



Современное клиническое применение искусственного интеллекта в медицинской визуализации

Нуднов Н.В.^{1,2,3}, Паньшин Г.А.¹

¹ ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, ул. Профсоюзная, 86, Москва, 117997, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, ул. Баррикадная, 2/1, стр.1, Москва, 125993, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198, Российская Федерация

Нуднов Николай Васильевич, д. м. н., профессор, зам. директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, зам. директора по научной работе, профессор кафедры онкологии и рентгенорадиологии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы»; <http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Паньшин Георгий Александрович, д. м. н., профессор, гл. науч. сотр. лаборатории лучевой терапии и комплексных методов лечения онкологических заболеваний научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0003-1106-6358>

Резюме

В настоящее время искусственный интеллект (ИИ) весьма эффективно развивается, а его приложения ценны во многих областях науки, в том числе и медицинской, – главным образом из-за его способности обеспечить точность, объективность и автоматизацию. Стремительное развитие диагностических технологий предоставляет возможность внедрять в современную медицину инновационные решения с применением ИИ, позволяющего разгрузить медицинских работников за счет ускорения процесса диагностики и в то же время повысить его качество, а также эффективность последующего специального лечения. В обзоре кратко представлены текущее состояние знаний и ряд существующих моделей ИИ, используемых в повседневной практике в сфере медицинской визуализации. Показано, что ИИ обладает огромным потенциалом для преобразования рентгенодиагностики и других областей медицины, особенно при анализе медицинских изображений. Несмотря на трудности, связанные с внедрением ИИ в практическую деятельность, такие как необходимость надлежащего обучения персонала и этические проблемы, преимущества его применения весьма значительны. ИИ может помочь повысить точность диагностики, ускорить сам процесс диагностирования и сократить расходы на медицинское обслуживание. Дальнейшее развитие технологий ИИ в сочетании с постоянным сотрудничеством между российскими разработчиками ИИ и медицинскими работниками будет способствовать еще большим достижениям в области здравоохранения, которые принесут несомненную пользу как пациентам, так и персоналу лечебных учреждений.

Ключевые слова: искусственный интеллект; диагностическая визуализация; клиническая практика; направления развития; обзор.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Нуднов Н.В., Паньшин Г.А. Современное клиническое применение искусственного интеллекта в медицинской визуализации. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(6): 325–334. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-6-325-334>

Для корреспонденции: Нуднов Николай Васильевич, e-mail: mailbox@rncrr.rssi.ru

Статья поступила 06.02.2025

После доработки 15.03.2025

Принята к печати 16.03.2025

Current Clinical Application of Artificial Intelligence in Medical Imaging

Nikolay V. Nudnov^{1,2,3}, Georgiy A. Pan'shin¹

¹ Russian Scientific Center of Roentgenoradiology,
ul. Profsoyuznaya, 86, Moscow, 117997, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuing Professional Education,
ul. Barrikadnaya, 2/1, str.1, Moscow, 125993, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba,
ul. Miklukho-Maklaya, 6, Moscow, 117198, Russian Federation

Nikolay V. Nudnov, Dr. Med. Sc., Professor, Deputy Director for Scientific Work, Head of Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology; Professor, Chair of Radiology and Nuclear Medicine, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Deputy Director for Scientific Work, Professor, Chair of Oncology and Roentgenology, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba;
<http://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Georgiy A. Pan'shin, Dr. Med. Sc., Professor, Senior Researcher, Laboratory of Radiation Therapy and Complex Methods of Cancer Treatment, Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology;
<http://orcid.org/0000-0003-1106-6358>

Abstract

Artificial intelligence (AI) is currently developing very efficiently, and its applications are valuable in many fields of science, including medicine, mainly because of its ability to ensure accuracy, objectivity and automation, in particular, in the diagnostic process. Rapid development of diagnostic technologies provides an opportunity to introduce innovative solutions into modern medicine through the use of AI, which makes it possible to relieve medical workers by speeding up the diagnostic process and improving its quality as well as effectiveness of subsequent special treatment based on its results. This review briefly presents the current state of knowledge and a number of existing AI models applied in everyday practice in medical imaging. AI has great potential to transform X-ray diagnostics and other areas of medicine, especially in the analysis of medical images. Despite the difficulties associated with AI implementation in practice, such as the need for proper staff training and ethical issues, the advantages of its application are very significant. AI can help improve diagnostic accuracy, speed up the diagnostic process itself, and reduce medical costs. Further development of AI technologies combined with the constant cooperation between Russian AI developers and medical professionals will contribute to even greater advances in healthcare, which will undoubtedly benefit both patients and staff of medical institutions.

Keywords: artificial intelligence; diagnostic visualization; clinical practice; directions of development; review.

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

For citation: Nudnov NV, Pan'shin GA. Current clinical application of artificial intelligence in medical imaging. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(6): 325–334 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-6-325-334>

For corresponding: Nikolay V. Nudnov, e-mail: mailbox@rncrr.rssi.ru

Received February 6, 2025

Revised March 15, 2025

Accepted March 16, 2025

Введение / Introduction

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой моделирование человеческого интеллекта в машинах, которые запрограммированы думать и учиться как люди. Он включает в себя разработку алгоритмов и компьютерных систем, способных выполнять задачи, которые обычно требуют человеческого мышления, адаптивности и моделирования когнитивных процессов. При этом ИИ охватывает широкий спектр методов и технологий, направленных на создание систем, умеющих рассуждать, решать проблемы, воспринимать и обучаться.

Достижения в области медицинской визуализации и ИИ открыли новую эру возможностей в области здравоохранения. Слияние этих двух областей произвело революцию в различных аспектах медицинской практики – от раннего выявления заболеваний и точной диагностики до персонализированного планирования лечения и улучшения его результатов.

На сегодняшний день такие методы медицинской визуализации, как компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ) и позитронно-эмиссионная томография, предоставляют врачам-диагностам подробную

и всеобъемлющую визуальную информацию о человеческом организме. Они генерируют огромные объемы данных, требующих эффективного адекватного анализа и интерпретации, которые возможны с помощью ИИ. Алгоритмы ИИ, в частности глубокое обучение, продемонстрировали замечательную способность извлечения ценных сведений из медицинских изображений [1].

Модели глубокого обучения, подготовленные на больших наборах данных, распознают сложные закономерности и особенности, которые не так просто различить человеческому глазу [2, 3]. Такие алгоритмы могут даже открыть новую перспективу относительно того, какие особенности изображения следует учитывать для поддержки принятия решений [4].

Одним из ключевых преимуществ ИИ в медицинской визуализации является его способность повышать точность и эффективность диагностики заболеваний [1, 5]. Благодаря этому ИИ может помогать диагностам в обнаружении аномалий, идентификации конкретных структур, а также в прогнозировании результатов лечения [5, 6].

Используя алгоритмы машинного обучения, системы ИИ анализируют медицинские изображения с высокой скоростью и точностью, позволяя выявлять на ранней стадии заболевания, которые трудно обнаружить традиционными методами диагностики. Раннее определение имеющейся патологии критически важно в современной клинической медицине, поскольку способствует проведению своевременного лечебного вмешательства, в ряде случаев потенциально спасая жизни пациентов и улучшая результаты специального лечения [1–3].

Более того, ИИ открыл новые возможности в сегментации и количественной оценке получаемых изображений. Используя сложные алгоритмы, он может точно очерчивать интересующие структуры, такие как опухоли, кровеносные сосуды или даже клетки [7–9]. Возможность сегментации бесценна при планировании специального лечения у онкологических больных, поскольку позволяет клиницистам точно определять анатомические области для прецизионного проведения, в частности, радиотерапии, то есть реализовывать целенаправленное специальное высокотехнологичное противоопухолевое лечение [10].

Весьма важным обстоятельством является то, что интеграция ИИ и медицинской визуализации способствовала развитию именно персонализированной медицины. Благодаря анализу медицинских изображений и индивидуальных данных пациентов алгоритмы ИИ могут генерировать наиболее адекватные для конкретного больного варианты специального лечения, позволяя разрабатывать индивидуальные планы терапевтического воздействия,

учитывающие анатомо-физиологические особенности пациента и характеристики выявленного заболевания. Такой подход в медицинской практике повышает эффективность лечения и сводит к минимуму риск развития побочных эффектов, что в конечном итоге приводит к улучшению результатов лечения и качества жизни пациентов [1, 11, 12].

Что касается операционного этапа специального лечения, ИИ способствовал внедрению хирургических процедур с визуальным контролем. Объединяя данные предоперационной визуализации с визуализацией в режиме реального времени во время операции, алгоритмы ИИ могут предоставить хирургам расширенную помощь в навигации и поддержке принятия решений. Это повышает точность вмешательств, снижает процедурные риски и позволяет использовать при возможности минимально инвазивные методы, приводя к снижению до приемлемого минимума риски причинения пациентам неоправданного ущерба в связи с хирургической операцией [13].

Анализ медицинских изображений для диагностики заболеваний / Medical image analysis for disease diagnosis

В настоящее время ИИ применяется в медицинской визуализации, способствуя точности диагностики, а также эффективности лечения и мониторинга за состоянием пациентов после него [14–16]. Анализ изображений для выявления различных заболеваний представляет собой быстро развивающуюся область, обладающую огромным потенциалом для повышения эффективности системы здравоохранения. Используя передовые вычислительные методы и алгоритмы машинного обучения, медицинские работники теперь могут извлекать важную дополнительную информацию из разнообразных визуализационных методов диагностики всевозможных нозологических форм заболеваний человека [17, 18].

Сердечно-сосудистые заболевания

За последние годы ИИ значительно улучшил сердечно-сосудистую визуализацию, облегчив обнаружение и количественную оценку заболеваний сердца, комплексный анализ сосудистых аномалий и интеграцию данных мультимодальной визуализации. Алгоритмы ИИ могут эффективно интерпретировать сложные данные, распознавая начальные стадии таких патологий, как ишемическая болезнь сердца и застойная сердечная недостаточность, с помощью КТ, МРТ или эхокардиографии. Например, модели машинного обучения и сверточные нейронные сети продемонстрировали способность автоматически обнаруживать кальцификацию коронарных артерий и выполнять сегментацию миокарда левого желудочка [19, 20].

Измерение различных структур сердца помогает выявить риск развития сердечно-сосудистых заболеваний у человека или установить проблемы, которые, возможно, необходимо решить с помощью хирургического вмешательства или адекватной медикаментозной терапии. Инструменты ИИ можно использовать для автоматизации таких измерительных задач, как, например, анализ состояния аортального клапана, измерение угла карины и диаметра легочной артерии. Применение ИИ в анализе получаемых визуализационных данных также помогает выявить утолщение определенных мышечных структур, таких как стенка левого желудочка, или отследить изменения кровотока через сердце и связанные с ним артерии. Например, автоматизированная количественная оценка кровотока в легочной артерии сэкономит время врача, интерпретирующего результаты, за счет исключения ручных измерений, предотвратит ошибки обнаружения и предоставит структурированные количественные данные, которые можно будет использовать в последующих исследованиях. Кроме того, ИИ демонстрирует значительные перспективы в кардиологии, особенно в интерпретации электрокардиограмм и эхокардиограмм. Сложные алгоритмы машинного обучения обнаруживают разнообразные сердечные паттерны и аномалии, точно предсказывая такие состояния, как мерцательная аритмия и инфаркт миокарда [21].

Помимо этого, ИИ способен в целом диагностировать сердечно-сосудистые заболевания. Так, используя классификатор нейронной сети, застойную сердечную недостаточность можно обнаружить даже на рентгенограммах грудной клетки. Исследование J.C.Y. Seah et al. показало впечатляющий результат: авторы применили генеративную состязательную сеть (алгоритм машинного обучения без учителя) для получения прямой визуализации характеристик, что позволило выделить на рентгенограммах грудной клетки соответствующие аберрантные признаки, характерные для застойной сердечной недостаточности [22].

Более того, крупным прорывом в сердечно-сосудистой визуализации на основе ИИ является интеграция данных мультимодальной визуализации, которая объединяет информацию из КТ, МРТ и эхокардиографии для обеспечения целостного представления структуры и функции сердца. Эти консолидированные данные необходимы для сложных оценок, таких как обнаружение ишемии или планирование инвазивных вмешательств. Например, алгоритмы машинного обучения могут объединять данные перфузии из МРТ с коронарной анатомией из КТ, создавая сложные трехмерные модели сердца, что улучшает обнаружение сердечной ишемии и облегчает точное планирование возможных лечебных процедур [23, 24].

Скрининг на наличие некоторых видов злокачественных опухолей

Онкологический диагноз всегда является неожиданным, в некотором роде роковым известием для любого пациента. Однако, несмотря на это печальное обстоятельство, точная диагностика может помочь людям более четко понять вероятные результаты проведенного исследования и возможные отдаленные последствия предлагаемого специального лечения, а также спланировать свой вероятный уход из жизни с исполнением каких-либо желаний в конце жизненного пути. Медицинские изображения широко используются при плановых профилактических обследованиях (скрининге) таких онкологических патологий, как рак легких [25, 26], рак молочной железы [27–30], а также рак толстой кишки и почечно-клеточный рак.

Так, исключительные возможности ИИ в извлечении информации об изображениях и обработке сложных моделей, в частности сверточных нейронных сетей, привели к признанию его применения в скрининге рака легких, включая сегментацию легких, обнаружение метастатических узлов и их классификацию, а также уменьшение ложноположительных результатов и прогнозирование исходов специального лечения [31].

Следует подчеркнуть, что среди многочисленных онкологических заболеваний злокачественные новообразования легких являются одним из самых распространенных видов опухолей, отличающимся агрессивным течением и высоким уровнем летальности, что ставит его в ряд ключевых проблем современного здравоохранения. Наибольшие шансы положительного исхода специального лечения рака легких дает только выявление болезни на ранних стадиях, в связи с чем во многих странах мира осуществляются программы скрининга, основанные, в первую очередь, на применении низкодозовой компьютерной томографии (НДКТ). Их эффективность в ходе рандомизированных исследований подтверждается достоверным снижением летальности в группе пациентов, которым в процессе диагностических исследований НДКТ постоянно проводилась после среднего периода наблюдения 6,5 года [32–36].

В рамках программы скрининга рака легкого в свое время в г. Москве отечественными исследователями была проведена независимая оценка диагностической точности алгоритма ИИ для выявления очагов поражения на НДКТ. В целом высокие показатели точности, полученные при независимом тестировании, свидетельствовали о хорошей воспроизводимости результатов работы ИИ на независимых данных, относящихся к популяции г. Москвы [37].

Что касается рака молочной железы, то при наличии микрокальцинатов весьма трудно окончательно определить соответствующую ткань молочной железы как злокачественную или доброкачественную. В этом случае ложноположительные результаты часто приводят к ненужному инвазивному тестированию или даже хирургическому лечению, а при пропущенном злокачественном процессе – к весьма неблагоприятному результату. Визуализация молочной железы сыграла ключевую роль в раннем выявлении рака молочной железы и снижении смертности от него. Внедрение таких методов, как маммография, значительно улучшило показатели первоначального диагностирования опухоли, точности сегментации и характеристики раковых поражений, а также мониторинг ответа на специальное противоопухолевое лечение и последующее наблюдение за пациентами [27, 38].

Аналогичным образом пациенты, проходящие скрининг на колоректальный рак, могут попасть в ситуацию, если во время плановых проверок будут обнаружены полипы, являющиеся предшественниками развития злокачественного процесса. КТ-колонография обеспечивает минимально инвазивное структурное обследование толстой и прямой кишок для выявления клинически значимых полипов. Однако неопытные рентгенологи могут пропустить наличие полипов, и тогда именно ИИ реально помогает повысить точность и эффективность их обнаружения, сократить число ложноположительных результатов и в конечном итоге снизить так называемый медицинский юридический риск для врача-рентгенолога. Кроме того, в сфере выявления, например, опухолей почек, модели ИИ продемонстрировали точность в интерпретации изображений, превосходящую человеческую. Это способствует применению более эффективных стратегий специального лечения, что потенциально приводит к улучшению результатов лечения этой категории онкоурологических пациентов [39].

По мнению онкологического сообщества, ИИ может быть также весьма полезен при специальном противоопухолевом лечении злокачественных опухолей головы и шеи, рака предстательной железы и шейки матки, а также ряда других злокачественных новообразований [40, 41].

Неврологические заболевания

Дегенеративные неврологические заболевания, например боковой амиотрофический склероз и многие другие похожие патологические процессы в нервной системе, могут казаться пациентам неотвратимыми инвалидизирующими диагнозами, от которых в настоящее время не существует реального патогенетического лечения. Их выявление основано на визуализационных исследова-

ниях, поэтому рентгенологи должны решить, являются ли поражения релевантными или просто имитируют структуры одного из других похожих заболеваний, особенно учитывая то обстоятельство, что ложноположительные результаты встречаются в данной клинической ситуации достаточно часто.

Быстро расширяющееся применение машинного обучения оказалось незаменимым и в области нейрорадиологии. Эта передовая технология способствовала, в частности, раннему выявлению различных подтипов инсульта, о чем свидетельствует исследование, проведенное V.S. Yedavalli et al. [42]. Сверточные нейронные сети демонстрируют великолепный анализ визуализационных изображений, включая обнаружение инфарктов головного мозга или кровоизлияний, сегментацию, классификацию и идентификацию окклюзии крупных сосудов, а также оказывают существенное влияние на адекватный подход к лечению инсульта, что, например, довольно убедительно показано в исследовании J.E. Souin et al. [43].

Кроме того, ИИ играет важную роль в раннем выявлении нейродегенеративных расстройств, особенно таких состояний, как болезнь Альцгеймера и Паркинсона. Разработаны сложные алгоритмы ИИ для анализа изображений МРТ с целью обнаружения специфических биомаркеров или характерных закономерностей, связанных с этими состояниями.

В целом задача распознавания тонких изменений в структуре или функции головного мозга, которая имеет решающее значение для диагностики нейроонкологических заболеваний, более эффективно решается с применением ИИ благодаря его способности обнаруживать уточненные закономерности на уровне вокселей и предоставлять объективные количественные оценки этих изменений [44, 45].

Переломы и другие травмы опорно-двигательного аппарата

Переломы и травмы опорно-двигательного аппарата могут привести к длительной хронической боли, а иногда и к инвалидизации пациента, если их своевременно и правильно не подвергать специальному лечению. Такие травматические повреждения, как перелом шейки бедра у пожилых пациентов, сопряжены с неблагоприятными общими исходами из-за снижения подвижности и связанных с этим возможных госпитализаций. Использование ИИ для выявления труднообнаружаемых переломов, вывихов или повреждений мягких тканей может позволить хирургам и специалистам быть более уверенными в выборе специального лечения в данной клинической ситуации [46].

Следует подчеркнуть, что после какой-либо травмы переломы часто считаются в некоторой

мере второстепенными по значимости в сравнении с возможным внутренним кровотечением или непосредственным травматическим повреждением органов. Когда специалисты по диагностике, рассматривающие визуализационную информацию, связанную с травмой, в первую очередь сосредотачиваются, например, на опасном для жизни пациента массивном посттравматическом кровотечении, переломы могут быть упущены из виду, и в этой ситуации именно ИИ может обеспечить непосредственную констатацию данного патологического состояния [47].

Кроме того, ИИ обеспечивает полезную подстраховку при проведении плановых осмотров, в частности после распространенных операций на бедре (например, эндопротезирования тазобедренного сустава), с точки зрения выявления возможного прогрессирования какой-либо аномалии в состоянии искусственного импланта [48].

Модели ИИ продемонстрировали сопоставимые со специалистами-рентгенологами результаты в обнаружении дегенеративных изменений пояснично-крестцового отдела позвоночника. Последовательное совершенствование моделей сверточной нейронной сети на основе сравнительной оценки с результатами работы врачей-рентгенологов повышает чувствительность и специфичность выявления патологических изменений [49, 50].

Торакальные (пульмонологические) осложнения и состояния

Пневмония и пневмоторакс иногда являются опасными для жизни критическими состояниями, требующими быстрой реакции со стороны клиницистов. Они могут быть своевременно распознаны с помощью алгоритмов ИИ. Для диагностики пневмонии часто используются визуализационные изображения, однако у рентгенологов могут возникнуть трудности с диагностикой пневмонии, особенно если у пациента уже есть сопутствующие заболевания легких, такие как злокачественные новообразования или муковисцидоз.

Кроме того, «незаметные» пневмонии, например те, которые локализируются ниже купола диафрагмы, на прямых передних рентгенограммах грудной клетки легко пропустить, что приведет к назначению ненужного КТ-сканирования, сопровождающегося определенной лучевой нагрузкой на пациента. С помощью ИИ можно оценить имеющиеся рентгеновские снимки и другую визуализационную информацию, касающуюся наличия затемнений в легких и указывающую на возможную пневмонию, и ориентировать врачей на другие вероятные потенциальные диагнозы, способствуя тем самым ускорению начала адекватного специфического лечения.

Аналогичным образом ИИ может помочь клиницистам выявить пациентов с подозрением на пневмоторакс с высоким риском его развития в результате каких-либо травм или инвазивных вмешательств, особенно в отсутствие рентгенологов. Применение ИИ позволит определить приоритетность типа и тяжести пневмоторакса, что изменит срочность и специфичность проводимого лечения, а также осуществлять мониторинг состояния пациентов при динамическом наблюдении [51, 52].

Заболевания брюшной полости и таза

В области гастроэнтерологии для оценки состояния пищеварительного тракта используется несколько методов визуализации, к которым относятся рентгенология, эндоскопия и гистологические срезы образцов тканей. При автоматическом анализе изображений желудочно-кишечного тракта в основном применяется подтип ИИ, называемый машинным обучением, хотя могут помочь и другие ветви ИИ, например обработка естественного языка.

В целом ИИ способствовал беспрецедентному прогрессу в диагностике заболеваний брюшной полости и таза, особенно в области визуализации желудочно-кишечного тракта. При этом его вклад имел решающее значение в улучшении диагностики и стадирования, в первую очередь, заболеваний печени и поджелудочной железы. Концептуализация различных прогностических моделей на основе ИИ расширила диагностический спектр патологических процессов, локализующихся в брюшной и тазовой полостях, охватив желудочно-кишечные и воспалительные заболевания, незлокачественные состояния и обнаружение кишечного кровотечения с использованием передовых технологий, таких как беспроводная капсульная эндоскопия [53].

Таким образом, ИИ изменил визуализацию брюшной полости и таза благодаря своей способности предоставлять точные и воспроизводимые данные. Технологии ИИ облегчают автоматическую или полуавтоматическую сегментацию и регистрацию органов, в том числе печени и поджелудочной железы, а также связанных с ними поражений, тем самым повышая точность диагностики и эффективность лечения [54, 55].

В то же время интеграция радиомики вводит новые количественные показатели в анализ радиологических данных, тем самым обогащая обнаружение и характеристику очаговых поражений и диффузных заболеваний желудочно-кишечного тракта. Это приводит к потенциальному повышению эффективности клинических результатов патогенетического лечения выявленных патологических состояний [56].

ИИ и персонализированная медицина / AI and personalized medicine

Несомненно, интеграция ИИ и медицинской визуализации способствовала развитию персонализированной медицины. Посредством анализа медицинских изображений и данных конкретного пациента алгоритмы ИИ могут генерировать информацию, специфичную для каждого больного, позволяя разрабатывать планы специального лечения, учитывающие индивидуальные различия в анатомических и физиологических особенностях, а также в специфических характеристиках различных заболеваний. Это повышает эффективность лечения и сводит к минимуму риск вероятного развития побочных эффектов, что в конечном итоге приводит к улучшению результатов лечения и улучшению качества жизни пациентов [1, 11].

Персонализированное лечение (также известное как точная, или персонализированная медицина) представляет собой подход, который адаптирует медицинскую помощь к отдельным пациентам на основе их уникальных персональных характеристик, таких как генетика, окружающая среда, образ жизни и биомаркеры. Таким образом, по мнению ряда авторов, персонализированное лечение представляет собой новаторскую область, демонстрирующую потенциал точной медицины в больших масштабах [1, 57].

В целом такой индивидуализированный подход направлен на улучшение результатов лечения путем проведения целевых вмешательств, которые являются более эффективными, действенными и безопасными. ИИ становится ценным инструментом продвижения персонализированного лечения, предлагая значимый потенциал для анализа сложных наборов данных, прогнозирования результатов и оптимизации стратегий специального лечения различных заболеваний человека [58].

Таким образом, можно вполне определенно утверждать, что алгоритмы на базе ИИ могут анализировать огромные объемы медицинских данных, помогая врачам в режиме реального времени, в том числе и во время хирургических процедур, предоставляя им дополнительную ценную информацию и обеспечивая проведение персонализированных лечебных мероприятий.

Перспективы / Prospects

ИИ прошел долгий путь от своих истоков до современного состояния, и его развитие продолжает открывать новые горизонты для всего человечества.

Сочетание медицинской визуализации и ИИ привело к значительным достижениям в здравоохранении, характеризующимся как ранним диагностическим выявлением различных заболева-

ний, так и успешной реализацией их специального лечения путем персонализированных терапевтических решений. Это произвело своего рода революцию в медицинской практике. Реализуя возможности ИИ, врачи могут использовать огромное количество информации, содержащейся в медицинских изображениях, для постановки точного диагноза, адаптации планов персонализированного лечения и повышения эффективности его конечных результатов.

Поскольку технологии ИИ продолжают развиваться, возможно скорейшее появление еще большего количества революционных инноваций в виде новых математических моделей и алгоритмов, которые в ближайшие годы могут значительно изменить ландшафт применения медицинской визуализации и ИИ.

Хотя ожидается, что ИИ окажет существенное влияние на диагностический процесс, он вряд ли полностью заменит потребность в рентгенологах. Специалисты по визуализации получают помощь в виде автоматизации многих ранее ручных задач, связанных с предварительным обследованием, позиционированием пациента, выбором протокола визуализации, получением изображений и его оценкой, последующей окончательной обработкой и даже обслуживанием диагностического оборудования. В этом контексте рентгенологи и врачи-клиницисты должны знакомиться с новыми современными медицинскими технологиями и демонстрировать готовность активно участвовать в их разработке, внедрении и принятии решений на основе ИИ. Однако для специалистов крайне важно безопасно (в первую очередь, для пациента) извлекать выгоду из ИИ с помощью практических навыков, основанных на фактических данных и постоянном этическом надзоре.

В перспективе планируется, что ИИ будет использоваться для расширения возможностей рентгенологов, а не для их замены. Алгоритмы ИИ могут использоваться для помощи в интерпретации медицинских изображений и предлагать возможные варианты соответствующих клинических диагнозов. Но рентгенологу по-прежнему придется просматривать и интерпретировать изображения, а также самому ставить окончательный диагноз.

Заключение / Conclusion

Термин «искусственный интеллект» относится к способности современных технологий, в основном компьютеров, имитировать человеческий интеллект, в результате чего медицинская сфера может получить весьма большую выгоду от ее практической реализации. Одной из ключевых областей применения ИИ в медицинской

визуализации является анализ медицинских изображений, таких как рентгеновские снимки, КТ и МРТ.

Несомненно, что в будущем рентгенологи будут играть важную роль в системе здравоохранения, работая вместе с ИИ. Совместный диагности-

ческий процесс гарантирует наиболее адекватный подход, способствующий выработке оптимального плана патогенетического лечения и, таким образом, обеспечивающий достижение наилучших результатов при его дальнейшей индивидуальной специализированной реализации.

Литература [References]

- Ghaffar Nia N, Kaplanoglu E, Nasab A. Evaluation of artificial intelligence techniques in disease diagnosis and prediction. *Discov Artif Intell*. 2023; 3: 5. <https://doi.org/10.1007/s44163-023-00049-5>.
- Kumar Y, Koul A, Singla R, Ijaz MF. Artificial intelligence in disease diagnosis: a systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda. *J Ambient Intell Humaniz Comput*. 2022; 14(7): 8459–86. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03612-z>.
- Hosny A., Parmar C., Quackenbush J., et al. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer*. 2018; 18(8): 500–10. <https://doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5>.
- Waldstein SM, Seeböck P, Donner R, et al. Unbiased identification of novel subclinical imaging biomarkers using unsupervised deep learning. *Sci Rep*. 2020; 10: 12954. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69814-1>.
- Plested J, Gedeon T. Deep transfer learning for image classification: an overview. *arXiv:2205.09904*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.09904>.
- Alowais SA, Alghamdi SS, Alsuhebany N, et al. Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice. *BMC Med Educ*. 2023; 23(1): 689. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04698-z>.
- Sinha A, Dolz J. Multi-scale self-guided attention for medical image segmentation. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2021; 25(1): 121–30. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.2986926>.
- Popescu D, Stanciulescu A, Pomohaci MD, Ichim L. Decision support system for liver lesion segmentation based on advanced convolutional neural network architectures. *Bioengineering*. 2022; 9(9): 467. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9090467>.
- Altini N, Brunetti A, Puro E, et al. NDG-CAM: nuclei detection in histopathology images with semantic segmentation networks and grad-CAM. *Bioengineering*. 2022; 9(9): 475. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9090475>.
- van de Sande D, Sharabiani M, Bluemink H, et al. Artificial intelligence based treatment planning of radiotherapy for locally advanced breast cancer. *Phys Imaging Radiat Oncol*. 2021; 20: 111–6. <https://doi.org/10.1016/j.phro.2021.11.007>.
- Schork NJ. Artificial intelligence and personalized medicine. *Cancer Treat Res*. 2019; 178: 265–83. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16391-4_11.
- Uddin M, Wang Y, Woodbury-Smith M. Artificial intelligence for precision medicine in neurodevelopmental disorders. *NPJ Digit Med*. 2019; 2: 112. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0191-0>.
- Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial intelligence in surgery: promises and perils. *Ann Surg*. 2018; 268(1): 70–6. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002693>.
- Lee W, Shin H., Chang MC. Deep learning algorithm to evaluate cervical spondylotic myelopathy using lateral cervical spine radiograph. *BMC Neurol*. 2022; 22(1): 147. <https://doi.org/10.1186/s12883-022-02670-w>.
- Xu JH, Zhou XM, Ma JL, et al. Application of convolutional neural network to risk evaluation of positive circumferential resection margin of rectal cancer by magnetic resonance imaging. *Zhonghua Wei Chang Wai Ke Za Zhi*. 2020; 23(6): 572–7 (in Chinese). <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn.441530-20191023-00460>.
- Obuchowicz R, Strzelecki M, Piórkowski A. Clinical applications of artificial intelligence in medical imaging and image processing – a review. *Cancers*. 2024; 16(10): 1870. <https://doi.org/10.3390/cancers16101870>.
- Barragán-Montero A, Javai U, Valdés G, et al. Artificial intelligence and machine learning for medical imaging: a technology review. *Phys Med*. 2021; 83: 242–56. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.04.016>.
- Khalifa M, Albadawy M. Artificial Intelligence for clinical prediction: exploring key domains and essential functions. *Comput Methods Programs Biomed Update*. 2024; 5: 100148. <https://doi.org/10.1016/j.cmpbup.2024.100148>.
- Lee GW, Shin H, Chang MC. Deep learning algorithm to evaluate cervical spondylotic myelopathy using lateral cervical spine radiograph. *BMC Neurol*. 2022; 22(1): 147. <https://doi.org/10.1186/s12883-022-02670-w>.
- Abdelrahman K, Shiyovich A, Huck DM, et al. Artificial intelligence in coronary artery calcium scoring detection and quantification. *Diagnostics*. 2024; 14(2): 125. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14020125>.
- Muzammil MA, Javid S, Afridi AK, et al. Artificial intelligence-enhanced electrocardiography for accurate diagnosis and management of cardiovascular diseases. *J Electrocardiol*. 2024; 83: 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2024.01.006>.
- Seah JCY, Tang JSN, Kitchen A, et al. Chest radiographs in congestive heart failure: visualizing neural network learning. *Radiology*. 2019; 290(2): 514–22. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018180887>.
- Reza-Soltani S, Fakhare Alam L, Debellotte O, et al. The role of artificial intelligence and machine learning in cardiovascular imaging and diagnosis. *Cureus*. 2024; 16(9): e68472. <https://doi.org/10.7759/cureus.68472>.
- Pezel T, Toupin S, Bousson V, et al. A machine learning model using cardiac CT and MRI data predicts cardiovascular events in obstructive coronary artery disease. *Radiology*. 2025; 314(1): e233030. <https://doi.org/10.1148/radiol.233030>.
- Леденев В.В., Солodкий В.А., Нуднов Н.В., Сотников В.М. Количественные характеристики лучевого повреждения легочной ткани у онкологических пациентов при лучевой терапии на основании данных PKT. Медицинская визуализация. 2022; 26(4): 60–74. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1182>. [Ledenev VV, Solodkiy VA, Nudnov NV, Sotnikov VM. Quantitative characteristics of radiation-induced lung damage in oncological patients during radiotherapy based on RCT

- data. *Medical Visualization*. 2022; 26(4): 60–74 (in Russ). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1182>.]
26. Морозов С.П., Владимировский А.В., Гомболевский В.А. и др. Искусственный интеллект в скрининге рака легкого: оценка диагностической точности алгоритма для анализа низкодозовых компьютерных томографий. *Туберкулез и болезни легких*. 2020; 98(8): 24–31. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2020-98-8-24-31>. [Morozov SP, Vladimirovskiy AV, Gombolevskiy VA, et al. Artificial intelligence in lung cancer screening: assessment of the diagnostic accuracy of the algorithm analyzing low-dose computed tomography. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2020; 98(8): 24–31 (in Russ). <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2020-98-8-24-31>.]
 27. Рожкова Н.И. Технологии искусственного интеллекта и системной биологии в онкомаммоскрининге. URL: <https://rusmammo.ru/tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-i-sistemnoj-biologii-v-onkomammoskrininge-rozhkova-nadezhda-ivanovna/> (дата обращения 12.09.2024). [Rozhkova NI. Artificial intelligence and systemic biology technologies in oncomammoscreening. Available at: <https://rusmammo.ru/tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-i-sistemnoj-biologii-v-onkomammoskrininge-rozhkova-nadezhda-ivanovna/> (in Russ) (accessed 12.09.2024).]
 28. Солодкий В.А., Каприн А.Д., Нуднов Н.В. и др. Искусственный интеллект в скрининге рака молочной железы (литературный обзор). URL: http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v22/docs/solodkiy_t4.pdf (дата обращения 12.09.2024). [Solodky VA, Kaprin AD, Nudnov NV, et al. Artificial intelligence in breast cancer screening (literature review). Available at: http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v22/docs/solodkiy_t4.pdf (in Russ) (accessed 12.09.2024).]
 29. Солодкий В.А., Каприн А.Д., Нуднов Н.В. и др. Современные системы поддержки принятия врачебных решений на базе искусственного интеллекта для анализа цифровых маммографических изображений. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023; 104(2): 151–62. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-2-151-162>. [Solodkiy VA, Kaprin AD, Nudnov NV, et al. Contemporary medical decision support systems based on artificial intelligence for the analysis of digital mammographic images. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023; 104(2): 151–62 (in Russ). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2023-104-2-151-162>.]
 30. Солодкий В.А., Каприн А.Д., Нуднов Н.В. и др. Возможности искусственного интеллекта в оценке риска рака молочной железы на маммографических изображениях (клинические примеры). *Вестник Российского научного центра рентгено-радиологии*. 2023; 23(1): 24–31. [Solodkiy VA, Kaprin AD, Nudnov NV, et al. The possibilities of artificial intelligence in breast cancer risk assessment on mammographic images (clinical examples). *Vestnik of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology*. 2023; 23(1): 24–31 (in Russ).]
 31. Quanyang W, Yao H, Sicong W, et al. Artificial intelligence in lung cancer screening: detection, classification, prediction, and prognosis. *Cancer Med*. 2024; 13(7): e7140. <https://doi.org/10.1002/cam4.7140>.
 32. de Koning HJ, van der Aalst CM, de Jong PA, et al. Reduced lung-cancer mortality with volume CT screening in a randomized trial. *N Engl J Med*. 2020; 382(6): 503–13. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1911793>.
 33. Huang KL, Wang SY, Lu WC, et al. Effects of low-dose computed tomography on lung cancer screening: a systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis. *BMC Pulm Med*. 2019; 19(1): 126. <https://doi.org/10.1186/s12890-019-0883-x>.
 34. National Lung Screening Trial Research Team. Lung cancer incidence and mortality with extended follow-up in the National Lung Screening Trial. *J Thorac Oncol*. 2019; 14(10): 1732–42. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2019.05.044>.
 35. Pastorino U, Sverzellati N, Sestini S, et al. Ten-year results of the multicentric Italian lung detection trial demonstrate the safety and efficacy of biennial lung cancer screening. *Eur J Cancer*. 2019; 118: 142–8. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2019.06.009>.
 36. Polat G, Halici U, Dogrusoz YS. False positive reduction in lung computed tomography images using convolutional neural networks. *arXiv:1811.01424*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.01424>.
 37. Морозов С.П., Владимировский А.В., Гомболевский В.А. и др. Искусственный интеллект в скрининге рака легкого: оценка диагностической точности алгоритма для анализа низкодозовых компьютерных томографий. *Туберкулез и болезни легких*. 2020; 98(8): 24–31. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2020-98-8-24-31>. [Morozov SP, Vladimirovskiy AV, Gombolevskiy VA, et al. Artificial intelligence in lung cancer screening: assessment of the diagnostic accuracy of the algorithm analyzing low-dose computed tomography. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2020; 98(8): 24–31 (in Russ). <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2020-98-8-24-31>.]
 38. WHO position paper on mammography screening. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241507936> (accessed 12.09.2024).
 39. Wang Z, Zhang X, Wang X, et al. Deep learning techniques for imaging diagnosis of renal cell carcinoma: current and emerging trends. *Front Oncol*. 2023; 13: 1152622. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1152622>.
 40. Luchini C, Pea A, Scarpa A. Artificial intelligence in oncology: current applications and future perspectives. *Br J Cancer*. 2022; 126(1): 4–9. <https://doi.org/10.1038/s41416-021-01633-1>.
 41. Koh DM, Papanikolaou N, Bick U, et al. Artificial intelligence and machine learning in cancer imaging. *Commun Med*. 2022; 2: 133. <https://doi.org/10.1038/s43856-022-00199-0>.
 42. Yedavalli VS, Tong E, Martin D, et al. Artificial intelligence in stroke imaging: current and future perspectives. *Clin Imaging*. 2021; 69: 246–54. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2020.09.005>.
 43. Soun JE, Chow DS, Nagamine M, et al. Artificial intelligence and acute stroke imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2021; 42(1): 2–11. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6883>.
 44. Lui YW, Chang PD, Zaharchuk G, et al. Artificial intelligence in neuroradiology: current status and future directions. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2020; 41(8): E52–9. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6681>.
 45. Регентова О.С., Солодкий В.А., Боженко В.К. и др. Радиомический анализ данных в нейроонкологии. *Вестник Российского научного центра рентгено-радиологии*. 2024; 24(2): 69–77. [Regentova OS, Solodkiy VA, Bozhenko VK, et al. Radiomic data analysis in neurooncology. *Vestnik of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology*. 2024; 24(2): 69–77 (in Russ).]
 46. Hussain A, Fareed A, Taseen S. Bone fracture detection—Can artificial intelligence replace doctors in orthopedic radiography analysis? *Front Artif Intell*. 2023; 6: 1223909. <https://doi.org/10.3389/frai.2023.1223909>.

47. Dell'Aria A, Tack D, Saddiki N, et al. Radiographic detection of post-traumatic bone fractures: contribution of artificial intelligence software to the analysis of senior and junior radiologists. *J Belg Soc Radiol*. 2024; 108(1): 44. <https://doi.org/10.5334/jbsr.3574>.
48. Gurung B, Liu P, Harris PDR, et al. Artificial intelligence for image analysis in total hip and total knee arthroplasty: a scoping review. *Bone Joint J*. 2022; 104-B(8): 929–37. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.104B8.BJJ-2022-0120.R2>.
49. Нуднов Н.В., Коробов А.В., Скачков А.А. и др. Оценка качества работы искусственного интеллекта в выявлении дегенеративных заболеваний пояснично-крестцового отдела позвоночника. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(1): 20–8. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-20-28>. [Nudnov NB, Korobov AV, Skachkov AA, et al. Evaluation of artificial intelligence effectiveness in detection of lumbosacral spine degenerative diseases. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(1): 20–8 (in Russ). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-1-20-28>.]
50. Русаков А.С., Тумко В.В., Сарбаев Р.С. и др. Модель нейронной сети для выявления и классификации стенозов пояснично-крестцового отдела позвоночника на МР-томограммах. *Медицинская визуализация*. 2025; 29(1): 102–12. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1436>. [Rusakov AS, Tumko VV, Sarbaev RS, et al. A neural network model for detection and classification of central lumbosacral spinal stenosis on MRI scans. *Medical Visualization*. 2025; 29(1): 102–12 (in Russ). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1436>.]
51. Kim D, Lee JH, Kim SW, et al. Quantitative measurement of pneumothorax using artificial intelligence management model and clinical application. *Diagnostics*. 2022; 12(8): 1823. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12081823>.
52. Hunter JG, Pierce JD, Gilkeson RC, et al. clinical implementation of an artificial intelligence tool in the detection and management of pneumothoraces in patients with COVID-19. *Cureus*. 2023; 15(7): e42509. <https://doi.org/10.7759/cureus.42509>.
53. Mascarenhas Saraiva M, Ribeiro T, Afonso J, et al. Artificial intelligence and capsule endoscopy: automatic detection of small bowel blood content using a convolutional neural network. *GE Port J Gastroenterol*. 2021; 29(5): 331–8. <https://doi.org/10.1159/000518901>.
54. Kumar R, Kang FU, Sharma A, et al. Modern applications of artificial intelligence in the detection of diseases of the gastrointestinal tract, liver and pancreas. *Curr Med Chem*. 2022; 29(1): 66–85. <https://doi.org/10.2174/0929867328666210405114938>.
55. Cardobi N, Dal Palù A, Pedrini F, et al. An overview of artificial intelligence applications in liver and pancreatic imaging. *Cancers*. 2021; 13(9): 2162. <https://doi.org/10.3390/cancers13092162>.
56. Johnson KB, Wei WQ, Weeraratne D, et al. Precision medicine, AI, and the future of personalized health care. *Clin Transl Sci*. 2021; 14(1): 86–93. <https://doi.org/10.1111/cts.12884>.
57. Quazi S. Artificial intelligence and machine learning in precision and genomic medicine. *Med Oncol*. 2022; 39(8): 120. <https://doi.org/10.1007/s12032-022-01711-1>.
58. Evans W, Meslin EM, Kai J, Qureshi N. Precision medicine—are we there yet? A narrative review of precision medicine's applicability in primary care. *J Pers Med*. 2024; 14(4): 418. <https://doi.org/10.3390/jpm14040418>.