

Системы поддержки принятия решений в диагностике урологических заболеваний

А.О. Васильев¹⁻³, А.В. Говоров^{1,2}, П.А. Арутюнян^{1,3}, Ю.А. Ким², А.Л. Саруханян¹, Д.Ю. Пушкар^{1,2}

¹Кафедра урологии ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России; Россия, 127473 Москва, ул. Делегатская, 20, стр. 1;

²ГБУЗ г. Москвы «Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 125284 Москва, 2-й Боткинский пр-д, 5;

³ГБУ «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 115088 Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 9

Контакты: Павел Арменович Арутюнян dr.p.arutyunyan@gmail.com

Необходимость обработки большого объема данных привела к созданию программного обеспечения, способного улучшить и облегчить работу медицинских сотрудников. Системы поддержки принятия решений (СППР) сегодня используются во многих отраслях медицины как на амбулаторном, так и на стационарном этапе оказания медицинской помощи, помогая клиницистам в выборе тактики лечения и ведения каждого конкретного пациента. Данные системы способны в определенной степени улучшать результаты лечебно-диагностического процесса. Внедрение СППР в клиническую практику показало немало преимуществ в снижении частоты постановки ошибочных диагнозов и, как следствие, риска врачебных ошибок. Наряду с этим СППР могут иметь ряд недостатков. Так, врачи могут рассматривать их как угрозу своей «клинической автономии», а внедрение и последующее обслуживание СППР могут быть достаточно дорогостоящими. Предпосылкой к созданию СППР следует считать искусственный интеллект, который все чаще применяется не только для диагностики, но и для лечения и прогнозирования исходов при различных заболеваниях. Активное развитие искусственного интеллекта отмечено практически во всех отраслях медицины. Несистематический обзор имеющейся литературы, опубликованной в период с 2012 по 2022 г. показал, что применение СППР в диагностике рака предстательной железы имеет большой потенциал в клинической практике, поскольку помогает как в выборе метода лечения, так и в планировании хода дальнейшей операции.

Ключевые слова: системы поддержки принятия врачебных решений, искусственный интеллект, эффективность, диагностика урологических заболеваний, заболевания предстательной железы

Для цитирования: Васильев А.О., Говоров А.В., Арутюнян П.А. и др. Системы поддержки принятия решений в диагностике урологических заболеваний. Онкоурология 2024;20(3):159–67.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2024-20-3-159-167>

Decision support systems in the diagnosis of urological diseases

A.O. Vasilyev¹⁻³, A.V. Govorov^{1,2}, P.A. Arutyunyan^{1,3}, Yu.A. Kim², A.L. Sarukhanyan¹, D.Yu. Pushkar^{1,2}

¹Department of Urology, Russian University of Medicine, Ministry of Health of Russia; Build. 1, 20 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia;

²S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Scientific and Clinical Center, Moscow Healthcare Department; 5 2nd Botkinskiy Proezd, Moscow 125284, Russia;

³Research Institute of Healthcare Organization and Medical Management, Moscow Healthcare Department; 9 Sharikopodshipnikovskaya St., Moscow 115088, Russia

Contacts: Pavel Armenovich Arutyunyan dr.p.arutyunyan@gmail.com

The need to process large amounts of data has led to the creation of software that can improve and facilitate the work of medical staff. Decision support systems (DSS) are now used in many branches of medicine both at the outpatient and inpatient stages of medical care, helping clinicians to choose the tactics of treatment and management of each individual patient. These systems to a certain extent can improve treatment results and diagnostic process. The introduction of DSS in clinical practice has shown many advantages in reducing the frequency of misdiagnosis and, consequently, the risk

of medical errors. At the same time, DSS can have a number of disadvantages. For example, physicians may view them as a threat to their “clinical autonomy”, and the implementation and subsequent maintenance of DSS can be quite costly. Artificial intelligence, which is increasingly being used not only for diagnosis, but also for treatment and prediction of outcomes in various diseases, should be considered as a prerequisite for the creation of DSS. Active development of artificial intelligence has been noted in almost all branches of medicine. A non-systematic review of the available literature published in the period between 2012 and 2022 has shown that the application of AI in prostate cancer diagnosis has great potential in clinical practice, as it helps both in the choice of treatment method and in planning the course of further surgery.

Keywords: medical decision support systems, artificial intelligence, efficiency, diagnostics of urological diseases, prostate diseases

For citation: Vasilyev A.O., Govorov A.V., Arutyunyan P.A. et al. Decision support systems in the diagnosis of urological diseases. *Onkourologiya = Cancer Urology* 2024;20(3):159–67. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2024-20-3-159-167>

Введение

Системы поддержки принятия решений (СППР) впервые были использованы на практике для управления бизнесом, где показали свою очевидную эффективность, что позволило позже путем модификации внедрить их в клиническую практику лечебных учреждений. Искусственный интеллект (ИИ) — это термин, применяемый в вычислительной технике для описания способности компьютерной программы выполнять задачи, поставленные специалистом, такие как обсуждение, рассуждение и обучение. Он также включает такие процессы, как адаптация, сенсорное понимание и взаимодействие. Проще говоря, традиционные вычислительные алгоритмы — это программы, которые следуют набору правил и последовательно выполняют одну и ту же задачу. С другой стороны, ИИ изучает правила (функции) посредством обучения (вводных) данных. В скором будущем ИИ сможет внести значительные изменения в систему здравоохранения, используя огромное количество цифровых данных, собранных во время диагностики и/или лечения пациентов, для разработки новых концептуальных решений [1].

Искусственный интеллект — область информатики, которая использует вычислительные мощности компьютера, имитируя мыслительный процесс человека. Машинное обучение является неотъемлемой частью ИИ и, применяя статистические модели, способно осуществлять действия без набора явных команд [2]. Глубокое обучение — это подкласс машинного обучения, в котором используются искусственные нейронные сети (ИНС) [3].

На практике ИИ обычно реализуется как система, состоящая как из программного, так и из аппаратного обеспечения. С точки зрения программного обеспечения ИИ в основном связан с алгоритмами. ИНС — это концептуальная основа для разработки алгоритмов ИИ. Это «модель человеческого мозга», состоящая из алгоритмов в определенной последовательности,

соединенных взвешенными коммуникационными каналами. В ходе своей работы ИИ использует различные алгоритмы для поиска сложных нелинейных связей в массивных наборах данных. Компьютерная программа учится, исправляя незначительные алгоритмические ошибки, тем самым повышая точность модели прогнозирования [4]. С аппаратной точки зрения ИИ в основном связан с реализацией алгоритмов нейронной сети на физической вычислительной платформе. Благодаря быстрому развитию программных и аппаратных технологий, ИИ стал применяться в различных технических областях, таких как сельское хозяйство, дорожное движение, всемирная сеть Интернет, робототехника и др. [5].

Основные области применения ИИ в биомедицине можно разделить на 4 категории. Первые 3 предназначены для эффективной обработки больших баз данных и обеспечения быстрого доступа для решения поставленных задач, связанных с оказанием медицинской помощи. Наиболее же остро потребность в скорейшей интеграции ИИ в биомедицину связана с диагностикой заболеваний — последней категорией применения ИИ. В последние десятилетия в этой области был сделан ряд интересных прорывов. Благодаря ИИ специалисты способны проводить более раннюю и точную диагностику различных заболеваний [6]. Один из основных классов диагностики основан на диагностике *in vitro* с использованием биосенсоров или биочипов. Например, экспрессия генов, которая является важным диагностическим инструментом, может быть проанализирована с помощью машинного обучения, в котором ИИ интерпретирует данные микрочипа для классификации и обнаружения аномалий [7, 8]. Новая точка приложения ИИ — классификация данных раковых микрочипов для диагностики рака [9], определившая основной вектор развития в диагностике и прогнозировании.

Другой важный класс диагностики заболеваний основан на обработке медицинских сигналов (одно-

мерных, например при электроэнцефалографии, электромиографии и электрокардиографии) и изображений (двумерных, например при ультразвуковом исследовании, магнитно-резонансной томографии (МРТ) или компьютерной томографии) [10]. Внедрение технологий ИИ в портативные ультразвуковые устройства позволяет сократить «кривую» обучения, особенно у начинающих специалистов. В дополнение ко всему прочему, по мнению S. Safdar и соавт., ИИ оказывает неоценимую помощь стандартным СППР, снижая нагрузку на персонал за счет повышения точности диагностики и облегчения принятия решений в выборе той или иной тактики лечения [11].

По мнению большинства авторов, применение ИИ может быть эффективно использовано в диагностике и лечении заболеваний органов мочеполовой системы [12–14].

Среди прочего СППР в урологии и онкоурологии могут включать:

- системы диагностической поддержки [14, 15], использующие разные методы визуализации и другие диагностические данные для выявления и последующей характеристики различных урологических и онкоурологических заболеваний, таких как, например, рак предстательной железы [16];
- системы планирования лечения, использующие данные конкретных пациентов для создания персонализированного плана лечения урологических и онкоурологических заболеваний [17, 18];
- номограммы ранней диагностики (в том числе с учетом показателей различных биомаркеров) и прогностические модели развития рецидива заболевания [19, 20];
- системы определения стадии онкологического заболевания [21];
- системы наведения на основе различных методов визуализации, позволяющие более точно проводить различные урологические процедуры, например биопсию предстательной железы [22].

Цель обзора — анализ опубликованной литературы относительно различных СППР в медицинской практике с оценкой будущих перспектив применения в контексте урологических заболеваний.

Материалы и методы

Нами проведен обзор имеющейся литературы с использованием наиболее авторитетных и релевантных баз данных, таких как PubMed, Embase, Web of Science и Cochrane Library. Поисковый запрос включал сочетание и комбинацию следующих ключевых слов: «системы поддержки принятия врачебных решений», «искусственный интеллект», «эффективность», «диагностика урологических заболеваний», «заболевания предстательной железы». Кроме этого, были применены различные фильтры и ограничения, вклю-

чая язык публикаций (английский) и период публикации (начиная с 2012 до 2022 г. включительно).

Результаты поиска литературы были систематически оценены и проанализированы в целях выявления наиболее значимых и актуальных исследований, касающихся разработки СППР в диагностике урологических заболеваний. При этом учитывались методы исследования, клиническая значимость полученных результатов, а также последние достижения в области реализации СППР.

Результаты

Анализ публикационной активности существующих баз данных по искомым ключевым словам показал кратное увеличение научных статей в течение последних 20 лет. Неуклонный рост числа публикаций связан с несколькими факторами, главными из которых являются:

- стремительное развитие технологий в области ИИ, включая машинное обучение и глубокое обучение, позволяющих создавать более сложные и эффективные СППР;
- способность генерировать огромные объемы данных, включая анамнестические данные, изображения, данные генетических исследований и др.;
- переход к персонализированной медицине. СППР позволяют адаптировать подход к каждому пациенту на основе его характеристик;
- повышение точности диагностики и выбор наилучших стратегий лечения;
- заинтересованность медицинского сообщества в развитии и популяризации СППР.

Общая тенденция к росту числа публикаций по теме СППР свидетельствует о непрерывном развитии этой области и ее важности в современной медицине. В последние десятилетия СППР стали важным компонентом современной медицинской практики. Эти технологии, основанные на ИИ и анализе больших объемов данных, обеспечивают врачей и медицинский персонал неоценимой информацией и инструментами для принятия обоснованных решений в диагностике и лечении пациентов.

К одной из систем диагностической поддержки можно отнести программное обеспечение, произведенное Гарвардским университетом совместно с отделением радиологии и урологии Массачусетской больницы. Данный алгоритм использует каскадный принцип инициации 2 сверточных нейросетей, где каждая функциональная единица играет свою отдельную роль. Первая ИНС с помощью метода компьютерного зрения сортирует изображения, полученные при компьютерной томографии органов брюшной полости без контрастирования, выделяя те снимки, где присутствует мочевыделительная система. После этого вторая сверточная нейросеть обрабатывает

полученные от первого алгоритма снимки и, основываясь на своем опыте просмотра обучающей выборки из 535 клинических случаев, обнаруживает конкретные мочевыводящих путей. Дальнейший статистический анализ путем построения ROC-кривых показал, что площадь под кривой (AUC) для всех моделей обучения составляла 0,92–0,95. Несмотря на высокие показатели чувствительности и специфичности, разработчики отмечают, что в случаях, когда размер камня не превышал 4 мм, встречались ложноотрицательные результаты, что может сильно повлиять на качество диагностики в отделениях неотложной помощи [23].

В работе A.D. Torshizi и соавт. был использован принцип построения модели из двух ИНС для прогнозирования тяжести течения доброкачественной гиперплазии предстательной железы и формирования рекомендаций по ведению конкретного пациента. Каждую из этих задач выполнял отдельный алгоритм ИИ, однако обе системы имели одни и те же входные данные. В качестве проверки точности данной ИНС был проведен эксперимент, в ходе которого опытный врач-уролог обследовал 44 пациента с использованием предложенного технического решения. Согласно результатам при определении степени тяжести доброкачественной гиперплазии предстательной железы позиция врача полностью совпадала с вариантами, которые сообщала нейросеть, а также почти 90 % вариантов предложенной терапии совпадали с мнением эксперта. Создатели данного программного обеспечения считают, что подобные системы помогут минимизировать риски назначения неправильных методов лечения [24].

Одной из первых публикаций по исследованию ИИ в урологии следует считать работу D.J. Bagli и соавт., в которой ИНС анализировала данные пациентов, перенесших реконструктивные операции на лоханочно-мочеточниковом сегменте. Демографические, клинические, предоперационные и послеоперационные результаты радиологических исследований, результаты уродинамических показателей (при наличии) и данные о хирургическом вмешательстве использовались алгоритмом для прогнозирования сонографической картины в послеоперационном периоде. Результаты операции были классифицированы на 4 группы: значительное улучшение, улучшение, без изменений и ухудшение. В качестве тестовой выборки использовались данные о 16 пациентах, где анализ ИИ продемонстрировал 100 % чувствительность и специфичность метода. В связи с такими высокими показателями авторы приняли решение о проверке и валидации полученной модели с помощью сравнения ее с уравнением логистической регрессии. Данный метод статистического анализа был выбран в связи с предположением о наличии простой линейной зависимости между исходными данными, для обнаружения которых не требуется большого количества временных затрат

по сравнению с программированием алгоритма ИИ. Однако результаты 4 последовательных анализов логистической регрессии продемонстрировали гораздо меньшие показатели чувствительности и специфичности, опровергая высказанное ранее предположение [25].

Подобные сравнения результатов ИНС с моделями линейной регрессии часто применяются для проверки релевантности использования сложных вычислительных алгоритмов и исключения простых линейных связей среди входных данных [26].

Существует несколько попыток создания ИИ в целях помощи в планировании лечения пациентов как при гиперплазии предстательной железы [27], так и при мочекаменной болезни [28]. В 2019 г. T. Shabaniyan и соавт. были разработаны и оценены несколько моделей машинного обучения. В качестве входных данных алгоритмы использовали 26 параметров, которые включали не только такие характеристики, как возраст, пол, индекс массы тела, локализацию, плотность и размер конкрементов, но и данные, связанные с наличием сопутствующих заболеваний, анатомические особенности костей скелета, степень гидронефроза, предоперационные показатели гемоглобина крови и др. После обработки всех параметров ИИ проводил их сравнение со своей базой данных, куда были включены 254 ранее задокументированных клинических случая, и на выходе исследователи получали персонализированный прогноз результатов хирургического лечения. Разные алгоритмы машинного обучения предоставляли такую важную информацию, как вероятность избавления пациента от всех конкрементов за одну операцию и тип последующего лечебного воздействия. Чувствительность представленных моделей обучения составила 94,8; 85,2 и 95 % при прогнозировании результатов процедуры, риска установки внутреннего стента мочеточника после процедуры и переливания крови в послеоперационном периоде [17]. Похожая цель была достигнута в исследовании A. Aminsharif и соавт. В ходе исследования наличия резидуальных камней после чрескожной нефролитотрипсии у 146 пациентов полученные после обработки нейросетью исходные данные сравнивали с показателями таких номограмм, как Guy's Stone Score (GSS) и Clinical Research Office of Endourological Society (CROES). Согласно результатам исследования, чувствительность системы ИИ составила от 80 до 95,1 %. При этом AUC составила 0,915, что является значительно лучшим показателем, чем у номограмм GSS (0,615) и CROES (0,621) [29].

На данный момент в мировой литературе описано множество ИНС, относящихся к номограммам ранней диагностики. Среди них описаны алгоритмы, помогающие прогнозировать вероятность камнеобразования в мочевыводящей системе по исходным данным, включающим как различные лабораторные показатели,

наличие в анамнезе многих заболеваний и вредных привычек [30], так и конкретные генные модификации — цитохром CYP17, CDH-1, урокиназа и генный фактор роста сосудистого эндотелия (VEGF) [31]. В обоих случаях исследователи докладывают о более чем 97 % чувствительности прогностических методов. Также ИНС продемонстрировали свое превосходство в прогнозировании и диагностике почечной колики перед алгоритмами генетического анализа и таким статистическим методом, как логистическая регрессия. В работе С. Екен и соавт. описывается сравнение этих алгоритмов при обработке данных, включающих информацию о пациентах, поступивших в отделение неотложной помощи с подозрением на почечную колику. Целями этого исследования было выявление скрытых взаимосвязей между возникновением острого состояния и данными анамнеза, а также подтверждение тезиса о целесообразности использования алгоритмов интеллектуального анализа данных. Согласно результатам исследования, точность диагностики с помощью ИИ имела чувствительность 94,9 %, специфичность 78,4 % при AUC 0,867, что, в свою очередь, превосходило результаты 2 алгоритмов генетического анализа и логистической регрессии (чувствительность — 67,6; 56,8; 95,5 %; специфичность — 76,47; 86,3; 47,1 %; AUC — 0,72; 0,715; 0,713 соответственно). В работе авторы подчеркнули, что современные методы сбора и анализа данных могут служить полезными инструментами для решения сложных клинических вопросов в отделениях неотложной помощи [32].

Среди множества систем ИИ, которые способны определять стадию онкологического заболевания, следует выделить несколько уникальных разработок. ИНС, созданная В. Baessler и соавт., использует принцип компьютерного зрения и обработки результатов компьютерной томографии и МРТ, полученных перед операцией, для предсказания вероятности обнаружения злокачественного процесса при гистологическом исследовании резецированных лимфатических узлов забрюшинного пространства. При проверке предсказанных нейросетью результатов на тестовой выборке из 80 клинических случаев было показано, что алгоритм сделал 4 (из 25) ложноотрицательных и 8 (из 36) ложноположительных заключений [33]. Данное исследование выгодно отличалось от предшествующего тем, что как в обучающую, так и в тестовую выборку попадали снимки, сделанные разными аппаратами [34]. С помощью подобных систем ИНС совместно с обработкой магнитно-резонансных изображений стало возможным стадирование рака мочевого пузыря [35].

Алгоритм, способный дифференцировать подтипы почечно-клеточного рака с помощью обработки и градации серого цвета в снимках кортико-медулярной фазы компьютерной томографии, был представлен в 2018 г. Проверку данного метода обследования также

проводили с помощью сравнения его результатов с гистологическим заключением после чрескожной биопсии почечной ткани. В эксперименте также сравнивали 2 разные модели обучения нейросетей, а по результатам тестов была показана 100 % специфичность [36]. Помимо описанного ранее алгоритма, Z. Feng и соавт. создали программное обеспечение для дифференцировки ангиомиолипомы почки с помощью компьютерной томографии. Данный метод также продемонстрировал высокие показатели специфичности и чувствительности (87,8 и 100 % соответственно при AUC 0,955) [37]. Широко распространенный метод обработки изображения с помощью нейросетей и анализа их качественного содержания использовался в нескольких описанных методиках диагностических цистоскопий, при которых ИНС успешно дифференцировали опухоли мочевого пузыря [38–40].

Для создания обучающей выборки своей нейросети Р. Ström и соавт. оцифровали предметные стекла с биоптатами предстательной железы 976 пациентов. На основе анализа гистологического материала по шкале Глисона была создана ИНС для автономного анализа биопсийного материала. Целью ИИ была не только верификация наличия рака в предложенных образцах, но и установка соответствующей степени дифференцировки обнаруженной опухоли. Чувствительность данного метода при проверке на новой тестовой выборке составила 97,7 % [41]. По данным ряда авторов, применение подобных систем помощи диагностики рака предстательной железы способно уменьшить нагрузку на специалистов [42, 43].

Обсуждение

Возможность применения ИИ в здравоохранении обсуждается на протяжении последних 2 десятилетий, однако только недавно научный мир стал работать над тем, чтобы использовать его истинный потенциал. Использование ИИ в СППР основано на его способности выявлять закономерности в больших наборах данных и применять алгоритм обучения для получения точных прогнозов. Вместе с тем, что объем данных делает эту задачу чрезвычайно сложной и трудоемкой для клиницистов, компьютерные системы доказали, что они справляются с поставленной задачей эффективно и точно. Кроме этого, такие процессы, как диагностика, классификация и определение стадии онкологического заболевания, требуют значительных временных ресурсов, и они в равной степени достаточно субъективны. Автоматизация этих процессов может помочь сохранить ресурсы и снизить уровень субъективности, повысив тем самым эффективность и точность диагностики и лечения пациентов с раком органов мочеполовой системы. Включение ИИ в линейку лечебно-диагностического поиска — один из способов успешного достижения этой цели.

Правильная классификация опухоли играет решающую роль в определении как прогноза, так и возможных вариантов лечения. Автоматизация этих процессов также может позволить клиницистам принимать более точные решения при лечении пациентов. Кроме того, это может помочь пациентам избежать побочных эффектов проводимой терапии. Таким образом, уменьшая субъективность, можно снизить заболеваемость и смертность онкологических больных при одновременном улучшении качества жизни.

По данным Национального института здоровья, алгоритмы на основе ИИ окажут значительное влияние на медицинскую визуализацию в течение следующего десятилетия [44].

Наряду с несомненными преимуществами, ряд специалистов указывает на отсутствие в настоящее время нормативных актов, регулирующих как саму деятельность ИИ, так и этическую сторону вопроса, связанную с раскрытием и возможной утечкой личных данных пациентов [45–47]. При отсутствии должного административного регулирования, по мнению R. Muhiyaddin и соавт., клиницист может попросту игнорировать программное обеспечение, способное облегчить повседневную деятельность [48]. Нежелание внедрять СППР, основанную на ИИ, в клиническую практику со стороны руководства лечебных учреждений, по мнению авторов, может заключаться в дорогостоящем обслуживании и/или поддержке СППР. Несмотря на значительные первоначальные затраты на интеграцию технологий ИИ, экономия в конечном итоге может оказаться существенной.

Пионером среди СППР стало программное обеспечение MYCIN, написанное в 1976 г. Е.Н. Shortliffe [49]. Данная система была разработана в качестве помощи врачам-инфекционистам в выборе подходящей антибиотикотерапии при тяжелых бактериальных инфекциях. Приложение не получило широкого распространения в связи с отсутствием системной интеграции в клиническую практику, но заложило крепкий фундамент для дальнейших исследований.

Частое обновление или внесение коррективов в действующие клинические рекомендации и, как следствие, необходимость постоянной актуализации работы СППР могут также затруднить оптимальное использование СППР. Актуализация клинических данных часто бывает представлена в виде неструктурированной информации (рисунки, схемы, таблицы), которую сложно внедрять в СППР. Этот процесс требует постоянного присутствия оператора, который будет анализировать актуальную информацию и по мере ее появления интегрировать в системы [50]. Более того, отсутствие единого стандарта в формате кодирования медицинских данных затрудняет их унификацию и возможность внедрения в СППР в другом лечебном учреждении. В настоящий момент каждая медицин-

ская информационная система обрабатывает и хранит данные по-своему, что приводит к проблемам взаимодействия между учреждениями и затрудняет создание единой базы данных, которая могла бы быть использована в клинических исследованиях или разработке новых алгоритмов [51].

В систематическом обзоре L. Westerbeek и соавт. было показано, что ввиду большого количества информации интерфейсы предлагаемых решений могут быть перегружены, что, в свою очередь, создает сложности при клиническом применении СППР [52].

В онкоурологии СППР, безусловно, обладают потенциалом для улучшения диагностики и лечения пациентов данной когорты, но их использование также сопряжено с рядом ограничений. Так, по мнению ряда авторов, к последним могут быть в равной степени отнесены отсутствие стандартизации, недостаточная валидация и интерпретируемость [13, 53, 54].

Принимая во внимание неизбежность интеграции передовых технологий, включая ИИ, машинное обучение и обработку огромных объемов информации в современную клиническую практику, в рамках реализации проекта Московского центра инновационных технологий в здравоохранении (заявка № 2802-19/23) нами инициировано проведение собственного исследования, направленного на создание конкурирующей СППР. Для реализации поставленной цели на основе анализа литературы, описывающего опыт создания и применения различных СППР, можно выделить следующие критически важные задачи в разработке:

- стандартизированный протокол для сбора данных МРТ, трансректального ультразвукового исследования, трехмерных изображений предстательной железы, полученных с помощью компьютер-ассистированной ультрасонографической системы Histoscanning, патоморфологического исследования предстательной железы;
- постобработка изображений;
- создание единого формата карт пациента;
- разработка адаптивного пользовательского интерфейса.

На текущем этапе нашей исследовательской работы были успешно проведены процедуры сбора данных когорты пациентов в единое информационное хранилище. Интерпретация полученных данных находится в процессе анализа, что обусловлено детализацией данных, а также необходимостью проведения статистического анализа. Окончательные результаты и сформулированные научно обоснованные выводы потребуют времени и будут представлены нами позднее.

Заключение

Системы поддержки принятия решений являются перспективным и многообещающим направлением.

В связи с широкомасштабной цифровизацией медицинских данных при создании СППР важен мультидисциплинарный подход к проведению полноценных клинических исследований и формированию моделей машинного обучения. Стремительный прогресс цифровых технологий привел к тому, что ИИ играет все более важную роль в биомедицине. Новые возможности ИИ предоставляют новые решения для биомедицины, а развитие биомедицины требует от ИИ новых уровней возможностей. Такое соответствие спроса и предложения позволит ИИ значительно продвинуться вперед в обозримом будущем, повысив качество и доступность медицинской помощи путем персонализированного подхода, а также снизить экономические затраты системы здравоохранения.

Разработка СППР на основе данных МРТ, ультразвукового исследования и гистосканирования предстательной железы представляет собой важную задачу в диагностике рака предстательной железы. Являясь одним из наиболее распространенных онкологических заболеваний у мужчин, рак предстательной железы также представляет серьезную проблему для системы здравоохранения. Ранняя диагностика, стадирование и определение характеристик рака играют ключевую роль при выборе оптимальной тактики лечения. В этом контексте использование СППР, основанной на совместном анализе данных МРТ, ультразвукового исследования (в том числе с помощью гистосканирования) и гистологических данных, представляет собой мощный инструмент для повышения точности диагностики и определения наилучшей стратегии лечения.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Drukker L., Noble J.A., Papageorgiou A.T. Introduction to artificial intelligence in ultrasound imaging in obstetrics and gynecology. *Ultrasound Obstetr Gynecol* 2020;56:498–505. DOI: 10.1002/uog.22122
2. Koza J., Bennett Iii F., Andre D. et al. Automated design of both the topology and sizing of analog electrical circuits using genetic programming. *Publication History*, 1996. Pp. 123–131.
3. Aizenberg I.N., Aizenberg N.N., Vandewalle J.P. Multi-valued and universal binary neurons: theory, learning and applications. *Kluwer Academic Publishers*, 2000. 275 p.
4. Rong G., Mendez A., Bou Assi E. et al. Artificial intelligence in healthcare: review and prediction case studies. *Engineering* 2020;6:291–301. DOI: 10.1016/j.eng.2019.08.015
5. Miller D.D., Brown E.W. Artificial Intelligence in medical practice: the question to the answer? *Am J Med* 2018;131:129–33. DOI: 10.1016/j.amjmed.2017.10.035
6. Sajda P. Machine learning for detection and diagnosis of disease. *Ann Rev Biomed Eng* 2006;8:537–65. DOI: 10.1146/annurev.bioeng.8.061505.095802
7. Molla M., Waddell M., Page D., Shavlik J. Using machine learning to design and interpret gene-expression microarrays. *AI Mag* 2004;25(1):23–44.
8. Pham T.D., Wells C., Crane D.I. Analysis of microarray gene expression data. *Curr Bioinform* 2006;1(1):37–53.
9. Shi T.W., Kah W.S., Mohamad M.S. et al. A review of gene selection tools in classifying cancer microarray data. *Curr Bioinform* 2017;12(3):202–12.
10. Elkin P.L., Schlegel D.R., Anderson M. et al. Artificial intelligence: bayesian *versus* heuristic method for diagnostic decision support. *Appl Clin Inform* 2018;9(2):432–9. DOI: 10.1055/s-0038-1656547
11. Safdar S., Zafar S., Zafar N. et al. Machine learning based decision support systems (DSS) for heart disease diagnosis: a review. *Artif Intell Rev* 2018;50(4):597–623.
12. Anagnostou T., Remzi M., Lykourinas M. et al. Artificial neural networks for decision-making in urologic oncology. *Eur Urol* 2003;43(6):596–603. DOI: 10.1016/s0302-2838(03)00133-7
13. Pai R.K., van Booven D.J., Parmar M. et al. A review of current advancements and limitations of artificial intelligence in genitourinary cancers. *Am J Clin Exp Urol* 2020;8(5):152–62. PMID: 33235893
14. Shah M., Naik N., Somani B.K. et al. Artificial intelligence (AI) in urology-current use and future directions: an iTRUE study. *Turk J Urol* 2020;46(1):27–39. DOI: 10.5152/tud.2020.20117
15. Li C., Zhang Y., Weng Y. et al. Natural language processing applications for computer-aided diagnosis in oncology. *Diagnostics (Basel)* 2023;13(2):286. DOI: 10.3390/diagnostics13020286
16. Hu L., Fu C., Song X. et al. Automated deep-learning system in the assessment of MRI-visible prostate cancer: comparison of advanced zoomed diffusion-weighted imaging and conventional technique. *Cancer Imaging* 2023;23(1):6. DOI: 10.1186/s40644-023-00527-0
17. Shabaniyan T., Parsaei H., Aminsharifi A. et al. An artificial intelligence-based clinical decision support system for large kidney stone treatment. *Australas Phys Eng Sci Med* 2019;42(3):771–9. DOI: 10.1007/s13246-019-00780-3
18. Sun D., Hadjiiski L., Alva A. et al. Computerized decision support for bladder cancer treatment response assessment in CT urography: effect on diagnostic accuracy in multi-institution multi-specialty study. *Tomography* 2022;8(2):644–56. DOI: 10.3390/tomography8020054
19. Parekh S., Ratnani P., Falagario U. et al. The Mount Sinai Prebiopsy Risk Calculator for predicting any prostate cancer and clinically significant prostate cancer: development of a risk predictive tool and validation with advanced neural networking, prostate magnetic resonance imaging outcome database, and european randomized study of screening for prostate cancer risk calculator. *Eur Urol Open Sci* 2022;41:45–54. DOI: 10.1016/j.euros.2022.04.017
20. Huang W., Randhawa R., Jain P. et al. A novel artificial intelligence-powered method for prediction of early recurrence of prostate cancer after prostatectomy and cancer drivers. *JCO Clin Cancer Inform* 2022;6:e2100131. DOI: 10.1200/CCI.21.00131
21. Li M., Jiang Z., Shen W. et al. Deep learning in bladder cancer imaging: a review. *Front Oncol* 2022;12:930917. DOI: 10.3389/fonc.2022.930917
22. Zhao L., Bao J., Qiao X. et al. Predicting clinically significant prostate cancer with a deep learning approach: a multicentre retrospective study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2023;50(3):727–41. DOI: 10.1007/s00259-022-06036-9
23. Parakh A., Lee H., Lee J. H. et al. Urinary stone detection on CT images using deep convolutional neural networks: evaluation of model performance and generalization. *Radiol Artif Intell* 2019;1(4):e180066. DOI: 10.1148/ryai.2019180066
24. Torshizi A.D., Zarandi M.H.F., Torshizi G.D. et al. A hybrid fuzzy-ontology based intelligent system to determine level of severity and treatment recommendation for Benign Prostatic

- Hyperplasia. *Comput Methods Programs Biomed* 2014;113(1):301–13. DOI: 10.1016/j.cmpb.2013.09.021
25. Bagli D.J., Agarwal S.K., Venkateswaran S. et al. Artificial neural networks in pediatric urology: prediction of sonographic outcome following pyeloplasty. *J Urol* 1998;160(3):980–3. DOI: 10.1016/s0022-5347(01)62675-2
26. Sonke G.S., Heskes T., Verbeek A.L.M. et al. Prediction of bladder outlet obstruction in men with lower urinary tract symptoms using artificial neural networks. *J Urol* 2000;163(1):300–5. DOI: 10.1016/s0022-5347(05)68042-1
27. Kim J.K., Yook I.H., Choi M.J. et al. A performance comparison on the machine learning classifiers in predictive pathology staging of prostate cancer. *Stud Health Technol Inform* 2017;245:1273.
28. Seckiner I., Seckiner S., Sen H. et al. A neural network-based algorithm for predicting stone-free status after ESWL therapy. *Int Braz J Urol* 2017;43(6):1110–4. DOI: 10.1590/s1677-5538.ibju.2016.0630
29. Aminsharifi A., Irani D., Tayebi S. et al. Predicting the postoperative outcome of percutaneous nephrolithotomy with machine learning system: software validation and comparative analysis with Guy's stone score and the CROES nomogram. *J Endourol* 2020;34(6):692–9. DOI: 10.1089/end.2019.0475
30. Kazemi Y., Mirroshandel S.A. A novel method for predicting kidney stone type using ensemble learning. *Artif Intell Med* 2018;84:117–26. DOI: 10.1016/j.artmed.2017.12.001
31. Chiang D., Chiang H.C., Chen W.C. et al. Prediction of stone disease by discriminant analysis and artificial neural networks in genetic polymorphisms: a new method. *BJU Int* 2003;91(7):661–6. DOI: 10.1046/j.1464-410x.2003.03067.x
32. Eken C., Bilge U., Kartal M. et al. Artificial neural network, genetic algorithm, and logistic regression applications for predicting renal colic in emergency settings. *Int J Emerg Med* 2009;2(2):99–105. DOI: 10.1007/s12245-009-0103-1
33. Baessler B., Nestler T., Pinto dos Santos D. et al. Radiomics allows for detection of benign and malignant histopathology in patients with metastatic testicular germ cell tumors prior to post-chemotherapy retroperitoneal lymph node dissection. *Eur Radiol* 2019;30(4):2334–45. DOI: 10.1007/s00330-019-06495-z
34. Lewin J., Dufort P., Halankar J. et al. Applying radiomics to predict pathology of postchemotherapy retroperitoneal nodal masses in germ cell tumors. *JCO Clin Cancer Informat* 2018;2:1–12. DOI: 10.1200/CCI.18.00004
35. Xu X., Zhang X., Tian Q. et al. Three-dimensional texture features from intensity and high-order derivative maps for the discrimination between bladder tumors and wall tissues via MRI. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2017;12(4):645–56. DOI: 10.1007/s11548-017-1522-8
36. Kocak B., Yardimci A.H., Bektas C.T. et al. Textural differences between renal cell carcinoma subtypes: machine learning-based quantitative computed tomography texture analysis with independent external validation. *Eur J Radiol* 2018;107:149–15. DOI: 10.1016/j.ejrad.2018.08.014
37. Feng Z., Rong P., Cao P. et al. Machine learning-based quantitative texture analysis of CT images of small renal masses: differentiation of angiomyolipoma without visible fat from renal cell carcinoma. *Eur Radiol* 2017;28(4):1625–33. DOI: 10.1007/s00330-017-5118-z
38. Ikeda A., Nosato H., Kochi Y. et al. Support system of cystoscopic diagnosis for bladder cancer based on artificial intelligence. *J Endourol* 2019;34(3):352–8. DOI: 10.1089/end.2019.0509
39. Lorencin I., Anđelić N., Spanjol J. et al. Using multi-layer perceptron with Laplacian edge detector for bladder cancer diagnosis. *Artif Intell Med* 2019;102:101746. DOI: 10.1016/j.artmed.2019.101746
40. Eminaga O., Semjonow A., Breil B. Diagnostic classification of cystoscopic images using deep convolutional neural networks. *Eur Urol Suppl* 2018;17(2):e1232. DOI: 10.1016/s1569-9056(18)31703-2
41. Ström P., Kartasalo K., Olsson H. 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. DOI: 10.1016/s1470-2045(19)30738-7
42. Bulten W., Pinckaers H., van Boven H. et al. Automated deep-learning system for Gleason grading of prostate cancer using biopsies: a diagnostic study. *Lancet Oncol* 2020;21(2):233–41. DOI: 10.1016/s1470-2045(19)30739-9
43. Fehr D., Veeraraghavan H., Wibmer A. et al. Automatic classification of prostate cancer Gleason scores from multiparametric magnetic resonance images. *Proc Natl Acad Sci USA* 2015;112:E6265–73. DOI: 10.1073/pnas.1505935112
44. Langlotz C.P., Allen B., Erickson B.J. et al. A roadmap for foundational research on artificial intelligence in medical imaging: from the 2018 NIH/RSNA/ACR/The Academy Workshop. *Radiology* 2019;291(3):781–91. DOI: 10.1148/radiol.2019190613
45. Naik N., Hameed B.M.Z., Shetty D.K. et al. Legal and ethical consideration in artificial intelligence in healthcare: who takes responsibility? *Front Surg* 2022;14(9):862322. DOI: 10.3389/fsurg.2022.862322
46. Zhang J., Zhang Z.M. Ethics and governance of trustworthy medical artificial intelligence. *BMC Med Inform Decis Mak* 2023;23(1):7. DOI: 10.1186/s12911-023-02103-9
47. Pesapane F., Volonte C., Codari M. et al. Artificial intelligence as a medical device in radiology: ethical and regulatory issues in Europe and the United States. *Insights Imaging* 2018;9(5):745–53. DOI: 10.1007/s13244-018-0645-y
48. Muhiyaddin R., Abd-Alrazaq A.A., Househ M. et al. The impact of Clinical Decision Support Systems (CDSS) on physicians: a scoping review. *Stud Health Technol Inform* 2020;272:470–3. DOI: 10.3233/SHTI200597
49. Shortliffe E.H. *Computer-based medical consultations: mycin*. Elsevier, 1976. DOI: 10.1016/B978-0-444-00179-5.50008-1
50. Sutton R.T., Pincock D., Baumgart D.C. et al. An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success. *NPJ Digit Med* 2020;6:3–17. DOI: 10.1038/s41746-020-0221-y
51. Малых В.Л. Системы поддержки принятия решений в медицине. Программные системы: теория и приложения 2019;2(41):155–84. DOI: 10.25209/2079-3316-2019-10-2-155-184
52. Malykh V.L. Decision support systems in medicine. Programmye sistemy: teoriya i prilozheniya = Program systems: Theory and Applications 2019;2(41):155–84. (In Russ.). DOI: 10.25209/2079-3316-2019-10-2-155-184
53. Westerbeek L., Ploegmakers K. J., de Bruijn G.J. et al. Barriers and facilitators influencing medication-related CDSS acceptance according to clinicians: a systematic review. *Int J Med Inform* 2021;152:104506. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2021.104506
54. Cha K.H., Hadjiiski L., Chan H.P. et al. Bladder cancer treatment response assessment in CT using radiomics with deep-learning. *Sci Rep* 2017;7(1):8738. DOI: 10.1038/s41598-017-09315-w
55. Tataru O.S., Vartolomei M.D., Rassweiler J.J. et al. Artificial intelligence and machine learning in prostate cancer patient management-current trends and future perspectives. *Diagnostics (Basel)* 2021;11(2):354. DOI: 10.3390/diagnostics11020354

Вклад авторов

А.О. Васильев, П.А. Арутюнян: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, написание текста статьи;
А.В. Говоров: научное редактирование;
Ю.А. Ким: сбор и обработка материала, написание текста статьи;
А.Л. Саруханян: сбор и обработка материала;
Д.Ю. Пушкар: разработка концепции и дизайна исследования, научное редактирование.

Authors' contributions

A.O. Vasilyev, P.A. Arutyunyan: developing the research concept and design, collection and processing of material, article writing;
A.V. Govorov: scientific editing;
Yu.A. Kim: collection and processing of material, article writing;
A.L. Sarukhanyan: collection and processing of material;
D.Yu. Pushkar: developing the research concept and design, scientific editing.

ORCID авторов / ORCID of authors

А.О. Васильев / A.O. Vasilyev: <https://orcid.org/0000-0001-5468-0011>
А.В. Говоров / A.V. Govorov: <https://orcid.org/0000-0003-3299-0574>
П.А. Арутюнян / P.A. Arutyunyan: <https://orcid.org/0000-0002-6228-012X>
Ю.А. Ким / Yu.A. Kim: <https://orcid.org/0000-0001-6390-3408>
А.Л. Саруханян / A.L. Sarukhanyan: <https://orcid.org/0000-0002-6703-5238>
Д.Ю. Пушкар / D.Yu. Pushkar: <https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Funding. The work was performed without external funding.

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено Межвузовским комитетом по этике г. Москва (выписка из протокола № 04 от 13.04.2023).

Compliance with ethical standards. The study was approved by the Interuniversity Ethics Committee, Moscow (excerpt from the protocol No. 04 dated 13.04.2023).