

*Д.Е. Кульбакин^{1,2}, Е.Л. Чойнзонов^{1,2}, И.В. Толмачев^{3,4}, Ю.В. Стариков⁵,
Е.Г. Старикова³, И.С. Каверина³*

Искусственный интеллект в онкологии: области применения, перспективы и ограничения

¹ ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН», г. Томск

² ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», г. Томск

³ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет», г. Томск

⁴ Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения, Москва

⁵ Областное государственное автономное учреждение здравоохранения «Томская областная клиническая больница», г. Томск

Современная медицина и онкология, в частности, находятся в шаге от широкого внедрения искусственного интеллекта в повседневную врачебную практику. В статье описаны наиболее удачные проекты, демонстрирующие участие искусственного интеллекта в диагностике и прогнозировании течения онкологических заболеваний. Проанализированы существующие системы принятия врачебных решений, включающие модули диагностики онкологических заболеваний на основе нейронных сетей. Впервые показаны ограничения применения искусственного интеллекта в онкологии и описаны способы их преодоления. Методы искусственного интеллекта доказали свою эффективность при анализе изображений (рентгеновских снимков, гистологических срезов) и могут применяться для поддержки принятия врачебных решений. Огромный массив накопленных знаний о молекулярно-биологической природе опухолей находит практическое применение для назначения лечения и прогноза течения заболевания за счет обработки алгоритмами машинного обучения. Искусственный интеллект может стать ключом к повышению эффективности оказания медицинской помощи при онкологических заболеваниях.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ранняя диагностика, генетические маркеры, системы принятия врачебных решений

Введение

Новые методы диагностики и лечения изменили отношение к онкологическим заболеваниям как к неизлечимой болезни. Раннее выявление рака является залогом к проведению эффективного лечения и сохранения жизни пациентов. В настоящее время продолжают исследования по поиску оптимальных методов лечения и наблюдения за онкологическими больными. Современная

клиническая онкология основывается на методах персонификации лечения с учетом многих параметров, как опухолевого процесса, так и состояния самого пациента. Определение той или иной схемы лечения является результатом глубокого анализа данных клинического обследования, в сопоставлении с накопленным мировым опытом в области лечения злокачественных опухолей.

Врачи-онкологи обычно полагаются на свои знания и опыт в обследовании пациентов и выявлении различных клинических проявлений заболевания, что позволяет им ставить тот или иной диагноз. Однако, точность подобного диагностического мышления может быть ограничена знаниями врача-специалиста, что в ряде случаев приводит к ошибочному диагнозу. Человеческому мозгу трудно сохранять и интегрировать в клинический процесс большие объемы информации. С этой задачей хорошо могут справиться системы искусственного интеллекта, которые способны обрабатывать огромные объемы данных. Методы машинного обучения могут обеспечить более точную диагностику различных опухолевых заболеваний благодаря эффективному обучению и тренировки на больших выборках. Таким образом, стало очевидным использование достижений в области нейронных сетей для оптимизации лечебных и диагностических мероприятий у онкологических больных [1].

Настоящий обзор посвящен изучению применения методов искусственного интеллекта в диагностике опухолевого процесса и лечения онкологических больных, а также факторам, ограничивающим использование алгоритмов нейронных сетей в онкологической практике.

1. Направления использования искусственного интеллекта в онкологии

В 2022 г., в рамках нацпроекта борьбы с онкологическими заболеваниями, продолжается внедрение новой модели организации оказания

медпомощи, основанной на использовании бережливых технологий и направленной на повышение эффективности внутренних процессов, эффективное использование ресурсов, повышение удовлетворенности пациентов доступностью и качеством получаемой медицинской помощи. Решение огромного числа проблем на пути достижения ожидаемого результата (повышение качества лечения онкологических больных, их реабилитация и излечение) будет затруднительным и менее эффективным без внедрения систем искусственного интеллекта в практику врача-онколога. Искусственный интеллект (ИИ) — современный подход, основанный на методах и алгоритмах, позволяющий проанализировать большие объемы данных и на их основе сгенерировать точный прогноз для данных, отсутствующих при проведении анализа. Основной характеристикой ИИ является способность принимать рациональные решения, подражая когнитивным способностям человека.

В настоящее время использование ИИ в онкологии сосредоточено вокруг нескольких направлений: 1) ранняя диагностика опухолевой патологии, основанная на анализе гистологических срезов, данных компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии с выявлением характерных для опухолевого процесса параметров; 2) подбор индивидуальной тактики лечения онкологических больных с учетом молекулярно-биологических особенностей опухоли; 3) поддержка принятия решений врача при лечении онкологических больных.

1.1 Использование методов ИИ для ранней диагностики опухолевой патологии

Использование глубокого машинного обучения в диагностике различных заболеваний путем анализа рентгенологических или гистологических цифровых снимков демонстрирует эффективность близкую, а в ряде случаев даже большую, чем экспертное мнение отдельно взятых рентгенологов или патологов.

Методики ИИ находят широкое применение при анализе рентгенологических снимков. В 2018 г. исследователи из медицинского колледжа Сеульского национального университета разработали алгоритм ИИ для анализа рентгенограмм грудной клетки и обнаружения патологических очагов, являющихся предраком или злокачественными процессами на ранних стадиях. Эффективность разработанного алгоритма сравнивалась на одних и тех же изображениях с мнением нескольких врачей, и было обнаружено что система превзошла 17 из 18 врачей [2].

Благодаря машинному обучению стало возможным по данным КТ и МРТ исследований

проводить четкую дифференциальную диагностику между опухолевым процессом и окружающим его воспалением или областью некроза (после лучевой терапии) [3]. В противном случае воспаление принималось за опухолевый процесс и трактовалось как прогрессия опухолевого процесса и приводило к смене эффективного лечения на другие режимы. ИИ также способен прогнозировать развитие лучевого поражения легких, мочевого пузыря и кишечника при проведении лучевой терапии по данным рентгенологических исследований (СКТ или МРТ) [4].

Сервис СберЗдоровье совместно с облачной платформой SberCloud в июле 2020 г. запустили проект по распознаванию снимков компьютерной томографии легких. Каждый желающий может загрузить свой КТ-снимок и получить его расшифровку в течение 10 мин. По заявлению разработчиков сервис ориентирован на выявление патологически измененных (воспаление) участков легочной ткани, определение характера изменений легочной ткани (матовое стекло и консолидация) и определение объема поражения легочной ткани в процентах [5].

Компания Botkin.AI [6] создала платформу с возможностью анализа пневмоний (в целях борьбы с Covid19), новообразований в легких, анализа данных маммографического скрининга, телерадиологии с использованием трех ключевых технологий. Первая — это собственно разработанная технология Botkin Learning, повышающая эффективность использования технологий ИИ для анализа изображений различных патологий за счет автоматизированных конвейеров машинного обучения, запускающихся при поступлении новых данных, которые в дальнейшем производят, проверяют и внедряют обновленные модели. Внедренный мета-алгоритм, по утверждению разработчиков, выбирает лучший вариант модели для конкретного набора данных. Вторым ключевым элементом технологии выступает Botkin HAI (Hybrid Intelligence), реализующий анализ медицинских изображений, комбинируя использование инструментов ИИ и экспертизу врачей. Он подразумевает процесс валидации врачами результатов работы ИИ и поддержку кросс-проверки результатов исследований группой врачей. Третья составляющая — Botkin Edge — программно-аппаратный комплекс для анализа медицинских изображений с возможностью размещения его в клинике, подключения к PACS или напрямую к источнику данных, имеет гибкую конфигурацию.

Другим направлением прикладного использования ИИ в интерпретации данных рентгенологического исследования является прогнозирование прогрессирования опухолевого процесса. Так по рентгенологическим характеристикам опухолевого процесса при помощи ИИ была

выстроена предсказательная модель развития дистанционных метастазов при раке легкого [4].

Накопление баз данных цифровых снимков различных гистологических срезов в развитых странах позволило применить глубокое машинное обучение к морфологической диагностике опухолевых заболеваний и рутинно ввести данный метод в клиническую практику. Система глубокого машинного обучения использовалась для определения глубины инвазии злокачественных опухолей предстательной железы. Точность данного метода составила 70%, что превосходит оценку патологов общего профиля [7].

Нейронные сети также были использованы при анализе изображений гистологических препаратов для выявления инфильтрирующих опухоль лимфоцитов ввиду их прогностической значимости для злокачественных новообразований различных локализаций (молочная железа, легкое, толстый кишечный) [8].

Исследователями из Google AI Healthcare был разработан алгоритм Lymph Node Assistant, способный анализировать гистологические образцы лимфатических узлов, с целью выявления метастатического их поражения при раке молочной железы. Чувствительность разработанного алгоритма на тестах составила 91%, в том числе, при обнаружении подозрительных участков, не различимых человеческим глазом [9].

Машинное обучение на основании большой базы морфологических срезов позволило получить метод диагностики опухолевого процесса без участия патолога, в краткие сроки и с точностью, не уступающей (а в ряде случаев даже и превышающей) точность эксперта. В ближайшем будущем глубокое машинное обучение станет важным инструментом поддержки работы врачей-патологов и рентгенологов, с целью повышения точности и эффективности гистологической и рентгенологической диагностики злокачественных новообразований [10].

Одним из примеров эффективного использования ИИ в клинической онкологии является высокоточный анализ изображений, полученных при дерматоскопии. Путем проводимого анализа, ИИ способен диагностировать различные опухолевые поражения кожи (включая меланому) на уровне экспертов-дерматологов с точностью до 96%. Данные программы могут быть установлены на смартфоны, что позволит проводить своевременную диагностику опухолевых поражений кожи среди широких слоев населения [11].

Также известен способ неинвазивной высокоэффективной диагностики онкологических заболеваний на основе анализа выдыхаемого воздуха с использованием мультисенсорного диагностического комплекса. Идея метода заключается в предварительном машинном обучении системы

улавливать летучие вещества в выдыхаемом воздухе характерные для онкологических больных и сопоставлять их с пробами воздуха, полученными от здоровых людей. В последующем, при скрининговом обследовании, данный метод позволяет выделять онкологических больных только по анализу выдыхаемого воздуха и направлять их на более точные, верифицирующие (биопсия) методы диагностики. Точность разработанного метода диагностики для рака легкого, гортани и орофарингеальной области составила 80,16% (чувствительность — 76,92%, специфичность 82,61%). Полученные результаты сопоставимы с точностью стандартных методов исследования (СКТ, МРТ) [12].

Подобные примеры использования ИИ в диагностике онкологических заболеваний еще раз показывают перспективность данного подхода и позволяют оптимизировать рабочее время специалистов путем снижения нагрузки.

1.2 Использование ИИ в области геномики опухолей

Основной задачей онкологии является точная классификация опухолей и разработка оптимальных методов лечения. Одним из важных подходов к классификации онкологических заболеваний является гистологическое исследование опухоли и изучение экспрессии молекулярных маркеров. Однако внутри одного гистологического типа опухоли существует значительная неоднородность. Изучение и выделение различных подтипов опухолей является перспективной работой в плане прогнозирования клинического течения и эффективности лечения. С развитием методик секвенирования генома и использования мощных компьютеров в анализе геномных данных онкологических больных стало возможным выявление от 1000 до 100 000 геномных мутаций для каждого типа опухоли. Однако необходимо установить связь каждой из этих мутаций с клиническими особенностями опухолевого процесса, что в настоящее время является актуальной задачей геномной медицины. То есть, необходимо связать выявленные геномные мутации с клиническими проявлениями определенных типов опухоли, эффективностью проводимого лечения и прогнозом. Примером базы данных, которая суммирует связь между вариацией генома и различными заболеваниями, является база COSMIC, составленная Центром Сэнгера. Обновленная база COSMIC, выпущенная в сентябре 2019 г., содержит информацию о 9 733 455 мутаций генов, полученных из 26 829 статей (источников информации) [13].

Так был продемонстрирован метаанализ лечения 6000 больных раком молочной железы,

на основании которого было идентифицировано 184 гена, связанных с онкологическим прогнозом при данной локализации опухоли. Использование полученных результатов в нейронных сетях позволит разработать персонализированный подход в лечении больных раком молочной железы с выделением групп риска и назначением соответствующего лечения [14].

Наглядным примером использования методик ИИ в геномике рака является разработанный алгоритм ExPecto, который способен связывать генетические мутации с прогнозом онкологического заболевания. Эта структура была построена с использованием всех общедоступных исследований геномных ассоциаций и была экспериментально подтверждена [15].

Также оценка уровня экспрессии генов с различными мутациями с помощью глубокого машинного обучения поможет расшифровать сложную этиологию злокачественных опухолей. Машинное обучение также может выявить новые молекулярные маркеры злокачественных опухолей. Так при помощи алгоритма ИИ выявлена регуляторная роль Fbxw7 (наиболее часто мутируемых E3 убиквитин-лигаз при раке) в окислительном метаболизме раковых клеток. Исследование показывает, что Fbxw7 играет важную роль в поддержании покоя и стабильности в раковых стволовых клетках. Результаты данного исследования могут дать важные подсказки для раскрытия метаболических характеристик раковых стволовых клеток [16]. Использование ИИ позволяет перевести морфологическую диагностику опухолей на новый уровень с более высокой точностью определения.

В одноцентровом исследовании, проведенном в Нидерландах, использовались системы поддержки принятия решений, основанные на ИИ, для определения двухлетней выживаемости пролеченных больных раком легкого. Для машинного анализа использовались входные данные (информация) учитывающие пол пациента, соматический статус, объем форсированного выдоха за 1 с, общий объем опухоли и количество метастатических лимфатических узлов. Прогнозы, сформированные данной системой, значительно превосходили прогнозы опытных онкологов и оценочную шкалу Рекомендации Европейской организации по исследованию и лечению рака (EORTC). Таким образом, нейронные сети способны найти альтернативные и высокоточные предикторы эффективности проводимого лечения и прогноза выживаемости онкологических больных, что приведет к новому импульсу в развитии клинической онкологии.

Использование ИИ в области геномики онкологических заболеваний должно быть нацелено на сопоставление имеющихся литератур-

ных данных о мутациях в генах с возможными клиническими проявлениями, эффективностью проведенного лечения и прогнозом (ретроспективное исследование). Очевидно, что для подобного глубокого и системного анализа необходима большая база данных онкологических больных, которым проведен подобный генетический анализ. С другой стороны, проведение подобного исследования без глубокого машинного обучения может занять долгое время и не исключает различных ошибок (человеческий фактор). Применение ИИ в онкологии, а в частности в области геномики онкологических заболеваний, позволит лучше классифицировать больных по агрессивности течения опухолевого процесса, ответу на проводимое лечение и ожидаемому онкологическому прогнозу. Данная информация предоставляется ИИ на основании глубокого обучения с учетом характерных молекулярно-биологических параметров опухоли и накопленному мировому опыту в их связи с исходами лечения. Такой дифференцированный подход в противоопухолевом лечении онкологических больных позволяет определять оптимальные режимы химиотерапии, а также выявлять больных с неблагоприятным прогнозом, которым показано более агрессивное противоопухолевое лечение. Развитие данного направления позволит получить новые знания об опухолевом процессе и накопить опыт персонализированного лечения онкологических больных.

1.3 Системы поддержки принятия врачебных решений на основе ИИ

На сегодняшний день ИИ является ключевым фактором в модернизации точной медицины. В 2018 г. облачная платформа Arterys была одобрена в США в качестве инструмента поддержки принятия решения врача при анализе данных МРТ и выявлении опухолей легких и печени. В США с 2019 г. активно развиваются стартапы (PAIGE.AI, Proscia и PathAI), использующие алгоритмы ИИ на основе глубокого машинного обучения для выявления и классификации по прогнозу различных видов злокачественных опухолей. На смену медицине, основанной на эмпирическом опыте, приходит подход, основанный на большой выборке фактических данных.

Вопросы поддержки принятия решений, основанные на ИИ, возникают в спорных ситуациях, при наличии нескольких правомочных мнений [17].

Care Mentor AI [18] представляет сервисную платформу лучевой диагностики на основе ИИ, а также систему поддержки принятия врачебных решений. Платформа определяет наличие/

отсутствие патологических изменений, а при наличии классифицирует их зоны и виды, после чего дает описание исследования. В настоящее время командой реализованы следующие направления: скрининг рентгенограммы органов грудной клетки, диагностика рака легкого по данным КТ, диагностика патологий молочной железы по данным маммографии. В разработке находятся проекты по анализу МРТ мозга и анализу рентгенологического исследования коленного сустава. В будущем коллектив планирует провести анализ данных ПЭТ КТ и расширить зоны исследования по анализу рентгеновских, КТ и МРТ изображений. Сейчас при загрузке рентгенологические изображения автоматически анализируются нейросетью с формированием протокола исследования Care Mentor AI. Для врача это дает возможность проверить свое мнение, а для пациента — провести альтернативный и независимый анализ рентгенограмм.

АНО «Третье Мнение» [19] предлагает систему предиктивной аналитики и управления рисками в здравоохранении на основе ИИ. К проектам организации относится распознавание патологий на гистологических и рентгенологических данных: рентгенографиях грудной клетки (обнаружение семиотических признаков на рентгенограммах и флюорограммах), морфологических исследованиях (классификация и подсчет клеток на оцифрованном мазке красного костного мозга).

Центр Диагностики и Телемедицины ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» [20] реализует проект «Единый радиологический информационный сервис» (ЕРИС) — эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа рентгенологических и гистологических данных в системе здравоохранения города Москвы. По данным на 20 июня 2022 г. в системе проанализировано 1 553 032 исследований, 1142 врачей оценивают результаты ИИ сервисов.

Первый официально зарегистрированный в России ИИ [21] реализует интеллектуальную систему поддержки принятия врачебных решений (ИСППВР) путем ее вызывания по необходимости при работе врача с электронной медицинской картой (ЭМК) пациента. При вызове команды медицинская информационная система отправляет пакет деперсонифицированных данных для анализа на платформу WEBIOMED, где происходит выявление факторов риска заболеваний и прогнозируется вероятность осложнений или даже смерти пациента, а также формируются индивидуальные рекомендации по предотвращению заболевания.

Система поддержки врачебных решений (СПВР) с использованием ИИ в онкологии по-

высит эффективность лечения и наблюдения за пациентом, обеспечит доступ к различным международным рекомендациям и позволит предотвращать нежелательные эффекты в лечении, а также снизит затраты на оказание медицинской помощи. СПВР предлагает различные варианты решения поставленной задачи, но только врач может критически подходить к анализу предоставленной информации и выбирать наиболее адекватное для каждой конкретной ситуации решение.

2. Ограничения и пути решения при использовании ИИ в онкологической практике

Американской компанией IBM в 2014 г. было образовано подразделение Watson Group, задачей которого является коммерциализация технологий когнитивных вычислений, а наиболее приоритетной сферой применения разрабатываемых технологий компания обозначила здравоохранение. Среди предлагаемых решений были Watson for Oncology, Watson for Clinical Trial Matching и др. Основной задачей Watson for Oncology было изучение истории болезни пациента и записей врачей, анализ актуальных исследований в заданном направлении и формирование предположительного диагноза на основе комплекса известных данных. Watson for Clinical Trial Matching было нацелено на сужение спектра всех возможных клинических исследований и быстрое определение потенциальных совпадений и поиска оптимального решения.

В августе 2018 г. появилась информация о том, что суперкомпьютер IBM Watson не оправдывает возложенных ожиданий, в то время как компания представляла его как инструмент поддержки принятия врачебных решений для врачей онкологического профиля в поиске оптимального курса терапии. По данным внутренних отчетов экспертов IBM, система часто предлагала ошибочные решения и был выявлен ряд примеров небезопасного и неправильного лечения, рекомендованных системой. После появления соответствующей информации в СМИ десятки клиентов вышли из онкологических проектов, развиваемых совместно с IBM Watson Health. Ретроспективные исследования показывают, что рекомендации IBM Watson совпадают с назначениями врачей только по определенным нозологическим формам рака [22].

В настоящее время основным препятствием широкого внедрения ИИ в клиническую онкологию является «закрытость» процесса принятия решения. Глубокое машинное обучение превратилось в «черный ящик», которое четко не объясняет процесс генерации выдаваемых решений.

Разработка подхода «белого ящика» в сфере ИИ в последнее время стала основной темой современных исследований в биомедицинской науке.

С другой стороны, основное ограничение использования ИИ при интерпретации рентгенологических снимков заключается в эффективности проведения машинного обучения, для чего нужны большие базы данных. Чаще всего объем базы данных рентгенологических снимков составляет менее 1 миллиона, что недостаточно для адекватного машинного обучения. Были разработаны несколько путей по решению данной проблемы. Так, увеличение объема базы данных возможно за счет процесса повторной обработки изображений, когда они случайным образом обрезаются, наклоняются, переворачиваются или сдвигаются, но без изменения характерных черт свойственных для данной патологии. Подобная работа была сделана при разработке системы анализа маммограмм. Вторым вариантом машинного обучения при небольшой выборке может стать повторное использование снимков из больших баз данных (например, ImageNet [23, 24]. Для решения проблем обучения алгоритмов ИИ необходимо создавать открытые базы данных снимков для общего пользования, что позволит создавать более надежные и эффективные алгоритмы машинного обучения.

Одной из нерешенных на сегодняшний день проблем в автоматическом гистопатологическом анализе является установление стандартных протоколов приготовления гистологических срезов. Различия в цветовой окраске гистологических срезов могут отличаться в разных медицинских учреждениях, что связано с техническими и методологическими особенностями (различия в реагентах для окрашивания, толщине среза и т. п.). Недавно были предложены программы для устранения этой проблемы. Некоторые автоматизированные программы на основе нейронных сетей (HistoQC и DeepFocus) были разработаны для стандартизации качества изображений всех срезов. В этом случае нейронная сеть принимает изображение в градациях серого в качестве входных данных, которое может быть сгенерировано на основе нормального изображения с окраской гематоксилином-эозином [25].

Таким образом ограничения применения ИИ в онкологии сводятся к накоплению достаточного количества данных для обучения, а также к выбору оптимального алгоритма анализа информации. Высокая точность диагностики, демонстрируемая при применении ИИ, позволяет считать, что ограничения использования ИИ преодолимы, и машинное обучение будет применяться для поддержки врачебных решений при лечении онкологических больных.

Выводы

1. Применение ИИ в диагностике онкологических заболеваний демонстрирует высокую точность.

2. Многообещающим представляется подход использования ИИ для назначения лечения и прогнозирования течения заболевания, основанный на сопоставлении молекулярно-биологических параметров опухолей и известных клинических данных.

3. Интеграция диагностического и прогностического потенциала ИИ в системы принятия врачебных решений позволит снизить нагрузку на специалистов и улучшит качество оказания медицинской помощи.

4. Исследователи находят пути для преодоления ограничений, связанных с применением ИИ и улучшения результатов использования ИИ в диагностике и терапии онкологических заболеваний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bouma H, Hanckmann P, Marck J-W et al. Automatic human action recognition in a scene from visual inputs. doi:10.1117/12.918582 // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. 2012;8388. ISBN:978-081949066-7.
2. Nam JG, Park S, Hwang EJ et al. Development and validation of deep learning-based automatic detection algorithm for malignant pulmonary nodules on chest radiographs. doi:10.1148/radiol.2018180237 // Radiology. 2019;290(1):218–228. URL:https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2018180237 (access date: 29 April 2022). ISSN (Online) 1527-1315.
3. Du D, Feng H, Lv W et al. Machine Learning Methods for Optimal Radiomics-Based Differentiation Between Recurrence and Inflammation: Application to Nasopharyngeal Carcinoma Post-therapy PET/CT Images. doi:10.1007/s11307-019-01411-9 // Mol Imaging Biol. 2020;2(3):730–738.
4. Dou TH, Coroller TP, van Griethuysen JJM et al. Peritumoral radiomics features predict distant metastasis in locally advanced NSCLC. doi:10.1371/journal.pone.0206108 // PLOS ONE. 2018. ISSN (Print) 1932-6203. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30388114/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
5. Лукьянченко Е.Л., Ильяшенко О.Ю. Преимущества использования цифровой платформы в рамках экосистемы // Сборник научных статей 6-й Всероссийской национальной научно-практической конференции «Проблемы развития современного общества». Курск, 22 января 2021 года. мто-18 том 1:243–246 [Lukyanchenko EL, Ilyashenko OYu. Advantages of using a digital platform within the ecosystem // Collection of scientific articles of the 6th All-Russian National Scientific and Practical Conference «Problems of development of modern society». Kursk, January 22, 2021. mto-18 vol. 1:243–246 (In Russ.)].
6. Дрокин И.С., Еричева Е.В., Бухвалов О.Л. и др. Опыт разработки и внедрения системы поиска онкологиче-

- ческих образований с помощью искусственного интеллекта на примере рентгеновской компьютерной томографии легких // Искусственный интеллект в здравоохранении. 2019(3):48–57 [Drokin IS, Elicheva EV, Bukhvalov OL et al. The experience of developing and implementing a system for searching for oncological formations using artificial intelligence on the example of X-ray computed tomography of the lungs // Artificial intelligence in healthcare. 2019(3):48–57 (In Russ.)].
7. Nagpal K, Foote D, Liu Y et al. Development and validation of a deep learning algorithm for improving Gleason scoring of prostate cancer. doi:10.1038/s41746-019-0112-2 // NPJ Digit Med. 2019. URL:https://www.nature.com/articles/s41746-019-0112-2#citeas. ISSN (Online) 2398-6352.
 8. Saltz J, Gupta R, Hou L et al. Spatial organization and molecular correlation of tumor-infiltrating lymphocytes using deep learning on pathology images. doi:10.1016/j.celrep.2018.03.086 // Cell Rep. 2018. ISSN 2211247. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29617659/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
 9. Liu Y, Kohlberg T, Norouzi M et al. Artificial intelligence – based breast cancer nodal metastasis detection: Insights into the black box for pathologists. doi:10.5858/arpa. 2018-0147-OA // Archives of pathology & laboratory medicine. 2019;143(7):859–868. ISSN (Web) 1543-2165. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30295070/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
 10. Bi WL, Hosny A, Schabath MB. Artificial Intelligence in Cancer Imaging: Clinical Challenges and Applications. doi:10.3322/caac.21552 // CA Cancer J Clin. 2019. ISSN (Electronic) 1542-4863. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30720861/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
 11. Shimizu H, Nakayama KI. Artificial intelligence in oncology. doi:10.1111/cas.14377 // Cancer Sci. 2020;111(5):1452–1460. ISSN (Online) 1349-7006. ELS «PMC. US National Library of Medicine National Institutes of Health» [website]. URL:https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7226189/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
 12. Chernov VI, Choyzonov EL, Kulbakin DE et al. Non-Invasive Diagnosis of Malignancies Based on the Analysis of Markers in Exhaled Air. doi:10.3390/diagnostics10110934 // Diagnostics. 2020;10. ISSN 2075-4418. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33187053/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
 13. Forbes SA, Beare D, Boutselakis H et al. COSMIC: somatic cancer genetics at high-resolution. doi:10.1093/nar/gkw1121 // Nucleic Acids Res. 2017. ISSN (Web) 1362-4962. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27899578/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
 14. Geras KJ, Mann RM, Moy L. Artificial Intelligence for Mammography and Digital Breast Tomosynthesis: Current Concepts and Future Perspectives. doi:10.1148/radiol.2019182627 // Radiology. 2019. ISSN (Online) 1527-1315. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31549948/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
 15. Zhou J, Theesfeld CL, Yao K et al. Deep learning sequence-based ab initio prediction of variant effects on expression and disease risk. doi:10.1038/s41588-018-0160-6 // Nat Genet. 2018. URL:https://www.nature.com/articles/s41588-018-0160-6#citeas (access date: 29 April 2022). ISSN (Print) 1061-4036.
 16. Davis RJ, Gonen M, Margineantu DH et al. Pan-cancer transcriptional signatures predictive of oncogenic mutations reveal that Fbw7 regulates cancer cell oxidative metabolism I. doi:10.1073/pnas.1718338115 // Proc Natl Acad Sci USA. 2018. ISSN (Web) 1091-6490. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29735700 / (access date: 29 April 2022). Access mode: free
 17. Lakhani P, Sundaram B. Deep learning at chest radiography: automated classification of pulmonary tuberculosis by using convolutional neural networks Sundaram. doi:10.1148/radiol.2017162326 // Radiology. 2017;284(2):574–582. URL:https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2017162326 (date application: 29th of April 2022). ISSN (Online) 1527-1315.
 18. Rojas-Muñoz E, Couperus K, Wachs JP. The AI-Medic: an artificial intelligent mentor for trauma surgery // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization (2020). doi:10.1080/21681163.2020.1835548
 19. Косоруков А.А. Технологии искусственного интеллекта в современном государственном управлении // Социодинамика. 2019;(5):43–58. doi:10.25136/2409-7144.2019.5.29714 [Kosorukov AA. Artificial intelligence technologies in modern public administration // Sociodynamics. 2019;(5):43–58 (In Russ.)]. doi:10.25136/2409-7144.2019.5.29714]
 20. ИИ сервисы для лучевой диагностики: официальный сайт. Москва. URL:https://mosmed.ai/ (дата обращения 24.05.2022) [AI services for radio diagnosis: official website. Moscow. URL:https://mosmed.ai/ (access date: 24 May 2022) (In Russ.)].
 21. Webiomed.ai: официальный сайт. URL:https://webiomed.ai/ (дата обращения 26.05.2022) [Webiomed.ai: official website. Moscow. URL:https://webiomed.ai/ (access date: 26 May 2022) (In Russ.)].
 22. Zhou N, Zhang C-T, Li H-Y et al. Concordance Study Between IBM Watson for Oncology and Clinical Practice for Patients with Cancer in China. doi:10.1634/theoncologist.2018-0255 // Oncologist. 2019;24:812–819. URL:https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6656482/ (access date: 29.08.2022). Access mode: free. Text: electronic.
 23. Image-net.org: официальный сайт. URL:https://www.image-net.org/index.php (дата обращения 02.09.2022) [Image-net.org: official website. Stanford. URL: https://www.image-net.org/index.php (access date: 2 September 2022) (In Russ.)].
 24. Morid MA, Borjalib A, Fiold GD. A scoping review of transfer learning research on medical image analysis using ImageNet // Computers in Biology and Medicine. 2021;128:104115. doi:10.1016/j.compbiomed.2020.104115
 25. Janowczyk A, Zuo R, Gilmore H et al. HistoQC: an open-source quality control tool for digital pathology slides. doi:10.1200/JCO.18.00157 // JCO Clin Cancer Inform. 2019. ISSN 2473-4276. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30990737/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.

Поступила в редакцию 23.06.2022 г.
Получена после доработки 12.09.2022 г.

*D.E. Kulbakin^{1,2}, E.L. Choinzonov^{1,2}, I.V. Tolmachev^{3,4},
Iu.V. Starikov⁵, E.G. Starikova³, I.S. Kaverina³*

Artificial intelligence in oncology: areas of its application, prospects and limitations

¹ Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences

² Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

³ Siberian State Medical University, Tomsk

⁴ Central Research Institute of Healthcare Organization and Informatization, Moscow

⁵ Tomsk Regional Clinical Hospital

Modern medicine and oncology, in particular, are one step away from the widespread introduction of artificial intelligence into everyday medical practice.

The article describes the most successful projects demonstrating involvement of artificial intelligence in diagnosis and prognosis of the course of oncological diseases.

The existing systems for making medical decisions, including diagnosing modules for oncological diseases based on neural networks, have been analyzed. Limitations for the use of artificial intelligence in oncology and ways to overcome them have been highlighted for the first time.

Artificial intelligence methods have proven their efficacy in image analysis (X-ray images, histological slides) and can be applied for supporting medical decision-making.

A huge array of accumulated knowledge about the molecular biological nature of tumors finds its practical application for prescribing treatment and predicting the course of the disease by means of machine learning algorithms.

Artificial intelligence can be the key to improving the efficacy of medical care provided for oncological diseases.

Key words: artificial intelligence, early diagnosis, genetic markers, medical decision support systems

Сведения об авторах

Кульбакин Денис Евгеньевич, д-р мед. наук, старший научный сотрудник отделения опухолей головы и шеи Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, 634009, г. Томск, пер. Кооперативный 5

Чойнзонов Евгений Лхамцыренович, д-р мед. наук, профессор, академик РАН, заведующий отделением опухолей головы и шеи НИИ онкологии Томского НИМЦ, заведующий кафедрой онкологии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, главный внештатный специалист онколог по Сибирскому федеральному округу, Лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и технологий, заведующий лабораторией медико-биологических исследований ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40

Толмачев Иван Владиславович, канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник научно-образовательной лаборатории «Бионические цифровые платформы» Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2, ivantolm@mail.ru

Стариков Юрий Витальевич, канд. мед. наук, врач клинической лабораторной диагностики Томской областной клинической больницы, 634063, г. Томск, ул. И. Черных, 96

**Старикова Елена Григорьевна*, д-р мед. наук, научный сотрудник научно-образовательной лаборатории «Бионические цифровые платформы» Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2

Каверина Ирина Сергеевна, руководитель научно-образовательной лаборатории «Бионические цифровые платформы» Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2, kaverinairina@yandex.ru

Denis Kulbakin, Doctor of Medical Sciences, Senior Researcher, Doctor of the Highest Category, Department of Head and Neck Tumors, Research Institute of Oncology, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, 5 per. Cooperative 5, Tomsk, 634009, Russia

Evgeny Choinzonov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Head and Neck Tumors of the Research Institute of Oncology of the Tomsk National Medical Research Center, Head of the Department of Oncology of the Siberian State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Chief external Oncologist for the Siberian Federal District, Laureate of the State Prize of the Russian Federation in the field of Science and Technology, Head of the Laboratory of Medical and Biological Research at Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, 40 Lenina Ave., Tomsk, 634050, Russia

Ivan Tolmachev, MD, PhD, Leading Researcher of the Scientific and Educational Laboratory «Bionic Digital Platforms» of the Federal State Educational Institution of Higher Education «Siberian State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2 Moskovsky highway, Tomsk, 634050, Russia, ivantolm@mail.ru

Iurii Starikov, Candidate of Medical Sciences, Doctor of Clinical Laboratory Diagnostics, Tomsk Regional Clinical Hospital, 96 I. Chernykh str., Tomsk, 634063, Russia

**Elena Starikova*, Doctor of Medical Sciences, Researcher at the Scientific and Educational Laboratory «Bionic Digital Platforms» of the Federal State Educational Institution of Higher Education «Siberian State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2 Moskovsky highway, Tomsk, 634050, Russia

Irina Kaverina, Head of the Scientific and Educational Laboratory «Bionic Digital Platforms» of the Federal State Educational Institution of Higher Education «Siberian State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2 Moskovsky highway, Tomsk, 634050, Russia, kaverinairina@yandex.ru