

Перспективы использования больших данных, искусственного интеллекта, машинного обучения, нейросетей и глубокого обучения в диагностике и лечении злокачественных опухолей мочевого пузыря

А.В. Хачатурян✉

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, Москва, Россия

Аннотация

В обзоре представлен всесторонний анализ последних достижений в области машинного обучения (ML), нейросетей (ANN) и глубокого обучения (DL) в онкоурологии. В рамках исследования проведено ранжирование российской и зарубежной научной литературы на базе данных PubMed, MEDLINE, E-library, CYBERLENINKA и пр. Материал относился к применению ML, ANN и DL в области диагностики и лечения рака предстательной железы (РПЖ), рака мочевого пузыря (РМП), рака яичка и рака почки. Чаще всего применение ANN и ML при РПЖ касалось ранней диагностики, прогнозирования и персонализированной стратегии системного лечения. Обучение моделей ANN и DL проводили по клиническим параметрам, результатам NGS-секвенирования, показателям шкалы Глисона, оцифрованным радиологическим и гистологическим изображениям. Для диагностики РПЖ также использовали радиомику с последующим анализом специфики текстуры изображения на цифровом слайде. При метастатическом касторезистентном РПЖ применяли алгоритмы искусственного интеллекта для прогнозирования ответа на лечение доцетакселом. Также оценены возможности использования искусственного интеллекта для визуализации опухоли при проведении радикальной простатэктомии и при выполнении робот-ассистированной резекции почки. С помощью ML предложен диагностический подход при злокачественных новообразованиях яичка, основанный на данных компьютерной томографии. Для диагностики РМП использовали нейро-нечеткое моделирование и ANN. Алгоритмы основывались на молекулярных биомаркерах, включая экспрессию генов и метилирование генов. Диагностическую точность 94% показал метод ML, при котором использовали изображения клеток, полученные из образцов мочи пациентов с диагнозом РМП. DL при РМП применили для точной типизации опухолей в соответствии с их ответом на химиотерапию. По результатам глубокого машинного обучения предсказали молекулярный подтип образцов РМП при помощи гистологического анализа материала. Алгоритмы ML и DL для диагностики, дифференциации, прогнозирования рецидива и выживаемости при раке почки обучали на КТ-текстурном анализе, генетических мутациях и ядерной степени по Фурману. Помимо диагностики искусственный интеллект использован для оптимизации стратегии лечения при раке почки. Во всех случаях алгоритмы ML, ANN и DL повышали точность диагностики, оценку выживаемости, эффективность фармакологического и хирургического лечения онкоурологических заболеваний.

Ключевые слова: онкоурология, big data, искусственный интеллект, машинное обучение, нейросети, глубокое машинное обучение

Для цитирования: Хачатурян А.В. Перспективы использования больших данных, искусственного интеллекта, машинного обучения, нейросетей и глубокого обучения в диагностике и лечении злокачественных опухолей мочевого пузыря. Современная Онкология. 2025;27(2):86–92. DOI: 10.26442/18151434.2025.2.203225

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2025 г.

Введение

Термин «большие данные» (big data) в научной литературе прежде всего обозначает большой объем информации, накопленной в интернет-пространстве [1]. В последнее время в российских и зарубежных источниках все чаще можно встретить утверждение, что эта дефиниция также подразумевает новейшие технологии, которые осуществляют анализ и обработку сведений, накопленных в мировом цифровом пространстве [2]. «Системы больших данных состоят из компонентов извлечения информации, предварительной обработки, приема и интеграции, анализа данных, интерфейса и визуализации» [3].

Следует отметить, что медицинское сообщество обратило свое внимание на цифровые информационные технологии, так как остро нуждалось в систематизации и хранении большого количества информации [4]. В настоящее время цифровизация медицины стремительно возрастает, что дает возможность как накапливать, так и систематизировать медицинский информационный материал во всемирном цифровом поле [5]. Большие данные приводят к необходимости

находить смысловые категории в созданном информационном пространстве, которое постоянно меняется, и находить взаимосвязи между полученными данными. Понимание этих взаимосвязей и способность извлекать сведения, скрытые в больших данных, является основным приоритетом в работе с big data [6].

Основным инструментом работы с big data является искусственный интеллект (ИИ), или компьютерная система, которая имитирует способность людей обучаться и решать задачи. Чем больше становится структурированная база данных, тем сильнее становится ИИ. С 2015 г. подверглось генерации около 90% всей мировой информации [7].

Машинное обучение (machine learning – ML) – это часть ИИ, обучающаяся модель по настроенным алгоритмам на основе данных.

Нейросети – это аппаратные или программные математические модели, имитирующие работу нейронных сетей живых организмов. По сути – это разновидность ML. Нейронные сети в своей работе поглощают огромное количество информации, перерабатывают, анализируют ее, пропуская через

Информация об авторе / Information about the author

✉Хачатурян Александр Владимирович – канд. мед. наук, науч. сотр. онкологического отделения хирургических методов лечения №4 (онкоурологии) Научно-исследовательского института клинической онкологии им. Н.Н. Трапезникова ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина». E-mail: centrforward@mail.ru; Researcher ID: 434727492

✉Alexander V. Khachatryan – Cand. Sci. (Med.), Blokhin National Medical Research Center of Oncology. E-mail: centrforward@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3774-2879

Prospects for the use of big data, artificial intelligence, machine learning, neural networks, and deep learning in the diagnosis and treatment of malignant tumors of the genitourinary system: A review

Alexander V. Khachatryan✉

Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia

Abstract

The review presents a comprehensive analysis of the latest advances in machine learning (ML), artificial neural networks (ANN), and deep learning (DL) in urologic oncology. As part of the study, the Russian and foreign scientific literature was ranked based on PubMed, MEDLINE, E-library, CYBERLENINKA, etc. The data related to the use of ML, ANN, and DL in the diagnosis and treatment of prostate cancer (PCa), bladder cancer (BC), testicular cancer, and kidney cancer was collected. Most often, ANN and ML in PCa were used for early diagnosis, prognosis, and personalized systemic treatment strategy development. ANN and DL models were trained with clinical parameters, NGS-sequencing results, Gleason scores, and digitized radiological, and histological images. Radiomics was also used to diagnose PCa, followed by analysis of special image texture features on a digital slide. In metastatic castration-resistant PCa, artificial intelligence (AI) algorithms were used to predict the response to docetaxel treatment. The prospects of using AI for tumor imaging during radical prostatectomy and when performing robot-assisted kidney resection were also addressed. A diagnostic approach for testicular malignancies based on computed tomography data is proposed using ML. Neuro-fuzzy modeling and ANN were used to diagnose BC. The algorithms were based on molecular biomarkers, including gene expression and methylation. The ML method based on images of cells obtained from urine samples of patients diagnosed with BC showed a diagnostic accuracy of 94%. DL in BC was used for accurate tumor typing based on their response to chemotherapy. Based on the results of deep machine learning, the molecular subtype of BC samples was predicted using histological examination. ML and DL algorithms for diagnosis, differential diagnosis, and prediction of recurrence and survival in kidney cancer were trained on CT texture analysis, genetic mutations, and Fuhrman nuclear grade. In addition to diagnosis, AI is used to optimize the treatment strategy for kidney cancer. In all cases, the ML, ANN, and DL algorithms improved the accuracy of diagnosis, survival assessment, and the effectiveness of pharmacological and surgical treatment of urologic malignancies.

Keywords: urologic oncology, big data, artificial intelligence, machine learning, neural networks, deep machine learning

For citation: Khachatryan AV. Prospects for the use of big data, artificial intelligence, machine learning, neural networks, and deep learning in the diagnosis and treatment of malignant tumors of the genitourinary system: A review. *Journal of Modern Oncology*. 2025;27(2):86–92. DOI: 10.26442/18151434.2025.2.203225

сеть искусственных нейронов, и генерируют свой ответ на поставленную исследователем задачу.

Глубокое обучение (deep learning – DL) – это продвинутая разновидность ML. DL использует большое число нейронных сетей. Оно создает более мощную умную и производительную компьютерную систему, чем одна нейронная сеть [8]. Что важно отметить, DL использует математический алгоритм для улучшения обучения на основе опыта, помогает интерпретировать информационный набор данных, а также направлять врача для принятия точных решений.

В настоящее время ИИ, используя математические алгоритмы для имитации когнитивных способностей человека, способен решать такие сложные задачи здравоохранения, как диагностика, лечение и профилактика рака. Экспоненциальный рост ИИ за последнее десятилетие свидетельствует о том, что он является потенциальной платформой для принятия оптимальных решений с помощью сверхума, когда человеческий разум ограничен обработкой огромных данных в узком временном диапазоне [9].

Цель исследования – широкий обзор текущего состояния инструментов ИИ для принятия решений, постановки диагноза, выбора тактики лечения и прогнозирования результатов в онкоурологической практике. Необходимо показать, как новейшие технологии на основе ИИ предоставляют несомненную эффективную помощь в диагностике, лечении и профилактике рака, даря надежду на излечение многим людям.

Перспективы и проблемы использования big data и ИИ в прецизионной и точной медицине в онкоурологии

Большие данные представлены совокупностью трех составляющих: объемом (volume), скоростью (velocity) и разнообразием (variety). Поэтому в литературе можно встретить дефиницию big data как единство трех V [10]. В сфере онкологии большие данные включают множество источников

информации (volume): диагностических, из них – клинических, рентгенологических, патоморфологических; данных о хирургическом вмешательстве, системной терапии, лучевой терапии, сведений о реакции организма, осложнениях и пр. Также в большие данные попадают истории болезней пациентов, показатели жизнедеятельности больных, как полученные от датчиков в режиме реального времени, так и внесенные в электронные истории болезни [11]. Интересно отметить, что результаты измерений могут поступать от самих пациентов, которые записаны при помощи различных компьютерных приложений или мобильных устройств [12]. Большой процент в больших данных занимает научно-исследовательская, нормативно-правовая, медицинская страховая информация и пр. В информационном поле сведения собираются и систематизируются с огромной скоростью (velocity). Их значительное разнообразие и неоднородность требуют строгой стандартизации и однозначности определений (variety) [13].

Ряд исследователей считают, что в онкологии основными являются данные, полученные именно от пациента и оформленные в цифровом виде. Они включают различную информацию: пол, возраст, семейный анамнез, клинические признаки, проводимое лечение и сопутствующие заболевания. Важной составляющей являются результаты инструментальных методов диагностики: рентгенологические исследования, компьютерная (КТ), магнитно-резонансная томография, комбинированная позитронно-эмиссионная и рентгеновская КТ, ультразвуковое исследование, результаты анализов жидкостей и тканей: гистопатологический, иммуногистохимический, секвенирование ДНК и РНК, анализы крови и пр. Второе, что отмечают исследователи: в больших данных имеется вычислительный анализ сведений о больном, полученный при обработке параметров. Они содержат радиомикру и анализ цифровых изображений, а также анализ генетической экспрессии и мутаций [14].

Сведения о пациенте обрабатываются при помощи ML и обычно содержат большие компьютерные файлы структурированных материалов. В big data много информации, которая поступает из научной и практической врачебной периодики, а также других интернет-источников. Авторы подчеркивают, что по статистике на одного онкобольного в big data хранится огромное количество информации по сравнению со сведениями, взятыми от небольшой когорты пациентов, типизированных по определенному виду рака [15].

Медицинская информация поступает из многочисленных источников в различных форматах с использованием всевозможных терминов и на различных языках, что является одной из основных сложностей для генерации. Из-за разнообразия форматов и отсутствия общей лексики доступность больших данных для систем анализа медицинских данных и поддержки принятия решений вызывает определенные трудности [16]. Поэтому разработаны специальные словарные и визуальные стандарты для описания клинических признаков и патологий, различных процедур, лекарственных препаратов, «коды логических идентификаторов наблюдений (LOINC), Международная классификация болезней (МКБ-9 и МКБ-10), Систематизированная номенклатура медицинских и клинических терминов (SNOMED-CT), Текущая процедурная терминология, 4-е издание (CPT 4), АТС – Анатомо-терапевтическая химическая классификация лекарства, генная онтология (GO) и др.» [17]. Особенное внимание специалистов сосредоточено на разработке инструментов для работы с большими данными. Созданы специальные алгоритмы для комплексного анализа, которые позволяют интерпретировать поступающие сведения в режиме реального времени. Комплекс методов предиктивной аналитики Advanced analytics помогает выявлять различные патологические изменения или отклонения в показателях и связывать их с определенными закономерностями, помогая таким образом обнаруживать заболевание на ранних стадиях патологического процесса [18]. Например, использование эволюционного встроенного алгоритма при проведении полногеномного секвенирования ДНК клеток, полученных из плазмы крови, способствовало обнаружению колоректального рака на ранних стадиях заболевания [19, 20]. Отметим, что при помощи технологий big data возможно прогнозировать исход онкологического заболевания на фоне объединения клинических данных и геномного анализа [1]. Оценке риска онкозаболеваемости может способствовать объединение больших наборов данных геномики и информации об окружающей среде. В этом случае большие данные станут полезными при разработке и изменении стратегий профилактики заболеваний, новых подходов, направленных на улучшение окружающей среды и изменение поведения людей в группах риска. В онкологической практике большие данные необходимы для мониторинга эффективности различных методов лечения, например химиотерапии (ХТ) или иммунотерапии. Это поможет повысить степень персонализированности медицины и пополнит необходимые знания по эффективности различных схем лечения [15].

Клиническая онкология с помощью ИИ недавно пополнилась новыми молекулярными стратегиями. Одной из них является секвенирование следующего поколения, или параллельное секвенирование (NGS), позволяющее одномоментное чтение нуклеотидной последовательности ДНК и РНК на многих участках генома. Эта платформа обладает высокой пропускной способностью и предназначена для генерации большого количества информации. Е.И. Новикова и соавт. в своей работе ссылаются на ряд доступных технологий для NGS (в скобках указаны компании-производители): HiSeq, MiSeq и NextSeq 500 (Illumina), Roche 454 GS, Ion torrent (Thermo Fisher Scientific) и SOLiD (Applied Biosystems) [21]. Полученные генетические результаты обрабатывают при помощи специального программного обеспечения, что дает возможность выявлять герминальные и соматические мутации в целевых генах и обнаруживать новые и редкие генетические варианты, ассоциированные с онкологическими заболеваниями.

Результаты секвенирования следующего поколения позволяют алгоритму предложить наиболее эффективную терапию с учетом индивидуальных генетических факторов, так как прецизионные противораковые препараты нацелены на определенный тип раковых клеток с учетом их генетической изменчивости [22]. В своих работах исследователи приводят примеры использования NGS-секвенирования в сочетании с работой ИИ для поиска соматических и герминальных мутаций, ассоциированных с онкопатологией. Так, при уротелиальном раке мочевого пузыря (РМП) при помощи данной технологии обнаружено около 55 мутаций, из их числа 49 зарегистрированы впервые [21].

Следует обратить внимание на перспективное направление в прецизионной медицине – радиомик, или виртуальную биопсию, в которой совмещаются несколько областей знаний. Радиомика в первую очередь основывается на визуализации опухоли с помощью лучевой диагностики. Полученные радиологические изображения злокачественной опухоли обрабатываются при помощи математического моделирования и DL. Анализ цифровых изображений (оттенки серого и объемно-пространственное расположение пикселей и вокселей) текстуры различных тканей патологий используется для создания биомаркеров изображений [14]. В диагностике рака с их помощью оценивают однородность исследуемой опухолевой ткани по всей ее глубине. Параметры изображения количественно определяют фенотипические характеристики всей опухоли. При этом решаются две очень важные проблемы в онкологии – ранняя диагностика сложных гетерогенных опухолей и, как результат, – более точно подобранное лечение [23].

Оцифровать и проанализировать при помощи нейросети возможно не только радиологические изображения, но и гистологические препараты. Клеточные компоненты окрашиваются определенным образом на тончайшем срезе, а затем анализируются при микроскопировании. Также на препарате определяются протяженность и характер патологических изменений в клетках. Эти признаки фиксируются на цифровом слайде, что делает возможным их дальнейшее изучение. Высококачественные нейросети и инновационное программное обеспечение помогают врачу анализировать сделанный с гистосреза цифровой слайд. Нейронные сети автоматически маркируют ткань и пишут потенциальный диагноз, что значительно ускоряет процесс постановки диагноза, делает его более точным и уменьшает риск врачебной ошибки в десятки раз [24]. Помимо этого врач может просматривать цифровое изображение, перемещаясь по слайду на экране монитора благодаря технологии WSI – визуализации всего слайда. При раке предстательной железы (РПЖ) после оцифровки изображения гистологического среза нейросеть точно определяет показатель Глисона, который имеет большую прогностическую ценность. Следует отметить, что на гистологическом срезе имеются так называемые зоны интереса, в которых наиболее выражены патологические изменения. Нейросеть делает разметку изображения и указывает характерные признаки определенного состояния [25].

Точность и качество диагностики и лечения рака растут по мере развития компьютерных технологий и биотехнологий. Наибольшие успехи достигнуты в области геномных технологий. Они способствуют развитию таргетной и прецизионной медицины, позволяющей адаптировать лечение к персонализированным данным каждого пациента согласно его генетическим, биомаркерным и фенотипическим характеристикам. В то же время они совершенствуют предиктивную медицину, приспособив ее ко всей субпопуляции людей с похожими характеристиками [26].

Роль ИИ в диагностике и лечении злокачественных опухолей мочеполовой системы

ИИ начинает активно использоваться во всех областях онкоурологии. Быстрый рост публикаций за последнее десятилетие в данном направлении убедительно свидетельствует об этом. Большой интерес представляет мировая научная

информация о достижениях в данной области медицины, о целях и задачах, которые она перед собой ставит, а также их инновационных решениях.

Рак предстательной железы. Закономерно, что наибольшее количество информации проанализировано по РПЖ, который является одной из наиболее частых онкопатологий у мужчин как в России, так и за рубежом. Поэтому задачи ранней диагностики и своевременного и точного лечения являются наиболее приоритетными.

Заслуживает интерес работа И.Р. Аюпова и соавт., которые разработали нейросетевой алгоритм для постановки диагноза РПЖ. Учеными на базе Neural Network Toolbox Matlab построена обученная на базе экспериментальных знаний математическая модель. Клинические и патологические характеристики 220 пациентов перед проведением операции являлись входными переменными. Также для обучения и тестирования нейросети использовали результаты лечения согласно стадии злокачественного процесса. Обученная нейронная сеть протестирована на 64 пациентах ГБУЗ «ММНKC им. С.П. Боткина». Ученые подтвердили увеличение достоверности прогнозирования РПЖ на 14%. Авторы отметили точное соответствие реальным медицинским параметрам и расчетов нейросети. Ими созданы программное обеспечение Urostat, а также алгоритм лечения РПЖ в медицинском учреждении в зависимости от стадии онкологического процесса [27].

На сегодняшний момент в Российской Федерации насчитывается около 50 различных ИИ-систем, работающих в области медицины и здравоохранения. Такие как Celsus, Botkin.ai, RADLogics, Доктор Томо, Doctor Alzimov, OneCell, PathVision.ai, Onqueta и др., работают в области онкологии.

На базе платформы PathVision.ai создана нейросеть, которая помогает анализировать состояние клеток предстательной железы на гистопрепаратах. Технология стала возможной благодаря колоссальному массиву накопленных больших данных, полученных при исследовании гистосрезов при РПЖ и использованных для глубокого машинного обучения. PathVision.ai предлагает свою инновационную разработку – конволюционные нейросети. Они построены на алгоритме SkipNet. Это DL с конволюционными сетями 34 уровней, прошедшее валидационное, тестовое и тренировочное обучение на датасетах, включающих многомиллионный массив данных, сформированных из 22 тыс. категорий. Практическое значение предлагаемой сети заключается в ранней диагностике и типизировании РПЖ по Глисона. Также нейросеть проводит разметку на гистопрепаратах, выявляя целый ряд заболеваний предстательной железы, включая простатическую интраэпителиальную неоплазию, которая считается предраковым состоянием [25].

В 2020 г. в РФ началось создание цифровой платформы OneCell. Целью проекта стало создание цифрового программно-аппаратного комплекса, имеющего три составляющих: оборудование, инструменты ИИ и платформу для телемедицины. ИИ больших данных нового программного обеспечения ускоряет работу врача гистоморфолога в 10 раз, моментально идентифицирует патологию гистосреза, одновременно делая более точной постановку диагноза. В планах компании – объединение в единый национальный диагностический цифровой хаб всех медицинских онкологических учреждений, начиная от мелких региональных лабораторий и заканчивая крупными онкологическими центрами, которые будут использовать технологию ИИ и накопленную информацию больших данных [28].

Интересно отметить новый IT-продукт Onqueta. Он относительно недавно протестирован на базе лаборатории молекулярно-генетических исследований Медицинского института им. Сергея Березина и находится в стадии разработки. Данный алгоритм имеет возможность оценить вероятность герминального наследования рака. Высокий риск наследственной предрасположенности к онкологии ИИ поможет установить посредством простого тестирования. В 2022 г. протестирован при помощи Onqueta 1551 пакет из базы данных «Наследственные онкологические синдромы в Российской

Федерации». Выделены две когорты: пациенты с патогенными мутациями (731 человек) и с низкой вероятностью герминальных мутаций (820 человек). «Приложение имеет чувствительность 94% и специфичность 97,5%» [29].

На таких медицинских научных платформах, как PubMed и Medline, демонстрируются многочисленные научные публикации, представляющие собой как обзоры по использованию ИИ в онкоурологии [30, 31], так и оригинальные исследовательские статьи.

P. Ström и соавт. предложили методику, основанную на глубоком машинном обучении, для точной идентификации и типизирования РПЖ по шкале Глисона. Модель прошла обучение приблизительно на 7 тыс. оцифрованных слайдов, сделанных из опухолевых гистосрезов примерно 1 тыс. мужчин и протестирована на более чем 1,5 тыс. образцов биопсий, сделанных у 246 пациентов. Ученый показал точность 0,997 (AUC) для дифференциации злокачественной и доброкачественной опухолей. Результаты оценки по шкале Глисона коррелировали с результатами, представленными гистологами [32].

Также отмечено применение ИИ в лечении РПЖ. По статистике, примерно у 20% больных возникает выраженная токсичность при проведении ХТ доцетакселем, который является препаратом 1-й линии терапии метастатического кастрасторезистентного РПЖ (мКРРПЖ). K. Deng и соавт. при помощи ИИ создали алгоритм для определения пациентов, которые плохо переносят применение данного препарата. В исследованиях ученые использовали данные, взятые у 1600 больных мКРРПЖ. ИИ обучали на 78 показателях: ими стали лабораторные параметры, данные о метастазах, клинические особенности больного и история болезни. Ученые интегрировали статус выживаемости и тяжесть нежелательных явлений в свою модель. Предложенный метод является инновационным способом дополнения и стратификации информации о прекращении лечения. Биомаркеры критической стратификации дополнительно идентифицированы при определении прекращения лечения. Предложенная модель обладает большим потенциалом для улучшения будущего персонализированного лечения при мКРРПЖ [33].

F. Porriglia и соавт. предложили модель ИИ, которую можно использовать при хирургическом лечении РПЖ. Она помогает эффективному интраоперационному выявлению экстракапсулярного прорастания опухоли в сосудисто-нервный пучок при выполнении радикальной простатэктомии [34]. Перед проведением операции делают магнитно-резонансные изображения предстательной железы, которые затем используются в виде трехмерного (3D) изображения во время роботизированной простатэктомии. Хирург во время проведения операции видит зону предстательной железы, пораженную опухолью, в 3D-реконструкции. Этот метод также потенциально может использоваться в качестве вспомогательного средства при роботизированной резекции почки, особенно при эндофитных или дорсально расположенных опухолях. Этот тип интраоперационной навигации с визуализацией может помочь избежать положительного края хирургического разреза и максимизировать сохранение органа [35].

Злокачественные опухоли яичка. Научных работ, описывающих применение ИИ при опухолях яичка, недостаточно. B. Baessler и соавт. предложили использовать КТ в основе ML для диагностики возможного метастатического поражения лимфоузлов при злокачественных новообразованиях яичка. С помощью предложенной методики лимфатические узлы идентифицировали как метастатические или неизмененные перед проведением лимфаденэктомии пациентам, получившим ХТ в связи с распространенной формой заболевания. Модель дала правильную классификацию с точностью 0,81 (площадь под ROC-кривой – AUC), чувствительностью 88% и специфичностью 72% [36].

Рак мочевого пузыря. Прогнозированием прогрессирования РМП при помощи цифровых технологий занимался целый ряд авторов. Исследования J. Catto и соавт. представили сравнительный анализ нейро-нечеткого моделирования (NFM), искусственных нейронных сетей (ANN) и традиционных

статистических методов при прогнозировании клинического течения РМП. NFM – это разновидность методов ИИ, моделирование, имеющее прозрачный функциональный слой и лишенное многих недостатков ANN. В когорте из 109 пациентов с диагнозом РМП изучены экспериментальные молекулярные биомаркеры, включая p53 и белки репарации несоответствия, а также обычные клинично-патологические данные. Для используемых методов созданы модели для прогнозирования наличия и сроков рецидива опухоли. Методы ИИ предсказали рецидив с точностью от 88 до 95%. Данные показатели превосходили статистические методы исследования (71–77%; $p < 0,0006$). NFM оказался более точным методом, чем ANN, в прогнозировании сроков рецидива ($p = 0,073$) [37].

Также показательным стало другое исследование: M. Abbod и соавт. сравнили NFM, ANN и традиционные статистические методы для прогнозирования РМП. В когорте больных РМП (117 человек) исследованы молекулярные биомаркеры, включая экспрессию p53 и метилирование генов и обычные клинично-патологические параметры. Методы ИИ предсказали прогрессирование с точностью 88–100%. Этот результат оказался намного точнее логистической регрессии [38].

J. Satto и соавт. разработали новый метод анализа микрочипов экспрессии генов, объединяющий две формы ИИ – NFM и ANN – и проверили его в когорте пациентов с РМП. Ученые использовали ИИ и статистический анализ для идентификации генов, которые являлись связанными с развитием опухоли. Набор данных микрочипов взят из 66 опухолей с количеством генов 2800. Затем отобранные с помощью ИИ гены исследованы во 2-й когорте пациентов (262 человека) с использованием иммуногистохимии. ИИ идентифицировал 11 генов развития рака (отношение шансов 0,70, 95% доверительный интервал 0,56–0,87; $p = 0,0004$). В группе статистического анализа отношение шансов составило 1,24, 95% доверительный интервал 0,96–1,60; $p = 0,09$. Экспрессию шести отобранных с помощью ИИ генов (*LIG3*, *FAS*, *KRT18*, *ICAM1*, *DSG2* и *BRCA2*) определяли с использованием антител, и успешно идентифицировали прогрессирование опухоли (индекс соответствия 0,66; логарифмический ранговый тест $p = 0,01$). Выбранные ИИ гены более точно определяли агрессивное развитие РМП, чем патологические критерии при определении прогрессирования (многомерный анализ Кокса $p = 0,01$) [39].

A. Woerl и соавт. провели интересное исследование при мышечно-инвазивном РМП. Недавно идентифицированы молекулярные подтипы уротелиального рака, определяющие течение и прогноз заболевания. Авторы попытались на основе DL предсказать молекулярный подтип образцов РМП при помощи стандартной гистоморфологии. Модель обучали на данных двух когорт больных РМП: 407 случаев с уротелиальной карциномой мочевого пузыря Cancer Genome Atlas и 16 случаев с пациентами с первично удаленным мышечно-инвазивным РМП. В результате для обучения, тестирования и валидации алгоритма DL для прогнозирования молекулярного подтипа использовали 423 оцифрованных изображения. Модель DL показала большую точность и производительность, чем эксперты-гистоморфологи. Различные методы визуализации гистосрезов, окрашенных гематоксилином и эозином, позволили авторам определить новые гистопатологические особенности, которые оказались наиболее релевантны их модели. DL может быть использовано для прогнозирования важных молекулярных особенностей у больных мышечно-инвазивным РМП только по анализу слайдов, значительно увеличивая потенциал клинического ведения этого заболевания [40].

Рак почки (РП) является наиболее летальным видом злокачественных новообразований в онкоурологии. У 25% больных наблюдается развитие метастатического процесса. Дифференциация РП по видам имеет большое диагностическое и терапевтическое значение, так как существуют различия в факторах прогнозирования и лечения различных подтипов [31].

Алгоритмы ML и DL, основанные на КТ-текстурном анализе, применялись для дифференциации у целого ряда

исследователей. Авторы ставили своей задачей предсказать ядерную степень и идентифицировать определенные генетические мутации для диагностики, прогнозирования рецидива и выживаемости [41]. Например, В. Косак и соавт. использовали метод ML, в основе которого лежал КТ-текстурный анализ. Авторы прогнозировали и идентифицировали ядерную степень по Фурману светлоклеточного РП и сравнивали показатели с результатами чрескожной биопсии. Максимальную прогностическую значимость показал обученный алгоритм, он различал ядерные степени в 85,1% случаев светлоклеточного РП [42].

Китайские ученые F. Lin и соавт. разработали модель ML, способную предсказывать степень Фурмана при светлоклеточном РП с различной степенью злокачественности. В основе обучения они использовали одно- и трехфазную КТ с отмеченной зоной интереса. Модель, основанная на трехфазной КТ, оказалась более эффективной (AUC 0,87) и достигла наилучших диагностических показателей для дифференциации светлоклеточного РП низкой и высокой степени злокачественности. При использовании классификаторов, основанных на специфике каждой отдельной фазы: предстрастной – AUC 0,84, кортикомедулярной – AUC 0,80 и нефрографической – AUC 0,82 [43].

Помимо диагностики ИИ может быть использован для оптимизации стратегии лечения РП. A. Buchner и соавт. предложили модель, основанную на искусственной нейронной сети, обученную на множестве параметров, включая возраст больного, индекс массы тела, гистологические параметры и лечение. Используя эти данные, алгоритм смог точно предсказать 36-месячную выживаемость пациентов в соответствии с различными типами терапии с точностью 91% в валидационной когорте [44].

Заключение

Цифровизация медицины за последнее десятилетие получила значительное развитие. Этому способствовало накопление огромного массива медицинской информации, появление больших цифровых платформ, инновационных цифровых технологий и оборудования: графических процессоров, микроскопов, компьютеров огромной мощности, различных датчиков, координированных с ними приборов, предназначенных для медицинских учреждений, и всевозможных гаджетов для индивидуального применения. ИИ имеет огромные потенциальные возможности для использования в медицинской сфере. Поэтому внимание специалистов в настоящее время сосредоточено на разработке различных моделей ИИ: ML, ANN и DL. Имитируя когнитивные человеческие способности, они способны решать сложные медицинские проблемы, такие как ранняя диагностика, лечение и профилактика рака. Огромная генетическая и эпигенетическая вариабельность рака делает его одним из сложнейших и многогранных заболеваний, представляющим значительные трудности для изучения. Системный подход на основании больших данных, моделей и инструментов ИИ создает колоссальный исследовательский потенциал во всех сферах онкологической практики, включая онкоурологию.

Раскрытие интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure of interest. The author declares that he has no competing interests.

Вклад автора. Автор декларирует соответствие своего авторства международным критериям ICMJE.

Authors contribution. The author declares the compliance of his authorship according to the international ICMJE criteria.

Источник финансирования. Автор декларирует отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The author declares that there is no external funding for the exploration and analysis work.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Цветкова Л.А., Черченко О.В. Технология больших данных в медицине и здравоохранении России и мира. *Врач и информационные технологии*. 2016;3. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-bolshih-dannyh-v-medsine-i-zdravooxranenii-rossii-i-mira>. Ссылка активна на 29.04.2023 [Tsvetkova LA, Cherchenko OV. Big data technology in medicine and healthcare in Russia and the world. *Doctor and Information Technology*. 2016;3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-bolshih-dannyh-v-medsine-i-zdravooxranenii-rossii-i-mira>. Accessed: 29.04.2023 (in Russian)].
2. Корнев М.С. История понятия «большие данные» (Big Data): словари, научная и деловая периодика. *Вестник РГТУ. Серия: Литературоведение. Языкознание. Культурология*. 2018;1:34. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-ponyatiya-bolshie-dannye-big-data-slovari-nauchnaya-i-delovaya-periodika>. Ссылка активна на 27.04.2023 [Kornev MS. History of the concept of "big data": dictionaries, scientific and business periodicals. *Bulletin of the Russian State University for the Humanities. Series: Literary studies. Linguistics. Cultural studies*. 2018;1:34 Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-ponyatiya-bolshie-dannye-big-data-slovari-nauchnaya-i-delovaya-periodika>. Accessed: 27.04.2023 (in Russian)].
3. Vci C, Tekinerdogan B, Athanasiadis IN. Software architecture for big data: a systematic literature review. *Big Data Anal.* 2020;5. DOI:10.1186/s41044-020-00045-1
4. Гусев А.В., Владимирский А.В., Голубев Н.А., Зарубина Т.В. Информатизация здравоохранения Российской Федерации: история и результаты развития. *Национальное здравоохранение*. 2021;3. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatizatsiya-zdravooxraneniya-rossiyskoy-federatsii-istoriya-i-rezultaty-razvitiya>. Ссылка активна на 27.04.2023 [Gusev AV, Vladimirsky AV, Golubev NA, Zarubina TV. Informatization of healthcare in the Russian Federation: history and results of development. *National Healthcare*. 2021;3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatizatsiya-zdravooxraneniya-rossiyskoy-federatsii-istoriya-i-rezultaty-razvitiya>. Accessed: 27.04.2023 (in Russian)].
5. Povorina AV, Kosinova NN. Digitalization of Healthcare: Domestic and Foreign Experience, Development Trends. 2019. DOI:10.2991/aebmr.c.201205.111
6. Applied Big Data Analytics: Evolution, Platforms & Tools, Use cases, Benefits, Impact and Paradox' (Big Data Analytics-Series-3 Book 1) Kindle Edition. 2015.
7. Пилецкая А.В. Искусственный интеллект и большие данные. *Молодой ученый*. 2019;50(288):20-2. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/288/65241/>. Ссылка активна на 27.04.2023 [Piletskaya AV. Artificial Intelligence and Big Data. *Young Scientist*. 2019;50(288):20-2. Available at: <https://moluch.ru/archive/288/65241/>. Accessed: 27.04.2023 (in Russian)].
8. Искусственный интеллект: его возможности и виды, развитие и использование. Режим доступа: <https://lpgenerator.ru/blog/chto-takoe-iskusstvennyj-intellekt/>. Ссылка активна на 27.04.2023 [Artificial intelligence: its capabilities and types, development and use. Available at: <https://lpgenerator.ru/blog/chto-takoe-iskusstvennyj-intellekt/>. Accessed: 27.04.2023 (in Russian)].
9. Iqbal MJ, Javed Z, Sadia H, et al. Clinical applications of artificial intelligence and machine learning in cancer diagnosis: looking into the future. *Cancer Cell Int*. 2021;21:270. DOI:10.1186/s12935-021-01981-1
10. Сивцов С.Э. Эпистемологические вызовы эпохи Больших данных. *МЕТОД: Московский ежегодник трудов из общественных дисциплин*. 2015;5. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/epistemologicheskie-vyzovy-epochi-bolshih-dannyh>. Ссылка активна на 29.04.2023 [Sivtsov SE. Epistemological challenges of the Big Data era. *METHOD: Moscow yearbook of works from social science disciplines*. 2015;5. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/epistemologicheskie-vyzovy-epochi-bolshih-dannyh>. Accessed: 29.04.2023 (in Russian)].
11. Гусев А.В., Зингерман Б.В., Тюфилин Д.С., Зинченко В.В. Электронные медицинские карты как источник данных реальной клинической практики. *Реальная клиническая практика: данные и доказательства*. 2022;2(2):8-20 [Gusev AV, Zingerman BV, Tyufilin DS, Zinchenko VV. Electronic medical records as a source of real-world clinical data. *Real-World Data & Evidence*. 2022;2(2):8-20 (in Russian)]. DOI:10.37489/2782-3784-myrwd-13
12. Никитин П.В., Мурадянц А.А., Шостак Н.А. Мобильное здравоохранение: возможности, проблемы, перспективы. *Клиницист*. 2015;4. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnoe-zdravooxranenie-vozmozhnosti-problemy-perspektivy>. Ссылка активна на 06.05.2023 [Nikitin PV, Muradyants AA, Shostak NA. Mobile healthcare: opportunities, problems, prospects. *Clinician*. 2015;4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnoe-zdravooxranenie-vozmozhnosti-problemy-perspektivy>. Accessed: 06.05.2023 (in Russian)].
13. Suter-Crazzolara C. Better Patient Outcomes through Making of Biomedical Big Data, *Frontiers in ICT*. 2018;5. DOI:10.3389/fict.2018.00030
14. Литвин А.А., Буркин Д.А., Кропинов А.А., Парамзин Ф.Н. Радиомика и анализ текстур цифровых изображений в онкологии (обзор). *Современные технологии медицины*. 2021;2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/radiomika-i-analiz-tekstur-tsifrovyyh-izobrazheniy-v-onkologii-obzor>. Ссылка активна на 06.05.2023 [Litvin AA, Burykin DA, Kropinov AA, Paramzin FN. Radiomics and texture analysis of digital images in oncology (review). *Modern Technologies of Medicine*. 2021;2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/radiomika-i-analiz-tekstur-tsifrovyyh-izobrazheniy-v-onkologii-obzor>. Accessed: 06.05.2023 (in Russian)].
15. Willems S, Abeln S, Feenstra K, et al. The potential use of big data in oncology. *Oral Oncol*. 2019;98:8-12. DOI:10.1016/j.oraloncology.2019.09.003
16. Карпов О.З., Субботин С.А., Шишканов Д.В. Использование медицинских данных для создания систем поддержки принятия врачебных решений. *Врач и информационные технологии*. 2019;2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-medsinskih-dannyh-dlya-sozdaniya-sistem-podderzhki-prinyatiya-vrachebnyh-resheniy>. Ссылка активна на 06.05.2023 [Karpov OE, Subbotin SA, Shishkanov DV. Using medical data to create systems to support medical decision-making. *Doctor and Information Technology*. 2019;2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-medsinskih-dannyh-dlya-sozdaniya-sistem-podderzhki-prinyatiya-vrachebnyh-resheniy>. Accessed: 06.05.2023 (in Russian)].
17. Mayer MA, Heinrich AG, Sasaki F, et al. Big Data Technologies in Healthcare. Needs, opportunities and challenges. *Big Data Value Association (BDVA)*. 2016. DOI:10.13140/RG.2.2.35249.89448
18. Костюк С.А. Предиктивная медицина и методы генетического тестирования. *Медицинские новости*. 2016;4(259). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/prediktivnaya-medsina-i-metody-geneticheskogo-testirovaniya>. Ссылка активна на 06.05.2023 [Kostyuk SA. Predictive medicine and methods of genetic testing. *Medical News*. 2016;4(259). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/prediktivnaya-medsina-i-metody-geneticheskogo-testirovaniya>. Accessed: 06.05.2023 (in Russian)].
19. Wan N, Weinberg D, Liu T-Y, et al. Machine learning enables detection of early-stage colorectal cancer by whole-genome sequencing of plasma cell-free DNA. *BMC Cancer*. 2019;19(1):832.
20. Anzar I, Sverchkova A, Stratford R, Clancy T. NeoMutate: an ensemble machine-learning framework for the prediction of somatic mutations in cancer. *BMC Med Genomics*. 2019;12(1):63.
21. Новикова Е.И., Снигирева Г.П. Секвенирование «Нового поколения» (NGS): применение для молекулярно-генетических исследований в онкологии. *Вестник РНЦПР*. 2016;1. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sekvenirovanie-novogo-pokoleniya-ngs-primenenie-dlya-molekulyarno-geneticheskikh-issledovaniy-v-onkologii>. Ссылка активна на 07.05.2023 [Novikova EI, Snigireva GP. New Generation Sequencing (NGS): Application for Molecular Genetic Research in Oncology. *Bulletin of the Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology*. 2016;1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sekvenirovanie-novogo-pokoleniya-ngs-primenenie-dlya-molekulyarno-geneticheskikh-issledovaniy-v-onkologii>. Accessed: 07.05.2023 (in Russian)].
22. Бархатов И.М., Предеус А.В., Чухловин А.Б. Секвенирование нового поколения и области его применения в онкогематологии. *Онкогематология*. 2016;4. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sekvenirovanie-novogo-pokoleniya-i-oblasti-ego-primeneniya-v-onkogematologii>. Ссылка активна на 07.05.2023 [Barkhatov IM, Predeus AV, Chuklovin AB. Next-generation sequencing and its applications in oncohematology. *Oncohematology*. 2016;4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sekvenirovanie-novogo-pokoleniya-i-oblasti-ego-primeneniya-v-onkogematologii>. Accessed: 07.05.2023 (in Russian)].
23. Огнерубов Н.А., Шатов А.В., Шатов И.А. Радиогеномика и радиомика в диагностике злокачественных опухолей: обзор литературы. *Вестник российских университетов. Математика*. 2017;6-2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/radiogenomika-i-radiomika-v-dagnostike-zlokachestvennyh-opuholey-obzor-literatury>. Ссылка активна на 06.05.2023 [Ognerubov NA, Shatov AV, Shatov IA. Radiogenomics and radiomics in the diagnostics of malignant tumors: a literature review. *Bulletin of Russian Universities. Mathematics*. 2017;6-2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/radiogenomika-i-radiomika-v-dagnostike-zlokachestvennyh-opuholey-obzor-literatury>. Accessed: 06.05.2023 (in Russian)].
24. Врач, рак и нейросеть. Как применяется искусственный интеллект в онкодиагностике. 2018. Режим доступа: <https://sk.ru/news/vrach-rak-i-neyroset-kak-primenyaetsya-iskusstvennyy-intellekt-v-onkodiagnostike/>. Ссылка активна на 13.05.2023 [Doctor, cancer and neural network. How artificial intelligence is used in oncodiagnostics. 2018. Available at: <https://sk.ru/news/vrach-rak-i-neyroset-kak-primenyaetsya-iskusstvennyy-intellekt-v-onkodiagnostike/>. Accessed: 13.05.2023 (in Russian)].

25. Как нейросети помогают бороться с раком. Режим доступа: <https://vc.ru/ml/130227-kak-neyroseti-pomogayut-borotsya-s-rakom>. Ссылка активна на 07.06. 2023 [How neural networks help fight cancer. Available at: <https://vc.ru/ml/130227-kak-neyroseti-pomogayut-borotsya-s-rakom>. Accessed: 07.06. 2023 (in Russian)].
26. Аксенова Е.И., Горбатов С.Ю. Анализ программ и инициатив в области предиктивной медицины, таргетной профилактики и риск-профилирования пациентов. М.: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ, 2022. Режим доступа: <https://niiroz.ru/moskovskaya-medsina/izdaniya-nii/obzory>. Ссылка активна на 14.09.2024 [Aksenova EI, GorbatoV SYu. Analysis of programs and initiatives in the field of predictive medicine, targeted prevention and risk profiling of patients M.: State Budgetary Institution "Research Institute of Health Protection of the City of Moscow, 2022. Available at: <https://niiroz.ru/moskovskaya-medsina/izdaniya-nii/obzory>. Accessed: 14.09.2024 (in Russian)].
27. Аюпов И.Р., Гончаров В.А., Лукьянов И.В. Нейросетевой метод для прогнозирования состояния больного. *Известия вузов. Электроника*. 2013;5(103). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyrosete-voy-metod-dlya-prognirovaniya-sostoyaniya-bolnogo>. Ссылка активна на 08.05.2023 [Ayupov IR, Goncharov VA, Lukyanov IV. Neural network method for predicting the patient's condition. *News of universities. Electronics*. 2013;5(103). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyrosete-voy-metod-dlya-prognirovaniya-sostoyaniya-bolnogo>. Accessed: 08.05.2023 (in Russian)].
28. OneCell – комплексная платформа с ИИ для диагностики онкозаболеваний. 2021. Режим доступа: <https://vc.ru/tribuna/219204-onecell-kompleksnaya-platforma-s-ii-dlya-diagnostiki-onkozabolevaniy>. Ссылка активна на 13.05.2023 [OneCell – a comprehensive AI platform for cancer diagnostics. 2021. Available at: <https://vc.ru/tribuna/219204-onecell-kompleksnaya-platforma-s-ii-dlya-diagnostiki-onkozabolevaniy>. Accessed: 13.05.2023 (in Russian)].
29. Погонцева Е. В России разработали IT-решение для выявления людей с высоким онкологическим риском. *Медвестник*. 2022. Режим доступа: <https://medvestnik.ru/content/news/V-Rossii-razrabotali-IT-reshenie-dlya-vyyavleniya-ludei-s-vysokim-onkologicheskim-riskom.html>. Ссылка активна на 13.05.2023 [Pogontseva E. Russia has developed an IT solution to identify people with a high cancer risk. *Medvestnik*. 2022. Available at: <https://medvestnik.ru/content/news/V-Rossii-razrabotali-IT-reshenie-dlya-vyyavleniya-ludei-s-vysokim-onkologicheskim-riskom.html>. Accessed: 13.05.2023 (in Russian)].
30. Shah M, Naik N, Somani BK, Hameed BMZ. Artificial intelligence (AI) in urology-Current use and future directions: An iTRUE study. *Turk J Urol*. 2020;46(Suppl. 1): S27-S39.DOI:10.5152/tud.2020.20117
31. Pai RK, Van Booven DJ, 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):152-162.
32. Ström P, Olsson H, Solorzano L, et al. Artificial intelligence for diagnosis and grading of prostate cancer in biopsies: a population-based, diagnostic study. *Lancet Oncol*. 2020;21:222-32. DOI:10.1016/S1470-2045(19)30738-7
33. Deng K, Li H, Guan Y. Treatment Stratification of Patients with Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer by Machine Learning. *iScience*. 2020;23(2):100804. DOI:10.1016/j.isci.2019.100804
34. Porpiglia F, Checcucci E, Amparore D, et al. Augmented-reality robot-assisted radical prostatectomy using hyper-accuracy three-dimensional reconstruction (HA3D™) technology: a radiological and pathological study. *BJU Int*. 2019;123(5):834-45. DOI:10.1111/bju.14549.
35. Alexa R, Kranz J, Kuppe C, et al. Künstliche Intelligenz in der Urologie – Chancen und Möglichkeiten. *Urologie*. 2023;62(4):383-8. DOI:10.1007/s00120-023-02026-3
36. Baessler B, Nestler T, Pinto dos Santos D, et al. Radionics 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*. 2020;30:2334-45. DOI:10.1007/s00330-019-06495-z
37. Catto JW, Linkens DA, Abbod MF, et al. Artificial intelligence in predicting bladder cancer outcome: a comparison of neuro-fuzzy modeling and artificial neural networks. *Clin Cancer Res*. 2003;9(11):4172-7.
38. Abbod MF, Linkens DA, Catto JW, Hamdy FC. Comparative study of intelligent models for the prediction of bladder cancer progression. *Oncol Rep*. 2006;15 Spec no.:1019-22. DOI:10.3892/or.15.4.1019
39. Catto JW, Abbod MF, Wild PJ, et al. The application of artificial intelligence to microarray data: identification of a novel gene signature to identify bladder cancer progression. *Eur Urol*. 2010;57(3):398-406. DOI:10.1016/j.eururo.2009.10.029
40. Woerl AC, Eckstein M, Geiger J, et al. Deep Learning Predicts Molecular Subtype of Muscle-Invasive Bladder Cancer from Conventional Histopathological Slides. *Eur Urol*. 2020;78(2):256-64. DOI:10.1016/j.euro.2020.04.023
41. Coy H, Hsieh K, Wu W, et al. Deep learning and radiomics: the utility of Google TensorFlow™ Inception in classifying clear cell renal cell carcinoma and oncocytoma on multiphasic CT. *Abdom Radiol (NY)*. 2019;44(6):2009-20. DOI:10.1007/s00261-019-01929-0
42. Kocak B, Yardimci AH, Bektas CT, 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;107:149-57. DOI:10.1016/j.ejrad.2018.08.014
43. Lin F, Cui EM, Lei Y, Luo LP. CT-based machine learning model to predict the Fuhrman nuclear grade of clear cell renal cell carcinoma. *Abdom Radiol (NY)*. 2019;44(7):2528-34. DOI:10.1007/s00261-019-01992-7
44. Buchner A, Kendlbacher M, Nun P, et al. Outcome assessment of patients with metastatic renal cell carcinoma under systemic therapy using artificial neural networks. *Clin Genitourin Cancer*. 2012;10(1):37-42. DOI:10.1016/j.clgc.2011.10.001

Статья поступила в редакцию / The article received: 25.10.2024

Статья принята к печати / The article accepted for publication: 06.06.2025



OMNIDOCTOR.RU