

<https://doi.org/10.22416/1382-4376-2025-35-6-27-34>
УДК 616.34-073.43:004.8



Искусственный интеллект для ультразвуковой диагностики заболеваний кишечника: современные возможности

Д.Д. Мухаметова*, О.Э. Табакчи, Д.И. Абдулганиева

ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Казань, Российская Федерация

Цель. Обзор современных достижений, возможностей и проблем применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) для анализа изображений ультразвукового исследования (УЗИ) кишечника.

Основные положения. Ультразвуковое исследование является высокоинформативным, безопасным и широкодоступным методом диагностики патологии кишечника. Внедрение ИИ, в частности методов глубокого обучения и радиомики, направлено на преодоление оператор-зависимости УЗИ, стандартизацию диагностики и повышение ее эффективности. В статье представлены данные о разработке и валидации ИИ-алгоритмов для ключевых направлений: воспалительные заболевания кишечника, острый аппендицит, инвагинация кишечника, колоректальный рак. Представлены ограничения и опасения, которые требуют решения для внедрения ИИ в клиническую практику.

Заключение. Интеграция ИИ в ультразвуковую диагностику заболеваний кишечника обладает значительным потенциалом для повышения точности, воспроизводимости и эффективности работы, особенно в условиях высокой нагрузки на специалистов.

Ключевые слова: воспалительные заболевания кишечника, болезнь Крона, язвенный колит, искусственный интеллект, УЗИ кишечника

Финансирование: работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан «Научно-техническое развитие Республики Татарстан».

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мухаметова Д.Д., Табакчи О.Э., Абдулганиева Д.И. Искусственный интеллект для ультразвуковой диагностики заболеваний кишечника: современные возможности. Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2025;35(6):27–34. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2025-35-6-27-34>

Artificial Intelligence in Ultrasound Diagnosis of Bowel Diseases: Modern Possibilities

Dilyara D. Mukhametova*, Olga E. Tabakchi, Diana I. Abdulganieva
Kazan State Medical University, Kazan, Russian Federation

Aim. Review of current achievements, opportunities and challenges in applying artificial intelligence (AI) for analyzing intestinal ultrasound images.

Key points. Ultrasound examination is a highly informative, safe, and widely accessible method for bowel pathology diagnosis. The integration of AI, particularly deep learning and radiomics methods, aims to overcome the operator-dependence of ultrasound, standardize diagnosis, and enhance its efficiency. This article reviews the development and validation of AI algorithms for key areas: inflammatory bowel diseases, acute appendicitis, bowel intussusception and colorectal cancer. Limitations and concerns that require resolution for the successful integration of AI into clinical practice are also discussed.

Conclusion. The integration of AI into ultrasound diagnosis of bowel diseases has significant potency for improving accuracy, reproducibility, and operational efficiency.

Keywords: inflammatory bowel disease, Crohn's disease, ulcerative colitis, artificial intelligence, intestinal ultrasound

Funding: the work was carried out with financial support from the grant of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, provided to young candidates of science (postdoctoral students) for the purpose of defending a doctoral dissertation, carrying out research work, and also performing work functions in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan "Scientific and Technical Development of the Republic of Tatarstan".

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Mukhametova D.D., Tabakchi O.E., Abdulganieva D.I. Artificial Intelligence in Ultrasound Diagnosis of Bowel Diseases: Modern Possibilities. Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology. 2025;35(6):27–34. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2025-35-6-27-34>

Ультразвуковое исследование (УЗИ) является одним из наиболее часто применяемых методов диагностики в медицине, поскольку обладает рядом преимуществ, такими как информативность, безопасность, доступность, неинвазивность и низкая стоимость. Согласно отчету главного внештатного специалиста Минздрава России по лучевой и инструментальной диагностике И.Е. Тюрина, в 2020 г. было выполнено более 326 млн лучевых исследований, при этом в структуре данных исследований преобладает ультразвуковое

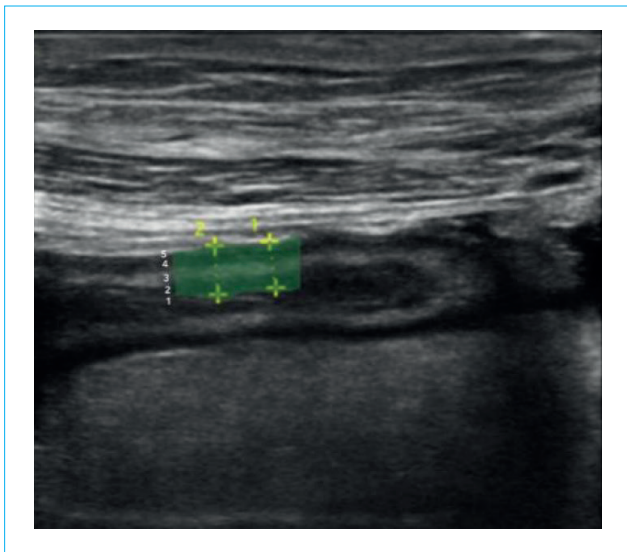


Рисунок 1. Эхограмма пациента 25 лет с илеитом болезни Крона. Отмечается утолщение кишечной стенки до 4 мм. Пятислойное строение кишечной стенки в продольном сечении: 1 – гиперэхогенный слой границы содержимого кишки и слизистой оболочки, 2 – гипоехогенный – мышечная пластинка слизистой оболочки, 3 – гиперэхогенный – подслизистый слой, 4 – гипоехогенный – мышечный слой, 5 – гиперэхогенный – граница серозной оболочки и окружающей клетчатки

Примечание: эхограмма из личного архива авторов.

Figure 1. Ultrasound imaging of a 25-year-old patient with Crohn's disease ileitis. Intestinal wall thickness is about 4 mm. A five-layered intestinal wall in longitudinal section: 1 – hyperechoic layer of the border of the contents of the intestine and mucous, 2 – hypoechoic, muscularis mucosae, 3 – hyperechoic, submucosa, 4 – hypoechoic, muscular propria, 5 – hyperechoic, border of the serosa and surrounding fiber

Note: ultrasound imaging from the personal archive of the authors.

исследование – 43 % [1]. Всего в 2020 г. было проведено 151 693 220 диагностических и профилактических УЗИ. Согласно FDA (Food and Drug Administration – Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов), в рамках «Инициативы по снижению излишнего радиационного излучения от медицинских приборов» для диагностики заболеваний предпочтительнее применение УЗИ. В связи с большой нагрузкой на ультразвуковую диагностику и значительным ее вкладом в диагностику необходимо повышение эффективности проведения УЗИ и оптимизация работы с данными [2].

УЗИ кишечника позволяет получить изображение кишечной стенки в продольном и поперечном сечении, представляющее собой пятислойную структуру при исследовании с помощью высокочастотных датчиков в диапазоне 5–15 МГц, которые определяются особенно четко при патологии (рис. 1), оценить толщину стенки и ее васкуляризацию. В соответствии с клиническими рекомендациями EFSUMB (European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology), нормальная толщина кишечной стенки составляет менее 2 мм при измерении в состоянии нормального наполнения, толщина луковицы двенадцатиперстной кишки и прямой кишки – менее 3 мм. В здоровой стенке кишечника редко можно обнаружить более 1 или 2 сигналов сосудов с помощью цветного или энергетического доплера [3].

Согласно материалам Первого глобального саммита по искусственному интеллекту (ИИ) в гастроэнтерологии и эндоскопии, гастроэнтерология является одной из ведущих областей для раннего внедрения ИИ. В этой области ИИ стремительно переходит от стадии экспериментов к клиническому применению. Ожидается, что в течение следующего десятилетия интеграция ИИ в гастроэнтерологию окажет значительное влияние на мониторинг пациентов с заболеваниями желудочно-кишечного тракта [4].

Основные понятия об ИИ

Несмотря на давность применения метода и его изученность, выполнение УЗИ до сих пор остается сложным оператор-зависимым методом, требующим многолетнего обучения и большого практического опыта, что делает его результаты нередко трудновоспроизводимыми. Именно этот факт стал пусковым моментом в создании системы автоматизированного обнаружения (САО). Большая часть САО основана на принципах машинного обучения – области ИИ, которая подразумевает обучение компьютерного алгоритма решению

определенных задач на основе множества примеров, для которых правильный ответ уже известен — обучающей выборки. САО возникает на пересечении статистики, которая стремится изучать взаимосвязи на основе данных, и компьютерных наук с акцентом на эффективные вычислительные алгоритмы [2].

В последние годы особенную популярность приобрели искусственные нейронные сети (artificial neural network, ANN) — подмножество алгоритмов машинного обучения, построенных по принципу организации биологических нейронных сетей. В отличие от методов классического обучения, в которых исследователь должен сам определять признаки объектов, по которым будет проводиться обучение алгоритма машинного обучения, нейронные сети обучаются выделять эти признаки самостоятельно. Искусственные нейронные сети состоят из связанных между собой нейронов — вычислительных единиц, которые принимают на вход информацию, производят над ней простые вычислительные операции и передают ее дальше. В нейронных сетях выделяют три типа слоев: входной слой, нейроны которого распределяют входную информацию по остальным нейронам, скрытый слой, нейроны которого преобразуют входные данные в некоторые промежуточные результаты, и выходной слой, нейроны которого преобразуют сигналы от скрытых слоев и выдают ответ на задачу [5].

Значительно улучшить качество решения многих задач машинного обучения удалось благодаря глубоким нейронным сетям (deep neural network, DNN) — искусственным нейросетям с множеством скрытых слоев, которые позволяют извлекать признаки из сложных данных: изображений, речи и др. [5]. Для анализа изображений и видео широко применяются глубокие сверточные нейронные сети (convolutional neural networks, CNN). В сверточных нейронных сетях изображения многократно обрабатываются с использованием различных фильтров в ходе процесса, называемого сверткой, в результате чего создаются карты признаков [6]. Обучение сверточной нейронной сети заключается в подборе лучших фильтров. CNN получили большое распространение в медицине для анализа медицинских изображений [7].

ИИ в УЗ-диагностике воспалительных заболеваний кишечника

Всем пациентам с воспалительными заболеваниями кишечника (ВЗК), согласно Российским клиническим рекомендациям по ведению пациентов с язвенным колитом (ЯК) и болезнью Крона (БК), рекомендовано проведение трансабдоминального УЗИ кишечника для оценки толщины кишечной стенки, наличия дефектов в зоне поражения, определения степени васкуляризации [8, 9]. УЗИ кишечника включено и в методические рекомендации ESGAR (European Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology) и ECCO (European Crohn's

and Colitis Organisation) по диагностике ВЗК [10]. По данным последних метаанализов, сравнивающих УЗИ, КТ и МРТ для диагностики ВЗК, не выявлено существенных различий в диагностической точности этих методов. Но поскольку пациенты с ВЗК нуждаются в частом мониторинге состояния болезни, более предпочтителен метод без лучевой нагрузки [11–13].

К ультразвуковым признакам ВЗК относят: утолщение кишечной стенки более 4 мм у взрослых и более 3 мм у детей, вовлечение в патологический процесс слизистой и подслизистой оболочек при ЯК, трансмурально — при БК, также при доплерографии отмечается усиление кровотока в кишечной стенке. УЗИ позволяет выявить также осложнения ВЗК — токсический мегаколон, развитие стриктур и инфильтратов, формирование свищей и т.д. [14]. Характерные изменения в кишечной стенке при БК с развитием осложнения в виде стриктуры и формирования инфильтрата представлены на рисунке 2. УЗИ кишечника рекомендуется использовать для выявления ВЗК в дебюте болезни, для оценки локализации воспалительного процесса, определения активности и возможных осложнений при ВЗК [14].

В настоящее время нет единой точки зрения относительно использования ИИ для интерпретации изображений трансабдоминального УЗИ кишечника. Появляются единичные исследования, проводившие обучение нейронных сетей для выявления утолщения кишечной стенки. Так, D. Carter et al. для обнаружения утолщенной стенки кишечника использовали модель ИИ на основе CNN. В исследовании было использовано 1008 ультразвуковых изображений: 805 из них применялись для обучения, а 203 — для тестирования работы обученной модели. В результате модель продемонстрировала общую точность, чувствительность и специфичность для обнаружения утолщения стенки кишечника: 90,1, 86,4 и 94 % соответственно. С помощью обученной нейронной сети удалось достичь значения средней площади под ROC-кривой (AUC ROC) равного 0,97, что свидетельствует о высокой точности модели в определении утолщенной и не утолщенной стенок кишечника [15].

На данный момент отсутствуют данные о применении технологий ИИ в реальном времени в рутинных исследованиях ультразвуковой диагностики. Внедрение таких решений могло бы потенциально повысить эффективность обнаружения патологических изменений, например путем отображения индикаторов на экране — аналогично тому, как это реализовано в некоторых программах для визуализации контрастного исследования (VCE) [16].

Также в последние годы заметно возрос интерес к радиомике — области, где программное обеспечение способно извлекать обширный набор потенциальных количественных признаков из изображений, которые затем анализируются с целью определения их прогностической ценности [17].

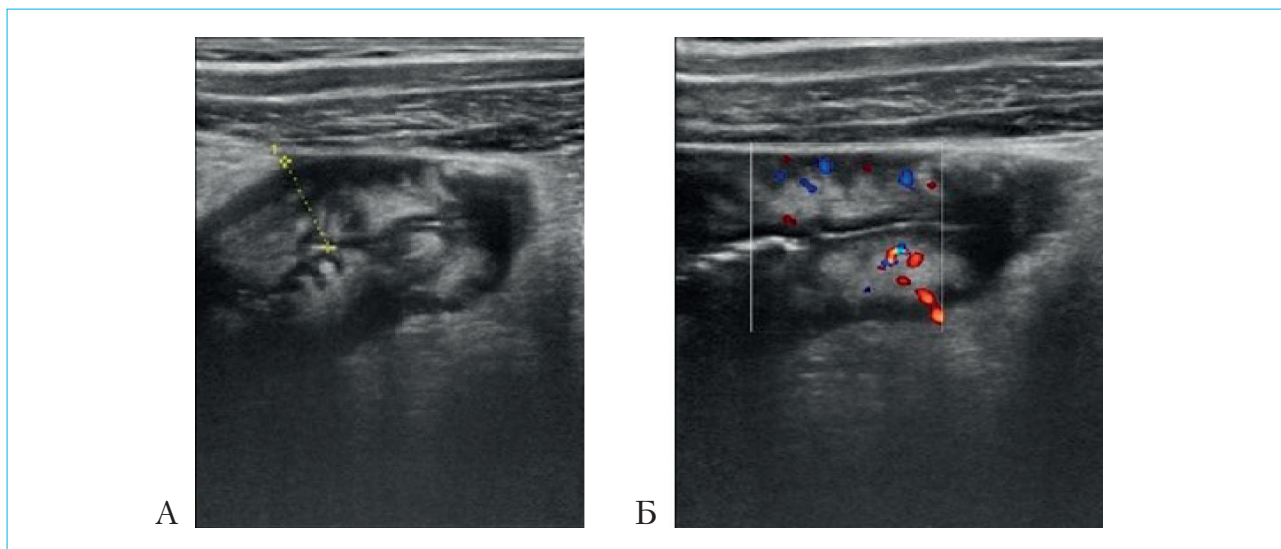


Рисунок 2. Эхограмма пациента 32 лет с болезнью Крона сигмовидной кишки: А — утолщение стенки сигмовидной кишки до 11,6 мм (за счет подслизистой и мышечной оболочек), сужающее просвет кишки, по периферии сигмовидной кишки отмечается гипохойный ободок и фиксация петель с окружающей гиперэхогенной клетчаткой с формированием инфильтрата; Б — при доплерографии определяется усиление кровотока

Примечание: эхограмма из личного архива авторов.

Figure 2. Ultrasound imaging of a 32-year-old patient with Crohn's disease sigmoiditis: A — in the sigmoid colon, wall thickening is about 11.6 mm (due to the submucosa and muscularis propria), intestinal lumen is narrowed; along the periphery of the sigmoid colon, a hypoechoic rim and fixation of loops with surrounding hyperechoic tissue with the formation of an infiltrate are noted; Б — dopplerography reveals increased blood flow

Note: ultrasound imaging from the personal archive of the authors.

Таким образом, под радиомикой понимают объединение радиологии, математического моделирования и глубокого машинного обучения. В научной литературе уже представлено несколько моделей машинного обучения для диагностики БК, разработанных на основе радиомических данных по КТ и МРТ [18, 19]. И только относительно недавно была опубликована работа по использованию радиомики в анализе изображений трансабдоминального УЗИ у пациентов с ВЗК. В исследовании P. Gu et al. на выборке из 125 изображений трансабдоминального УЗИ у пациентов с ВЗК обучали различные классические алгоритмы машинного обучения и сверточную нейронную сеть для определения нормальных и аномальных изображений. Лучшее качество классификации показал классификатор на основе алгоритма градиентного бустинга. Средние значения ROC AUC, чувствительности, специфичности и точности на тестовой выборке составили 0,98, 93,8, 93,8 и 93,7 % соответственно. При этом с помощью классификатора на основе CNN удалось достичь значения ROC AUC лишь 0,75 [20].

Таким образом, несмотря на то что CNN успешно используются в задачах обнаружения патологии на основе изображений, радиомика также предлагает возможность глубокого анализа количественной

информации из медицинских изображений, которая обычно не узнаваема или не различима невооруженным человеческим глазом, и в определенных задачах может не уступать нейронным сетям. Дополнительно радиомика имеет значительное преимущество в возможности интеграции с другими клиническими данными, открывая возможности для мультимодального анализа, который способен решать более широкий круг вопросов.

ИИ в УЗИ диагностике острого аппендицита

Аппендикс отходит от слепой кишки примерно на 3 см ниже илеоцекального клапана в точке, где сходятся три *teniae coli*. В норме диаметр аппендикса редко превышает 4–5 мм [3]. К ультразвуковым признакам острого аппендицита относятся: максимальный наружный диаметр более 6 мм, максимальная болезненность над утолщенным аппендиксом при компрессии датчиком, ригидность воспаленного аппендикса при компрессии датчиком, гиперваскуляризация при цветном доплеровском картировании, перикалеальный абсцесс, гиперэхогенная периаппендикулярная ткань, мезентериальная лимфаденопатия. Использование ультразвуковой визуализации должно быть рутинной процедурой у каждого пациента с подозрением на аппендицит [21].

Применение ИИ в абдоминальной УЗ-диагностике показывает многообещающие предварительные результаты для диагностики острого аппендицита [22]. Модель, разработанная R. Marcinkevičs et al. при анализе 1709 эхограмм 579 пациентов, продемонстрировала AUC 0,80 для прогнозирования аппендицита [23]. С. Stiel et al. разработали новый ИИ-индекс диагностики острого аппендицита на основании четырех классических шкал аппендицита: Гейдельбергская шкала аппендицита, шкала Альварардо, педиатрическая шкала аппендицита и шкала Цанакиса. В результате исследователи получили положительную прогностическую ценность (PPV) 95,0 % и отрицательную прогностическую ценность (NPV) 70,0 % при неосложненном аппендиците, а при перфоративном – PPV 34,4 % и NPV 93,8 % [24]. Позже W. Ghareeb et al. сравнили прогностическую ценность модели острого аппендицита, основанной на ИИ, со шкалой Альварардо, критериями УЗИ и их объединенной оценкой, стандартом считалось гистопатологическое исследование. Для разработки модели ИИ были предварительно обработаны данные из множества переменных, такие как результаты УЗИ, характеристики пациентов, клинические особенности, что позволяло эффективно использовать методы машинного обучения. Оказалось, что прогностическая модель ИИ продемонстрировала более высокую чувствительность (100 %) и точность

(97,9 %), однако ее специфичность составила 80 %, что было выше, чем у шкалы Альварардо, но ниже, чем у объединенной оценки Альварардо и критериев УЗИ (100 %) [25].

ИИ в УЗ-диагностике инвагинации кишечника

УЗИ является надежным инструментом для диагностики инвагинации кишечника у детей без риска лучевого воздействия. Ранее проведенные исследования с небольшими выборками продемонстрировали высокую эффективность ультразвуковой диагностики инвагинации, достигая чувствительности более 92 % [26]. С учетом сниженной чувствительности диагностики у УЗ-специалистов с базовыми навыками точность выявления инвагинации в значительной мере зависит от квалификации эксперта, поэтому внедрение ИИ может помочь повысить эффективность диагностики. X. Chen et al. разработали и проверили систему CIDNet для диагностики инвагинации кишечника у детей, которая показала AUC 0,9716 при анализе исследуемых данных. Система CIDNet отличалась от мнения экспертов-рентгенологов более высокой эффективностью (AUC 0,97) [27]. В исследовании Y. Pei et al. алгоритм распознал 1086 изображений с тремя признаками илеоцекальной инвагинации (AUC 0,97), а также диагностировал 184 пациентов без инвагинации, с нехирургической инвагинацией и хирургической инвагинацией

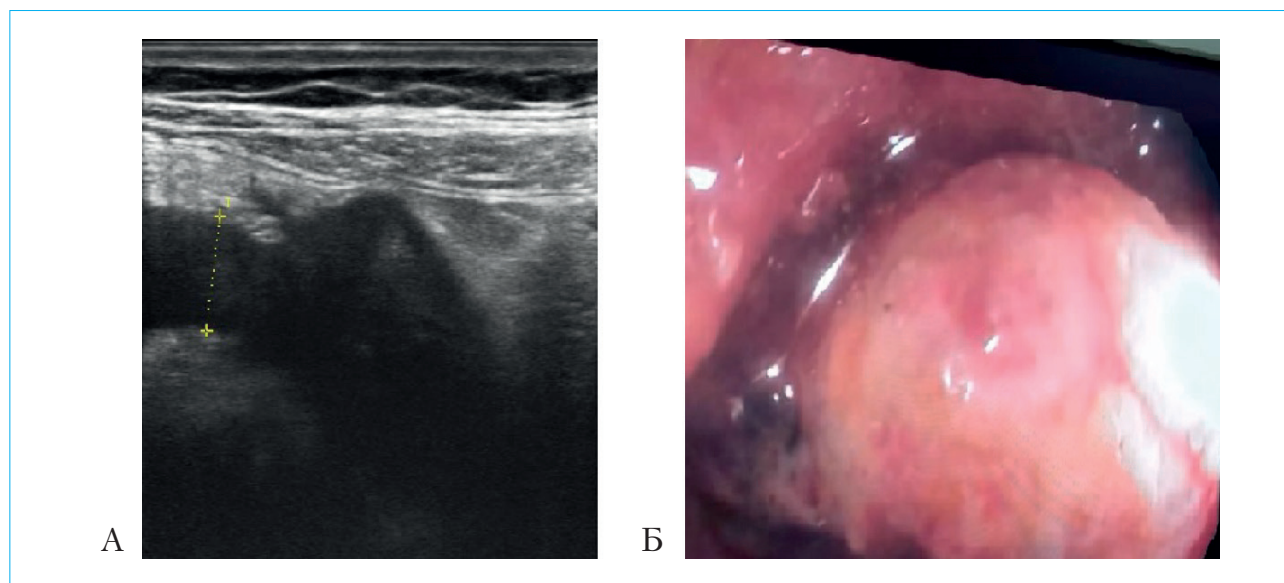


Рисунок 3. Пациент 64 лет: А – эхограмма с опухолью сигмовидной кишки, где на протяжении около 30 мм определяется неравномерное гипоэхогенное утолщение кишечной стенки до 11 мм с нарушением ее структуры, сужающее просвет, с усиленной васкуляризацией при доплеровском исследовании; Б – эндоскопическая картина с дальнейшей морфологической верификацией аденокарциномы

Примечание: эхограмма из личного архива авторов.

Figure 3. A 64-year-old patient: А – ultrasound imaging with a sigmoid tumor, where an uneven hypoechoic thickening of the intestinal wall up to 11 mm with a violation of its structure, narrowing the lumen, with increased vascularization in a Doppler are determined over a length of about 30 mm; Б – endoscopy with subsequent morphological verification of adenocarcinoma

Note: ultrasound imaging from the personal archive of the authors.

в 184 ультразвуковых видео со средним значением AUC 0,95. Это позволило повысить эффективность работы УЗ-специалистов с базовыми навыками (среднее значение AUC: 0,966 против 0,857, $p < 0,001$; медианное время сканирования: 9,46 мин. против 3,66 мин., $p < 0,001$). Эффективность оказалась сопоставима с показателями опытных специалистов по УЗИ (среднее значение AUC: 0,966 против 0,973, $p = 0,6$) [28].

ИИ в УЗИ диагностике злокачественных новообразований кишечника

Колоректальный рак (КРР) является одним из самых распространенных злокачественных новообразований желудочно-кишечного тракта в мире [29]. Основной проблемой является сложность его диагностики на начальной стадии, поэтому ранняя диагностика имеет важное значение для успешной профилактики и лечения данной патологии. По ультрасонографии такие признаки, как гипоехогенное локальное утолщение стенки кишечника с неровным контуром, потеря дифференциации слоев кишечной стенки и отсутствие нормальной перистальтики, могут указывать на злокачественность [30]. Пример сонографической картины при аденокарциноме сигмовидной кишки представлен на рисунке 3.

Недавно ряд исследователей обратил внимание на опухолевые отложения (синоним — опухолевые депозиты) при морфологическом исследовании при раке прямой кишки, которые представляют собой очаги роста аденокарциномы в мезоколической/мезоректальной клетчатке вне лимфатических узлов. Эти образования не имеют связи с первичной опухолью и не ассоциированы с лимфатическими узлами. Наличие у пациента опухолевых отложений является негативным прогностическим фактором, ассоциированным с более высоким риском рецидива, снижением безрецидивной и общей выживаемости [31, 32].

L. Chen et al. разработали систему с использованием ультразвуковой радиомики и клинических параметров для диагностики опухолевых отложений (чувствительность — 72,7 %, специфичность — 75,9 %, а AUC — 0,743). Исследование продемонстрировало, что ультразвуковая радиомика обладает потенциалом для прогнозирования опухолевых отложений до начала лечения [33]. D. Song et al. разработали модель на основе ERUS, которая предназначена для выявления злокачественных колоректальных опухолей. Эта система может значительно снизить нагрузку на специалистов по ультразвуковой диагностике и уменьшить количество диагностических ошибок [34].

Ограничения и опасения

Способность к обобщаемости или поиску общих закономерностей в данных, остается серьезной

проблемой для многих алгоритмов машинного обучения, что создает трудности при переходе от исследований в области компьютерных наук к клинической практике. Данные, используемые для обучения, проверки и тестирования алгоритмов, которые продемонстрировали впечатляющие результаты в научных исследованиях, часто недостаточно учитывают изменчивость в реальной клинической практике [35].

Предвзятость людей к решениям автоматизированных систем является серьезной проблемой при внедрении ИИ в клиническую практику. Это явление означает, что люди склонны некритично доверять и предпочитать решения, предложенные алгоритмами, даже при наличии противоречивой информации или собственных сомнений. Исследователи считают, что люди будут ожидать практически идеальной работы ИИ, но неудачи алгоритмов будут оцениваться менее строго, чем ошибки человека [36]. Также существует риск развития излишней зависимости (или «слепого доверия») от автоматизации со стороны врача-диагноста, что может повлечь за собой развитие большого количества ошибок в случае сбоя алгоритма ИИ.

Кроме того, существенным недостатком нейронных сетей является непрозрачность их работы, что сильно затрудняет установление доверия к ИИ в общественном сознании [37]. Медицинское сообщество может требовать более строгих нормативных стандартов для внедрения и одобрения ИИ-технологий. Вопросы подотчетности, ответственности будут так же важны для общества, как и точность и производительность алгоритмов. Помимо этого, использование ИИ будет затрагивать вопрос конфиденциальности данных [36].

Также нельзя не упомянуть о высокой стоимости использования ИИ, что может стать препятствием для внедрения алгоритмов в реальную клиническую практику. Однако экономия может достигаться за счет повышения эффективности и сокращения количества пропущенных патологических симптомов [36].

Заключение

Эксперты Первого глобального саммита по ИИ в гастроэнтерологии и эндоскопии пришли к выводу, что гастроэнтерология может стать одной из первых специальностей с ранним внедрением ИИ в клиническую практику [4]. Современные подходы УЗИ с применением ИИ могут в дальнейшем улучшить диагностику заболеваний желудочно-кишечного тракта, снизить затраты на здравоохранение и оптимизировать мониторинг пациентов на пути к достижению ремиссии заболевания [38].

Литература / References

- Отчет за 2020 г. главного внештатного специалиста Минздрава России по лучевой и инструментальной диагностике Тюрина И.Е. [Report for 2020 by the chief freelance specialist of the Ministry of Health of Russia on radiation and instrumental diagnostics Tyurin I.E. (In Russ.)]. URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/056/620/original/Отчет_за_2020_год_Тюрин.pdf?1624967722 (accessed: 07.12.2022).
- Лебедев Г.С., Шадеркин И.А., Шадеркина А.И. Цифровая трансформация ультразвуковой диагностики. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. 2022;8(4):21–45. [Lebedev G.S., Shaderkin I.A., Shaderkina A.I. Digital transformation of ultrasound diagnostics. *Russian Journal of Telemedicine and E-Health*. 2022;8(3):21–45. (In Russ.)]. DOI: 10.29188/2712-9217-2022-8-4-21-45
- Nylund K., Macconi G., Hollerweger A., Ripolles T., Pallotta N., Higginson A., et al. EFSUMB recommendations and guidelines for gastrointestinal ultrasound – part 1: examination techniques and normal findings (Short version). *Ultraschall in Med*. 2017;38(3):1–15. DOI: 10.1055/s-0042-115853
- Parasa S., Wallace M., Bagci U., Antonino M., Berzin T., Byrne M., et al. Proceedings from the First Global Artificial Intelligence in Gastroenterology and Endoscopy Summit. *Gastrointest Endosc*. 2020;92(4):938–45.e1. DOI: 10.1016/j.gie.2020.04.044
- Cannarozzi A.L., Latiano A., Massimino L., Bossa F., Giuliani F., Riva M., et al. Inflammatory bowel disease genomics, transcriptomics, proteomics and metagenomics meet artificial intelligence. *United European Gastroenterol J*. 2024;12(10):1461–80. DOI: 10.1002/ueg2.12655
- Christou C.D., Tsoulfas G. Challenges and opportunities in the application of artificial intelligence in gastroenterology and hepatology. *World J Gastroenterol*. 2021;27(37):6191–223. DOI: 10.3748/wjg.v27.i37.6191
- Yang Y.J., Bang C.S. Application of artificial intelligence in gastroenterology. *World J Gastroenterol*. 2019;25(14):1666–83. DOI: 10.3748/wjg.v25.i14.1666
- Шельгин Ю.А., Ивашкин В.Т., Ачкасов С.И., Решетов И.В., Маев И.В., Белоусова Е.А. и др. Клинические рекомендации. Болезнь Крона (K50), взрослые. *Колопроктология*. 2023;22(3):10–49. [Shelygin Yu.A., Ivashkin V.T., Achkasov S.I., Reshetov I.V., Maev I.V., Belousova E.A., et al. Clinical guidelines. Crohn's disease (K50), adults. *Koloproktologia*. 2023;22(3):10–49. (In Russ.)]. DOI: 10.33878/2073-7556-2023-22-3-10-49
- Шельгин Ю.А., Ивашкин В.Т., Белоусова Е.А., Решетов И.В., Маев И.В., Ачкасов С.И. и др. Язвенный колит (K51), взрослые. *Колопроктология*. 2023;22(1):10–44. [Shelygin Yu.A., Ivashkin V.T., Belousova E.A., Reshetov I.V., Maev I.V., Achkasov S.I., et al. Ulcerative colitis (K51), adults. *Koloproktologia*. 2023;22(1):10–44. (In Russ.)]. DOI: 10.33878/2073-7556-2023-22-1-10-44
- Sturm A., Maaser C., Calabrese E., Annesse V., Fiorino G., Kucharzik T., et al. ECCO-ESGAR Guideline for Diagnostic Assessment in IBD Part 2: IBD scores and general principles and technical aspects. *Journal of Crohn's & colitis*. 2019;13(3):273–84. DOI: 10.1093/ecco-jcc/jyy114
- Horsthuis K., Bipat S., Bennink R. J., Stoker J. Inflammatory bowel disease diagnosed with US, MR, scintigraphy, and CT: Meta-analysis of prospective studies. *Radiology*. 2008;247(1):64–79. DOI: 10.1148/radiol.2471070611
- Panes J., Bouhnik Y., Reinisch W., Stoker J., Taylor S. A., Baumgart D. C., et al. Imaging techniques for assessment of inflammatory bowel disease: Joint ECCO and ESGAR evidence-based consensus guidelines. *J Crohns Colitis*. 2013;7:556–85. DOI: 10.1016/j.crohns.2013.02.020
- Sasaki T., Kunisaki R., Kinoshita H., Yamamoto H., Kimura H., Hanzawa A., et al. Use of color Doppler ultrasonography for evaluating vascularity of small intestinal lesions in Crohn's disease: Correlation with endoscopic and surgical macroscopic findings. *Scand J Gastroenterol*. 2014;49:295–301. DOI: 10.3109/00365521.2013.871744
- Macconi G., Nylund K., Ripolles T., Calabrese E., Dirks K., Dietrich C. F., et al. EFSUMB recommendations and clinical guidelines for intestinal ultrasound (GIUS) in inflammatory bowel diseases. *Ultraschall Med*. 2018;39(3):304–17. DOI: 10.1055/s-0043-125329
- Carter D., Albshesh A., Shimon C., Segal B., Yershov A., Kopylov U., et al. Automatized detection of crohn's disease in intestinal ultrasound using convolutional neural network. *Inflamm Bowel Dis*. 2023;29(12):1901–6. DOI: 10.1093/ibd/izad014
- Tagliamonte G., Santagata F., Fraquelli M. Current developments and role of intestinal ultrasound including the advent of AI. *Diagnostics*. 2024;14(7):759. DOI: 10.3390/diagnostics14070759
- Hameed M., Taylor S.A. Small bowel imaging in inflammatory bowel disease: Updates for 2023. *Expert Review of Gastroenterology & Hepatology*. 2023;17(11):1117–34. DOI: 10.1080/17474124.2023.2274926
- Lin S., Lin X., Li X., Chen M., Mao R. Making qualitative intestinal stricture quantitative: Embracing radiomics in IBD. *Inflamm Bowel Dis*. 2020;26(5):743–5. DOI: 10.1093/ibd/izz197
- Xiao M.J., Pan Y.T., Tan J.H., Li H.O., Wang H.Y. Computed tomography-based radiomics combined with machine learning allows differentiation between primary intestinal lymphoma and Crohn's disease. *World J Gastroenterol*. 2024;30(25):3155–65. DOI: 10.3748/wjg.v30.i25.3155
- Gu P., Chang J.H., Carter D., McGovern D.P.B., Moore J., Wang P., et al. Radiomics-based Analysis of intestinal ultrasound images for inflammatory bowel disease: a feasibility study. *Crohns Colitis 360*. 2024;6(2):otae034. DOI: 10.1093/crocol/otae034
- Dirks K., Calabrese E., Dietrich C.F., Gilja O.H., Hausken T., Higginson A., et al. EFSUMB Position Paper: Recommendations for gastrointestinal ultrasound (GIUS) in Acute appendicitis and diverticulitis. *Ultraschall Med*. 2019;40(2):163–75. DOI: 10.1055/a-0824-6952
- Cai L., Pfob A. Artificial intelligence in abdominal and pelvic ultrasound imaging: current applications. *Abdom Radiol*. 2025;50(4):1775–89. DOI: 10.1007/s00261-024-04640-x
- Marcinkevicius R., Reis Wolfertstetter P., Klimiene U., Chin-Cheong K., Paschke A., Zerres J., et al. Interpretable and intervenable ultrasonography-based machine learning models for pediatric appendicitis. *Med Image Anal*. 2024;91:103042. DOI: 10.1016/j.media.2023.103042
- Stiel C., Elrod J., Klinke M., Herrmann J., Junge C.M., et al. The modified Heidelberg and the AI appendicitis score are superior to current scores in predicting appendicitis in children: A two-center cohort study. *Front Pediatr*. 2020;8:592892. DOI: 10.3389/fped.2020.592892
- Ghareeb W.M., Emile S.H., Elshobaky A. Artificial intelligence compared to alvarado scoring system alone or combined with ultrasound criteria in the diagnosis of acute appendicitis. *J Gastrointest Surg*. 2022;26:655–8. DOI: 10.1007/s11605-021-05147-2
- Hryhorczuk A.L., Strouse P.J. Validation of US as a first-line diagnostic test for assessment of pediatric ileocolic intussusception. *Pediatr Radiol*. 2009;39(10):1075–9. DOI: 10.1007/s00247-009-1353-z
- Chen X., You G., Chen Q., Zhang X., Wang N., He X., et al. Development and evaluation of an artificial intelligence system for children intussusception diagnosis using ultrasound images. *iScience*. 2023;26(4):106456. DOI: 10.1016/j.isci.2023.106456
- Pei Y., Wang G., Cao H., Jiang S., Wang D., Wang H., et al. A deep-learning pipeline to diagnose pediatric intussusception and assess severity during ultrasound scanning: A multicenter retrospective-prospective study. *NPJ Digit Med*. 2023;6(1):182. DOI: 10.1038/s41746-023-00930-8

29. Sawicki T., Ruszkowska M., Danielewicz A., Niedźwiedzka E., Artukowicz T., Przybyłowicz K.E. A review of colorectal cancer in terms of epidemiology, risk factors, development, symptoms and diagnosis. *Cancers (Basel)*. 2021;13(9):2025. DOI: 10.3390/cancers13092025
30. Bor R., Fábrián A., Szepes Z. Role of ultrasound in colorectal diseases. *World J Gastroenterol*. 2016;22(43):9477–87. DOI: 10.3748/wjg.v22.i43.9477
31. Ueno H., Nagtegaal I.D., Quirke P., Sugihara K., Ajioaka Y. Tumor deposits in colorectal cancer: Refining their definition in the TNM system. *Ann Gastroenterol Surg*. 2023;7(2):225–35. DOI: 10.1002/ags3.12652
32. Khan H., Radomski S.N., Siddiqi A., Zhou N., Panitz D.C., Johnston F.M. Tumor deposits are associated with a higher risk of peritoneal disease in non-metastatic colorectal cancer patients. *J Surg Oncol*. 2023;127(6):975–82. DOI: 10.1002/jso.27207
33. Chen L.D., Li W., Xian M.F., Zheng X., Lin Y., Liu B.X., et al. Preoperative prediction of tumour deposits in rectal cancer by an artificial neural network-based US radiomics model. *Eur Radiol*. 2020;30(4):1969–79. DOI: 10.1007/s00330-019-06558-1
34. Song D., Zhang Z., Li W., Yuan L., Zhang W. Judgment of benign and early malignant colorectal tumors from ultrasound images with deep multi-View fusion. *Comput Methods Programs Biomed*. 2022;215:106634. DOI: 10.1016/j.cmpb.2022.106634
35. Kim D.W., Jang H.Y., Kim K.W., Shin Y., Park S.H. Design characteristics of studies reporting the performance of artificial intelligence algorithms for diagnostic analysis of medical images: results from recently published papers. *Korean J Radiol*. 2019;20(3):405–10. DOI: 10.3348/kjr.2019.0025
36. Mervak B.M., Fried J.G., Wasnik A.P. A review of the clinical applications of artificial intelligence in abdominal imaging. *diagnostics (Basel)*. 2023;13(18):2889. DOI: 10.3390/diagnostics13182889
37. Coppola F., Faggioni L., Gabelloni M., De Vietro F., Mendola V., Cattabriga A., et al. Human, all too human? an all-around appraisal of the “artificial intelligence revolution” in medical imaging. *Front Psychol*. 2021;12:710982. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.710982
38. Akkus Z., Cai J., Boonrod A., Zeinoddini A., Weston A.D., Philbrick K.A., et al. A survey of deep-learning applications in ultrasound: artificial intelligence – powered ultrasound for improving clinical workflow. *J Am Coll Radiol*. 2019;16(B):1318–28. DOI: 10.1016/j.jacr.2019.06.004

Сведения об авторах

Мухаметова Диляра Дамировна* — кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии, ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.
Контактная информация: muhdilyara@gmail.com; 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, 49.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2102-0142>

Табакчи Ольга Эриковна — аспирант кафедры госпитальной терапии, ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.
Контактная информация: olya-akchurina@mail.ru; 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, 49.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5739-7807>

Абдулганиева Диана Ильдаровна — доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой госпитальной терапии, ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.
Контактная информация: diana.abdulganieva@kazangmu.ru; 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, 49.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7069-2725>

Вклад авторов

Концепция и формулирование цели обзора литературы: Мухаметова Д.Д., Абдулганиева Д.И.
Сбор и обработка материалов: Мухаметова Д.Д., Табакчи О.Э.
Написание текста: Мухаметова Д.Д., Табакчи О.Э.
Редактирование: Мухаметова Д.Д., Табакчи О.Э., Абдулганиева Д.И.
Проверка верстки и ее согласование с авторским коллективом: Мухаметова Д.Д., Табакчи О.Э., Абдулганиева Д.И.

Information about the authors

Dilyara D. Mukhametova* — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Hospital Therapy, Kazan State Medical University.
Contact information: muhdilyara@gmail.com; 420012, Kazan, Butlerova str., 49.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2102-0142>

Olga E. Tabakchi — Postgraduate of the Department of Hospital Therapy, Kazan State Medical University.
Contact information: olya-akchurina@mail.ru; 420012, Kazan, Butlerova str., 49.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5739-7807>

Diana I. Abdulganieva — Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Hospital Therapy, Kazan State Medical University.
Contact information: diana.abdulganieva@kazangmu.ru; 420012, Kazan, Butlerova str., 49.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7069-2725>

Authors' contributions

Concept and design of the study: Mukhametova D.D., Abdulganieva D.I.
Collection and processing of the material: Mukhametova D.D., Tabakchi O.E.
Writing of the text: Mukhametova D.D., Tabakchi O.E.
Editing: Mukhametova D.D., Tabakchi O.E., Abdulganieva D.I.
Proof checking and approval with authors: Mukhametova D.D., Tabakchi O.E., Abdulganieva D.I.

Поступила: 23.02.2025 Принята: 09.04.2025 Опубликовано: 20.12.2025
Submitted: 23.02.2025 Accepted: 09.04.2025 Published: 20.12.2025

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author