методы, использованные для решения проблемы диагностики РПЖ с применением ИИ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По мере того, как медицинская наука в целом и высокие технологии в частности приближаются к эпохе «больших данных», многомерный набор данных, относящихся к диагностике и лечению злокачественных новообразований, становится доступным для математического моделирования. В связи с тем, что имеющиеся данные непоследовательны, разнонаправленны и характеризуются значительной степенью избыточности, для корректного использования «больших данных» рекомендуется проводить обширную их обработку для унификации и последующей передачи для математического моделирования. В данном контексте методы ИИ, включая алгоритмы машинного обучения (МО) и глубокого обучения (ГО), основанные на искусственных нейронных сетях (ИНС) и их типах, используются для создания точной и комплексной иллюстрации клинических данных.

Для пациентов с РПЖ наборы данных, полученные на основе простат-специфического антигена (ПСА) и других генетических биомаркеров, биопсии (в т.ч. под контролем МРТ, гистосканирования и различных фьюжн-технологий), шкалы Глисона в основном используются для диагностики, стратификации риска и мониторинга пациентов. Между тем, постановка диагноза и дальнейшая стратификация рисков на основе таких данных часто субъективна. Внедрение алгоритмов на основе ИИ на этапе оценки диагностических данных может снизить субъективизм, сократить время обработки данных и помочь в принятии решений. Отдельный и, вместе с тем, наиболее обсуждаемый медицинским сообществом вектор применения ИИ в клинической практике направлен на снижение затрат на оказание специализированной помощи пациентам за счет сокращения объема

* Когнитивистика, когнитивная наука (лат. cognitio «познание») – междисциплинарное научное направление, объединяющее теорию познания, когнитивную психологию, нейрофизиологию, когнитивную лингвистику, невербальную коммуникацию и теорию искусственного интеллекта.

человеческого труда. Цель данного обзора заключалась в проведении анализа перспективы применения существующих алгоритмов ИИ, используемых при диагностике и лечении пациентов с РПЖ.

Искусственный интеллект – автоматизированный вычислительный процесс, в основе которого лежит запрограммированный процесс принятия решений в новых, нестандартных условиях. Как правило, термин ИИ обычно используется для описания процессов, состоящих из компьютерных алгоритмов, связанных с аппаратным (программным) обеспечением. Значительные достижения в области ИИ, включая разработку алгоритмов МО и моделей ГО с использованием математических и статистических предположений, позволили понимать и находить скрытые закономерности из заданного набора данных. Дальнейшее развитие систем на основе ИИ позволило им успешно применяться для прогнозирования событий без предварительного проектирования [7].

Машинное обучение – подвид ИИ, который фокусируется на разработке алгоритмов, позволяющих системам обучаться на основе данных, постоянно совершенствуясь и повышая свою производительность. При этом в основе МО нет исходного программирования для каждой поставленной задачи. Машинное обучение помогает прогнозировать большие объемы данных, получать быстрые и точные результаты. В современном представлении МО подразделяется на контролируемый, полуконтролируемый, неконтролируемый типы и обучение с подкреплением [8]. В каждом конкретном случае есть свои преимущества и недостатки.

Контролируемое обучение определяется как процесс обучения модели на «маркированном наборе данных», имеющем как входные, так и выходные параметры. Главными преимуществами контролируемого МО являются высокая точность, логичность в интерпретации полученных данных и возможность использования в предварительно обученных моделях с целью экономии времени, необходимого для разработки новых моделей обучения «с нуля». Недостатками контролируемого МО могут быть ограничения в распознавании шаблонов, которых нет в исходных обучающих данных, трудоемкость и дороговизна, обусловленные исходным положением данного типа обучения – опираться на «маркированные данные».

При неконтролируемом типе обучения алгоритм обнаруживает закономерности и взаимосвязи, используя немаркированные данные, а основная цель состоит в обнаружении скрытых закономерностей и взаимосвязей в данных. Помимо этого, основным преимуществом являются минимальные затраты, связанные с маркировкой данных. Недостатками неконтролируемого МО являются сложность в прогнозировании качества выходных данных модели,

недостаточная прозрачность при интерпретации данных.

Полуконтролируемое обучение – промежуточный подтип МО, точкой приложения которого являются как маркированные, так и немаркированные данные. В то время, как основная цель данного подтипа состоит в лучшем обобщении широкого спектра данных, основным ограничением полуконтролируемого МО является сложность практической реализации, сохраняющаяся потребность в использовании «маркированного набора данных», которые не всегда могут быть доступны, а также «немаркированного набора данных», влияющих на производительность модели.

Алгоритм МО с подкреплением – это метод обучения, который взаимодействует с окружающей средой путем выполнения действий и обнаружения ошибок. Этот метод позволяет системам автоматически определять идеальное поведение в конкретном контексте и непредсказуемых условиях для достижения максимальной производительности. Преимуществами МО с подкреплением являются автономность и последовательность в принятии решений, достижение долгосрочных результатов и решение сложных задач. Недостатками являются непрактичность (в случае решения простых задач) и дороговизна [9].

Разработка искусственного интеллекта – актуальное направление, точность которого напрямую зависит от большого объема данных, необходимого для обучения и совершенствования алгоритмов. Помимо этого, с целью создания эффективных систем, основанных на ИИ, способных диагностировать и отслеживать динамику заболевания, разработчикам важно иметь доступ к изображениям предстательной железы, полученным при помощи разных методов визуализации, таких как ультразвуковая диагностика (УЗИ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). Именно они предоставляют данные в виде трехмерных изображений, которые содержат важные сведения о состоянии предстательной железы. Интеллектуальные системы, работающие с данными МРТ и УЗИ, позволяют выявлять аномалии, анализировать их характеристики, а в ряде случаев – прогнозировать течение заболевания. Данные, полученные при помощи УЗИ и МРТ, становятся фундаментом для обучения алгоритмов, способных изменить наше представление о ранней диагностике и лечении.

Мультипараметрическая магнитно-резонансная томография (мпМРТ) зарекомендовала себя, как один из современных и доступных методов получения информации о состоянии предстательной железы. Наличие подтвержденных подозрительных очагов может быть использовано в ходе таргетной биопсии [10]. Биопсия предстательной железы под контролем МРТ позволяет более эффективно выявлять клинически

значимый РПЖ, чем обычная систематическая биопсия [11]. Внедрение в клиническую практику стандартизированной системы оценки – протокол Pi-RADS (Prostate Imaging Reporting and Data System) – позволило избежать первичной биопсии у 27% пациентов и диагностировать на 5% меньше клинически незначимого РПЖ, а выполнение биопсии предстательной железы под контролем трансректального ультразвукового исследования (ТРУЗИ), основываясь на данных мпМРТ, помогло выявить на 18% больше случаев клинически значимого РПЖ по сравнению со стандартной биопсией [12-14]. В визуализации предстательной железы при помощи МР-технологии ключевую роль играют параметры и режимы выполнения исследования. Так, в дополнение к T2-взвешенным анатомическим срезам, мпМРТ стала сочетать в себе диффузионно-взвешенную МРТ (DWI), динамическое контрастное усиление (DCE) и МР-спектроскопию (MRSI).

Наряду с мпМРТ, при таргетной биопсии предстательной железы особое место занимает гистосканирование (HistoScanningTM) – специально разработанная технология на основе ультразвукового сканирования с целью идентификации суспициозных участков в предстательной железе [15]. Роль доступных и экономически эффективных методов таргетной биопсии (когнитивная МРТ-биопсия и биопсия под контролем гистосканирования) с целью улучшения диагностики РПЖ однозначно не определена, что требует дальнейшего анализа.

Параллельно с разработкой методов качественного анализа, основанных на анализе данных мпМРТ специалистами, много усилий было потрачено на количественный анализ данных непосредственно самих изображений мпМРТ и, особенно, на оценку взаимосвязи между количественными характеристиками и обнаружением суспициозных участков. Это привело к разработке систем автоматизированной детекции (САД, Computer-aided detection systems), которые в настоящий момент являются наиболее изученными. Первоначально разработанные САД концентрировались, в основном, на оценке периферической зоны предстательной железы [16, 17], в то время как более поздние системы позволили оценивать всю предстательную железу [18, 19].

Конструкция отдельных САД может различаться, но общий подход заключается в извлечении отдельных признаков и характеристик из изображений мпМРТ (в ряде случаев компьютерной томографии (КТ)), главным образом, из T2-взвешенных изображений и DWI и/или изображений с динамическим усилением контраста (DCE) и последующем обучении компьютерного алгоритма для обнаружения рака [20]. Системы САД показали многообещающие результаты со значениями площади под кривой (AUC) в диапазоне от 0,80 до 0,89 для обнаружения РПЖ [21-23].

В первое международное исследование по оценке чувствительности и специфичности САД среди радиологов с разным опытом работы были включены данные мпМРТ 163 пациентов. В основной группе анализу были подвергнуты данные 110 пациентов, перенесших радикальную простатэктомию по поводу РПЖ; в контрольной группе – данные 53 пациентов с отрицательной трансректальной биопсией и без изменений по данным мпМРТ. Средний возраст пациентов в основной и контрольной группах составил 61,3 (44,3-75,6) и 63,8 (43,4-82,8) лет, соответственно, $p=0,037$, уровень общего ПСА 11,0 (1,7-84,6) и 7,4 (1,5-28,7) нг/мл, $p=0,028$, объем предстательной железы 41,2 (15,0-117,0) и 80,5 (31,0-160,0) мл, $p<0,001$, время между мпМРТ и операцией/биопсией 5,2 (0,03-21,7) и 43,0 (0,03-188,5) мес, $p<0,001$. В ходе исследования для всех радиологов чувствительность увеличилась с 92,7% до 98,0% ($p=0,002$), а специфичность снизилась с 54,2% до 16,0% ($p<0,001$) при помощи САД-систем с учетом всех визуализированных поражений (PI-RADS ≥ 1). Принимая PI-RADS ≥ 3 как положительный критерий, чувствительность САД и мпМРТ была сопоставима и составляла 90,3% против 91,2% ($p=0,57$), специфичность оставалась выше для мпМРТ – 70,4% против 57,1% ($p=0,003$), а AUC была сопоставимой и составила 84,9% для САД против 88,2% для мпМРТ ($p=0,098$). У радиологов с большим опытом (> 2000 случаев) при работе с мпМРТ была достигнута специфичность 91,0% по сравнению с 50,9% и 69,3% у радиологов со средним (500-1000 случаев) и небольшим (<500 случаев) опытом, соответственно. При помощи САД радиологи с большим опытом достигли специфичности 65,8% против 52,4% и 53,0% для радиологов со средним и небольшим опытом работы, соответственно. Также, применение САД-систем позволило улучшить чувствительность в выявлении ведущей опухоли (index lesion) с 81,0% до 88,7% ($p=0,06$) в группе радиологов с большим опытом, с 77,6% до 87,3% ($p=0,041$) и с 75,8% до 83,0% ($p=0,135$) в группе радиологов со средним и небольшим опытом. Среднее время интерпретации мпМРТ и САД составило 4 мин. 18 сек. и 4 мин. 22 сек., соответственно ($p=0,456$). Радиологам с большим опытом потребовалось практически одинаковое время для оценки мпМРТ и САД (4 мин. 02 сек. против 4 мин. 19 сек., $p=0,138$); радиологи со средним опытом потратили больше времени на оценку САД-систем (3 мин. 54 сек. против 5 мин. 29 сек., $p<0,001$); радиологи с небольшим опытом работы потратили меньше времени на оценку САД-систем (4 мин. 40 сек. против 3 мин. 38 сек., $p<0,001$) [24].

Разработанная и внедренная в ряде лечебных учреждений когнитивная САД Watson ElementaryTM (WETM) может помочь в диагностике РПЖ. В исследовании, проведенном A. Thon и соавт., были изучены данные морфологического исследования

79 пациентов в возрасте $64,61 \pm 6,64$ года. Всем пациентам была выполнена трансректальная биопсия предстательной железы под стереотаксическим МРТ-наведением при помощи МР-системы Philips Ingenia 3.0T с использованием катушки dStream Torso и Flex Coverage. Ретроспективному анализу были подвергнуты 104 биоптата (47 биоптатов с верифицированным РПЖ и 57 биоптатов с подтвержденной доброкачественной гиперплазией). Для автоматизированного обнаружения был использован следующий набор аксиально ориентированных изображений: T2-взвешенная визуализация Turbo Spin Echo с высоким разрешением (T2 TSE HR), диффузионно-взвешенное изображение (DWI EPI) при 5 различных значениях b (b_0 -100-500-800-1000) и T1-взвешенное изображение (T1-FFE) с динамическим усилением контраста (DCE). Проведенный анализ показал, что программное обеспечение имеет сравнительно небольшую чувствительность – 46,80%, в то время как специфичность составляет 75,43% (положительная прогностическая ценность – 61,11%, отрицательная прогностическая ценность – 63,23%). Более того, в дифференциации РПЖ и доброкачественных образований программным обеспечением была достигнута равная вероятность ($p=0,06$, критерий χ^2), а корреляция снимков МРТ со степенью дифференцировки данных морфологического исследования по Глисону была незначительной ($p=0,6$, корреляция Пирсона) [25].

Более оптимистичные результаты были получены в исследовании G. Vittori и соавт., опубликованном в начале 2023 г. Ретроспективному анализу были подвергнуты данные пациентов, которым в период с 2020 по 2021 гг. была выполнена робот-ассистированная радикальная простатэктомия. Для выявления корреляции изображений МРТ и данных патогистологического исследования, полученных после операции, как и в предыдущем случае, использовалась программа WETM. Цель исследования заключалась в том, чтобы предсказать наличие рака и его локализацию, определить размер основной («ведущей») опухоли, а также определить возможность экстрапростатической инвазии. В результате исследования было показано, что программное обеспечение позволило идентифицировать рак в 92% случаев, в то время как по данным МРТ (PI-RADS ≥ 4) лишь в 86% случаев. В 98% случаев опухоль, обнаруженная при помощи WETM, находилась в тех же отделах предстательной железы, что и при патогистологическом исследовании. Разница в размерах между опухолями, выявленными с помощью WETM и данными патогистологического исследования, составила 2,5 мм, в то время как разница между опухолями, выявленными в ходе мпМРТ и данными патогистологического исследования составила 3,8 мм ($p=0,019$). Чувствительность, специфичность, положительная прогности-

ческая ценность и отрицательная прогностическая ценность WETM в наличии экстрапростатической инвазии по сравнению с МРТ составила: 0,81 против 0,71; 0,56 против 0,60; 0,88 против 0,85 и 0,42 против 0,40, соответственно [26].

В ретроспективное исследование, проведенное М.С. Roethke и соавт., были включены данные 45 пациентов, которым была выполнена мпМРТ (3.0T) с последующей МР/ТРУЗИ промежностной биопсией предстательной железы. Средний возраст пациентов составил 66 (49-77) лет, уровень общего ПСА – 7,86 (1,75-39,2) нг/мл, объем предстательной железы – 45 (22-96) см³. Средний уровень общего ПСА у пациентов с диагностированным РПЖ и пациентов с отрицательной биопсией составил 9,15 против 7,3 нг/мл, соответственно ($p=0,063$). Среднее количество фрагментов, взятых у одного пациента (прицельных и систематических), составило 24 (16-36). Для автоматизированной оценки злокачественности использовалось программное обеспечение WETM. Автоматизированный анализ выполнялся в три этапа: совместная регистрация DWI и DCE с изображениями T2W, расчет основных функциональных параметров и вычислительный анализ особенностей изображения и основных функциональных параметров для создания карты прогноза злокачественных новообразований. При пороговом значении индекса возможной малигнизации, равного 0,2, чувствительность составила 85,7% (95% ДИ 65,4-95,0), специфичность – 87,5% (95% ДИ 69,0-95,7), а диагностическая точность – 86,7% (95% ДИ 73,8–93,8). Индекс Юдена (разница между долей истинно положительных результатов и долей ложноположительных результатов) составил 73,2% (95% ДИ 34,36-90,67). Площадь под кривой (AUC) составила 0,90 (95% ДИ 0,66-0,98). В результате проведенного исследования авторы показали, что точность диагностики с использованием программного обеспечения для обнаружения РПЖ сравнима с результатами предыдущих исследований, основанных на оценке по шкале PI-RADS (без использования дополнительных программных средств). Кроме того, предложенный автоматизированный алгоритм может быть полезным для радиологов с небольшим опытом работы [27].

Возрастающий объем патогистологических исследований и колоссальная нехватка специалистов-морфологов создает нагрузку на патологоанатомические отделения. Кроме того, высокая вариабельность оценок между специалистами может привести к чрезмерной или недостаточной диагностике РПЖ. С целью решения данных задач рядом специалистов были успешно разработаны и внедрены в клиническую практику системы ИИ для обнаружения РПЖ, определения его локализации и оценки степени злокачественности по шкале Глисона.

В 2016 г. коллективом авторов под руководством O.W. Brawley было проведено исследование по сравнительной оценке эффективности теста STHLM3 (комбинации нескольких биомаркеров, клинических данных и генетических полиморфизмов). Модель STHLM3 была предварительно протестирована в группе из 11130 мужчин, а затем проспективно подтверждена в независимой когорте из 47688 мужчин. В результате были получены данные, что тест STHLM3 позволяет с большей точностью прогнозировать РПЖ высокой степени злокачественности (Глисон ≥ 7), а также снизить количество ненужных биопсий на 32% относительно теста ПСА [28]. Наряду с тем, что экономическая эффективность использования теста STHLM3 для скрининга РПЖ до конца не определена, исследования по популяризации теста были продолжены.

В 2020 г. были опубликованы данные проспективного популяционного диагностического исследования с применением теста STHLM3 в комбинации с ИИ, проведенного в период с 2012 по 2014 гг. В ходе исследования анализу были подвергнуты данные 976 пациентов в возрасте 50–69 лет. В общей сложности 6682 патоморфологических изображения в последующем были использованы для обучения глубоких нейронных сетей и подвергнуты корреляционному анализу. Количественная оценка соответствия данных, полученных в ходе компьютерного анализа, и данных, полученных в ходе исследования опытными морфологами, проведена с использованием коэффициента каппа Коэна (статистический показатель, используемый для измерения межрейтинговой надежности для категориальных элементов). Система ИИ была эффективной в дифференциации доброкачественных и злокачественных локусов в ткани предстательной железы (AUC 0,997, 95% ДИ 0,994–0,999). Кроме того, наблюдалась высокая корреляция между протяженностью рака по данным ИИ и по заключению морфолога (AUC 0,96, 95% ДИ 0,95–0,97). Кроме того, ИИ мог устанавливать степень дифференцировки опухоли по системе градации Глисона с таким же уровнем точности, что и морфологи (каппа Коэна 0,62; для морфологов указанный коэффициент находился в интервале 0,60–0,73) [29].

Диагностическая модель ИИ на основе сверточной нейронной сети была предложена Y. Wang и соавт. В основе алгоритма находились данные поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии из сыворотки 729 пациентов с РПЖ. Используя простой метод перекрестной проверки, авторы оценили точность модели в диагностике РПЖ в $85,14 \pm 0,39\%$. Скорректировав действующую модель с учетом возраста пациента и уровня ПСА, точность мультимодальной нейросети была увеличена до $88,55 \pm 0,66\%$. Для прогнозирования степени дифференцировки по системе градации Глисона (3+3 и 3+4) нейросеть показала точность $68 \pm 0,58\%$ и $77 \pm 0,52\%$, соответственно [30].

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ показал, что ИИ может иметь ряд преимуществ в ранней диагностике РПЖ, основными из которых являются:

- повышенная точность: алгоритмы ИИ могут анализировать большие объемы медицинских данных, включая данные лабораторно-инструментальных методов исследования, для выявления закономерностей и выявления РПЖ на ранней стадии. Это может повысить точность диагностики, что приведет к лучшим результатам лечения;
- более быстрая диагностика: алгоритмы ИИ могут обрабатывать большие объемы медицинских данных намного быстрее, чем специалисты, что позволяет, в свою очередь, быстрее начать лечение;
- персонализированное лечение: ИИ может анализировать данные пациентов для разработки индивидуального плана лечения на основе уникальных характеристик пациента и его истории болезни;
- снижение затрат: за счет автоматизации анализа медицинских данных ИИ может в потенциале снизить стоимость ранней диагностики РПЖ;
- улучшение результатов лечения пациентов: раннее выявление РПЖ может привести к улучшению результатов лечения, включая повышение общей, безрецидивной и раковоспецифической выживаемости.

Тем не менее, опасения по поводу активного внедрения ИИ в клиническую практику все же существуют. Так, например, алгоритмы ИИ полагаются на высококачественные данные, однако нередко качество медицинских изображений (в частности, МРТ) низкое, что может повлиять на точность прогноза ИИ. Алгоритмы ИИ могут быть искажены, если данные, используемые для обучения ИИ, не являются репрезентативными для диагностируемой когорты пациентов и популяции в целом. Алгоритмы ИИ не могут устанавливать сложные диагнозы, лишены возможности клинических суждений и опыта квалифицированного специалиста. Алгоритмы ИИ трудны для интерпретации, и часто может быть сложно понять, как алгоритм пришел к конкретному диагнозу или рекомендации. Отсутствие нормативно-правового регулирования также может ограничить интеграцию ИИ.

Значительный рост цифровизации в практическом здравоохранении побудил нас инициировать проведение собственного исследования по разработке систем поддержки принятия решений на основе глубокого машинного обучения и нейросетей для улучшения диагностики, лечения и прогнозирования течения РПЖ (научно-практический проект в сфере здравоохранения и медицины № 2802-19/23). Исследование одобрено Межвузовским Комитетом по этике (выписка из протокола № 05 от 18.05.2023 г.). Основная цель исследования – повышение точности и

эффективности принятия клинических решений, что приведет к улучшению результатов лечения пациентов с РПЖ. Для достижения данной цели исследование предусматривает анализ крупных объемов разнообразных данных, включая информацию, полученную из лабораторных и инструментальных методов исследования, а также данных медицинских карт пациентов. Этот многомерный подход позволит выявить скрытые закономерности, а также создать точные прогностические модели, способствующие более рациональному и персонализированному подходу к лечению. Уникальной характеристикой разрабатываемой системы будет являться ее способность к непрерывному обучению и адаптации с каждым новым медицинским случаем и внесенными данными пациентов. Это обеспечит систему актуальной информацией и сделает ее более адаптивной к изменяющимся клиническим ситуациям. Несмотря на комплексность и амбициозность нашего исследования, стоит отметить, что получение окончательных результатов потребует времени и значительных усилий в анализе и интерпретации данных. Окончательные результаты нашего исследования будут опубликованы в ближайшее время и, безусловно, будут играть важную роль в усовершенствовании клинической практики в области онкоурологической помощи пациентам с РПЖ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Будущие перспективы ИИ в ранней диагностике РПЖ выглядят многообещающими. Благодаря посто-

янным исследованиям и разработкам, ИИ может произвести революцию в диагностике и лечении РПЖ, что приведет к улучшению онкологических и функциональных результатов, а также снижению затрат на систему здравоохранения. Одной из захватывающих перспектив ИИ в ранней диагностике РПЖ является возможность объединять несколько источников медицинских данных, включая медицинские изображения, данные геномных исследований и информацию о пациентах, для разработки более точного и персонализированного подхода. Уже сейчас алгоритмы ИИ можно использовать для определения конкретных биомаркеров у пациентов с РПЖ, которые могут помочь предсказать реакцию на проводимую терапию. Еще одно многообещающее применение ИИ для ранней диагностики РПЖ – разработка прогностических моделей, позволяющих выявлять пациентов с высоким риском развития заболевания. Анализируя большие объемы медицинских данных, алгоритмы ИИ могут помочь определить конкретные факторы риска и разработать персонализированные стратегии скрининга и профилактики.

Использование ИИ в медицине продолжает расти и эволюционировать, а новые приложения и технологические достижения приводят к увеличению числа способов использования ИИ для улучшения диагностики и планирования лечения. Использование ИИ в ранней диагностике РПЖ находится на ранних стадиях, необходимы дополнительные исследования для проверки систем ИИ и определения их точности. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. AM Turing. On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem: A correction. *Proceedings of the London Mathematical Society* 1937;43(2):544-6.
2. AM Turing, R Braithwaite, G Jefferson, MHA Newman. Can automatic calculating machines be said to think? The Essential Turing. *Oxford University Press* 1952;487-506.
3. Moor J. The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty years. *AI Magazine* 2006;27(4):87-9.
4. Wraith SM, Aikins JS, Buchanan BG, Clancey WJ, Davis R, Fagan LM, et al. Computerized consultation system for selection of antimicrobial therapy. *Am J Hosp Pharm* 1976;33(12):1304-8.
5. Cook HM, Fox MD. Application of expert systems to mammographic image analysis. *Am J Physiol Imaging* 1989;4(1):16-22.
6. Suarez-Ibarrola R, Hein S, Reis G, Gratzke C, Miernik A. Current and future applications of machine and deep learning in urology: a review of the literature on urolithiasis, renal cell carcinoma, and bladder and prostate cancer. *World J Urol* 2020;38(10):2329-47. <https://doi.org/10.1007/s00345-019-03000-5>.
7. Koteluk O, Wartecki A, Mazurek S, Kołodziejczak I, Mackiewicz A. How do machines learn? Artificial intelligence as a new era in medicine. *JPM* 2021;11:32. <https://doi.org/10.3390/jpm11010032>.
8. Uddin S, Khan A, Hossain ME, Moni MA. Comparing different supervised machine learning algorithms for disease prediction. *BMC Med Inform Decis Mak* 2019;19:281. <https://doi.org/10.1186/s12911-019-1004-8>.
9. Rabaan AA, Bakhrebah MA, AlSaihati H, Alhumaid S, Alsubki RA, Turkistani SA, et al. Artificial intelligence for clinical diagnosis and treatment of prostate cancer. *Cancers (Basel)* 2022;14(22):5595. <https://doi.org/10.3390/cancers14225595>.
10. Pokorny MR, Rooij de M, Duncan ESFH, Parkinson R, Barentsz JO, Thompson LC. Prospective study of diagnostic accuracy comparing prostate cancer detection by transrectal ultrasound-guided biopsy versus magnetic resonance (MR) Imaging with subsequent MR-guided biopsy in men without previous prostatic biopsies. *Eur Urol* 2014;66(1):22-9. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2014.03.002>.
11. Valerio M, Donaldson I, Emberton M, Ehdiaie B, Hadaschik BA, Marks LS, et al. Detection of clinically significant prostate cancer using magnetic Resonance imaging-ultrasound fusion targeted biopsy: a systematic review. *Eur Urol* 2015;68(1):8-19. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2014.10.026>.
12. Ahmed HU, El-Shater Bosaily A, Brown LC, Gabe R, Kaplan R, Parmar MK, 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. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(16\)32401-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(16)32401-1).
13. Prostate Reporting and Data System [Electronic resource]. URL: www.acr.org/PIRADS.
14. Polanec S, Helbich TH, Bickel H, Pinker-Domenig K, Georg D, Shariat SF, et al. Head-to-head comparison of PI-RADS v2 and PI-RADS v1. *Eur J Radiol* 2016;85(6):1125-31. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.03.025>.
15. Javed S, Chadwick E, Edwards AA, Beveridge S, Laing R, Bott S, et al. Does prostate Histoscanning™ play a role in detecting prostate cancer in routine clinical practice? Results from three independent studies. *BJU Int* 2014;114(4):541-8. <https://doi.org/10.1111/bju.12568>.
16. Vos PC, Hambrock T, Barentsz JO, Huisman HJ. Computer assisted analysis of peripheral zone prostate lesions using t2-weighted and dynamic contrast enhanced t1-weighted MRI. *Phys Med Biol* 2010;55(6):1719. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/55/6/012>.
17. Shah V, Turkbey B, Mani H, Pang Y, Pohida T, Merina M, et al. Decision support system for localizing prostate cancer based on multiparametric magnetic resonance imaging. *Med Phys* 2012;39(7):4093-103. <https://doi.org/10.1118/1.4722753>.
18. Hambrock T, Vos PC, Hulsbergen-van de Kaa CA, Barentsz JO, Huisman HJ. Prostate

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- cancer: computer-aided diagnosis with multiparametric 3-T MR imaging-effect on observer performance. *Radiology* 2013;266(2):521-30. <https://doi.org/10.1148/radiol.12111634>.
19. Tiwari P, Kurhanewicz J, Madabhushi A. Multi-kernel graph embedding for detection, Gleason grading of prostate cancer via MRI/MRS. *Med Image Analys* 2013;17(2):219-35. <https://doi.org/10.1016/j.media.2012.10.004>.
20. Liu L, Tian Z, Zhang Z, Fei B. Computer-aided detection of prostate cancer with MRI: technology and applications. *Acad Radiol* 2016;23(8):1024-46. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2016.03.010>.
21. Wang S, Burt K, Turkbey B, Choyke P, Summers RM. Computer aided-diagnosis of prostate cancer on multiparametric MRI: a technical review of current research. *Biomed Res Int* 2014;2014:789561. <https://doi.org/10.1155/2014/789561>.
22. Litjens GJ, Elliott R, Shih NN, Feldman MD, Kobus T, Hulsbergen-van de Kaai C, et al. Computer-extracted Features Can Distinguish Noncancerous Confounding Disease from Prostatic Adenocarcinoma at Multiparametric MR Imaging. *Radiology* 2016;278(1):135-45. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015142856>.
23. Litjens GJ, Barentsz JO, Karssemeijer N, Huisman HJ. Clinical evaluation of a computer-aided diagnosis system for determining cancer aggressiveness in prostate MRI. *Eur Radiol* 2015;25(11):3187-99. <https://doi.org/10.1007/s00330-015-3743-y>.
24. Greer MD, Lay N, Shih JH, Barrett T, Bittencourt LK, Borofsky S, et al. Computer-aided diagnosis prior to conventional interpretation of prostate mpMRI: an international multi-reader study. *Eur Radiol* 2018;28(10):4407-17. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5374-6>.
25. Thon A, Teichgraber U, Tennstedt-Schenk C, Hadjideemetriou S, Winzler S, Malich A, Papageorgiou I. Computer aided detection in prostate cancer diagnostics: A promising alternative to biopsy? A retrospective study from 104 lesions with histological ground truth. *PLoS One* 2017;12(10):e0185995. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185995>.
26. Vittori G, Bacchiani M, Grosso AA, Raspollini MR, Giovannozzi N, Righi L, et al. Computer-aided diagnosis in prostate cancer: a retrospective evaluation of the Watson Elementary® system for preoperative tumor characterization in patients treated with robot-assisted radical prostatectomy. *World J Urol* 2023;41(2):435-41. <https://doi.org/10.1007/s00345-022-04275-x>.
27. Roethke MC, Kuru TH, Mueller-Wolf MB, Agterhuis E, Edler C, Hohenfellner M, et al. Evaluation of an automated analysis tool for prostate cancer prediction using multiparametric magnetic resonance imaging. *PLoS One* 2016;11(7):e0159803. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159803>.
28. Brawley OW, Thompson IM Jr, Grönberg H. Evolving recommendations on prostate cancer screening. *Am Soc Clin Oncol Educ Book* 2016;35:e80-7. https://doi.org/10.14694/EDBK_157413.
29. Ström P, Kartasalo K, Olsson H, Solorzano L, Delahunt B, Berney DM, et al. Artificial intelligence for diagnosis and grading of prostate cancer in biopsies: a population-based, diagnostic study. *Lancet Oncol* 2020;21(2):222-32. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(19\)30738-7](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(19)30738-7).
30. Wang Y, Qian H, Shao X, Zhang H, Liu S, Pan J, Xue W. Multimodal convolutional neural networks based on the Raman spectra of serum and clinical features for the early diagnosis of prostate cancer. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc* 2023;293:122426. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.122426>.

Сведения об авторах:

Васильев А.О. – к.м.н., ассистент кафедры урологии ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России на базе ГБУЗ ММНKC им. С.П. Боткина ДЗМ; Москва, Россия; RINIC AuthorID: 832619, <https://orcid.org/0000-0001-5468-0011>

Говоров А.В. – д.м.н., профессор РАН, профессор кафедры урологии ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России на базе ГБУЗ ММНKC им. С.П. Боткина ДЗМ; Москва, Россия; RINIC Author ID 711844, <https://orcid.org/0000-0003-3299-0574>

Ким Ю.А. – к.м.н., врач-уролог ГБУЗ ММНKC им. С.П. Боткина ДЗМ; Москва, Россия; RINIC AuthorID: 1068822, <https://orcid.org/0000-0001-6390-3408>

Арутюнян П.А. – ведущий специалист ОМО по урологии ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», врач уролог, аспирант кафедры урологии ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России на базе ГБУЗ ММНKC им. С.П. Боткина ДЗМ; Москва, Россия; RINIC Author ID 1193661, <https://orcid.org/0000-0002-6228-012X>

Пушкар Д.Ю. – д.м.н., академик РАН, профессор, заведующий кафедрой урологии ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России на базе ГБУЗ ММНKC им. С.П. Боткина ДЗМ, главный уролог Минздрава России, главный уролог Департамента здравоохранения Москвы, руководитель Московского урологического центра; Москва, Россия; RINIC Author ID 417122, <https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>

Вклад авторов:

Васильев А.О. – написание текста, сбор и обработка материала, 20%
Говоров А.В. – дизайн исследования, 20%
Ким Ю.А. – написание текста, сбор и обработка материала, 20%
Арутюнян П.А. – написание текста, сбор и обработка материала, 20%
Пушкар Д.Ю. – концепция исследования, 20%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Работа выполнена при поддержке Московского центра инновационных технологий в здравоохранении; Заявка № 2802-19/23.

Финансирование: Статья подготовлена без финансовой поддержки.

Статья поступила: 02.10.24

Результаты рецензирования: 17.12.24

Исправления получены: 22.02.25

Принята к публикации: 25.02.25

Information about authors:

Vasilyev A.O. – PhD, Assistant of the Department of Urology of the «Russian University of Medicine» of the Ministry of Health of Russia on the basis of the State Budgetary Healthcare Institution MMNC named after S.P. Botkin of the Moscow Department of Health; Moscow, Russia; RSCI Author ID 832619, <https://orcid.org/0000-0001-5468-0011>

Govorov A.V. – Dr. Sci., Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Urology of the «Russian University of Medicine» of the Ministry of Health of Russia on the basis of the State Budgetary Healthcare Institution MMNC named after S.P. Botkin Moscow Department of Health; Moscow, Russia; RSCI Author ID 711844, <https://orcid.org/0000-0003-3299-0574>

Kim Yu.A. – PhD, urologist of the State Budgetary Healthcare Institution MMNC named after S.P. Botkin Moscow Department of Health; Moscow, Russia; RSCI Author ID 1068822, <https://orcid.org/0000-0001-6390-3408>

Arutyunyan P.A. – leading specialist of the Urology Department of the «Research Institute of Occupational Health and Medical Care of the Moscow Health Department», urologist, postgraduate student of the Urology Department of the «Russian University of Medicine» of the Ministry of Health of Russia on the basis of the State Budgetary Healthcare Institution MMNC named after S.P. Botkin of the Moscow Health Department; Moscow, Russia; RSCI Author ID 1193661, <https://orcid.org/0000-0002-6228-012X>

Pushkar D.Yu. – Dr. Sci., academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Head of the Urology Department of the «Russian University of Medicine» of the Ministry of Health of Russia on the basis of the State Budgetary Healthcare Institution MMNC named after S.P. Botkin Moscow Department of Health, Chief Urologist of the Ministry of Health of Russia, Chief Urologist of the Moscow Department of Health, Head of the Moscow Urology Center; Moscow, Russia; RSCI Author ID 417122, <https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>

Authors' contributions:

Vasilyev A.O. – article writing, obtaining data, 20%
Govorov A.V. – developing the research design, 20%
Kim Yu.A. – article writing, obtaining data, 20%
Arutyunyan P.A. – article writing, obtaining data, 20%
Pushkar D.Yu. – developing the research, 20%

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

The work was supported by the Moscow Center for Innovative Technologies in Healthcare; Application No. 2802-19/23. The work was supported by the Moscow Center for Innovative Technologies in Healthcare; Application No. 2802-19/23.

Financing. The article was made without financial support.

Received: 02.10.24

Peer review: 17.12.24

Corrections received: 22.02.25

Accepted for publication: 25.02.25