

Возможности искусственного интеллекта при оценке патологии поджелудочной железы по данным спиральной компьютерной томографии

© Б.В. СИГУА¹, С.В. КЛЕЙМЮК¹, Е.А. ЗАХАРОВ², Е.А. СЕМЕНОВА³,
Д.Д. ЛОГИНОВА³, В.П. ЗЕМЛЯНОЙ²

¹Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Российская Федерация

Искусственный интеллект – это изучение алгоритмов, которые дают машинам способность «рассуждать» и приобретать когнитивные функции для достижения производительности человеческого уровня в задачах, связанных с познанием, таких как, например, решение проблем, распознавание объектов и слов, принятие решений. В настоящее время имеется масса исследований, доказывающих, что искусственный интеллект не только наравне с врачами может проводить диагностику заболеваний, но и тратить на это гораздо меньший временной ресурс. Искусственный интеллект вошел во многие сферы медицины и, в последнее время, его роль стала более весомой в диагностике и лечении патологии поджелудочной железы.

За последнее десятилетие значительно увеличилось количество и вариация методов анализа медицинских изображений в связи с развитием искусственного интеллекта, новых программ для анализа и систематизации объектов.

Целью данного обзора является анализ, обобщение и оценка данных, которые были опубликованы в научной литературе об использовании методик искусственного интеллекта для диагностики патологии поджелудочной железы по результатам компьютерной томографии. Демонстрация дальнейших перспектив и необходимости развития данного направления в медицинской практике.

Систематический поиск литературы проведен по базам данных журналов «PubMed» и «eLibrary». Поиск литературы в журналах проводился по ключевым словам: «искусственный интеллект», «поджелудочная железа», «компьютерная томография», «радиомика». Интервал поиска — 2015–2023 гг. Были изучены все работы зарубежных и отечественных авторов, которые несут в себе информацию об использовании различных вариаций методик искусственного интеллекта для дифференциальной диагностики патологии поджелудочной железы, преимущественно по данным компьютерной томографии, а также их оценка для демонстрации преимущества дальнейшего развития в области медицины.

На сегодняшний день программы искусственного интеллекта по данным спиральной компьютерной томографии позволяют дифференцировать патологию поджелудочной железы с высокой точностью, что значительно облегчает человеческие усилия и служит незаменимым помощником в работе. Именно поэтому необходимо как можно активнее внедрять данные технологии в оборот медицинских учреждений для того, чтобы расширять базу данных искусственного интеллекта, что позволит добиться более точных результатов в диагностике заболеваний поджелудочной железы и не только.

Ключевые слова: искусственный интеллект; диагностика; поджелудочная железа; спиральная компьютерная томография, радиомика

Potentials of Artificial Intelligence in Assessing Pancreatic Pathology Based on Spiral Computed Tomography Findings

© B.V. SIGUA¹, S.V. KLEIMUK¹, E.A. ZACHAROV², E.A. SEMENOVA³, D.D. LOGINOVA³,
V.P. ZEMLYNOY²

¹Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russian Federation

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation

³Saint Petersburg Electrotechnical University LETI, Saint Petersburg, Russian Federation

Artificial intelligence is the study of algorithms that give machines the ability to "reason" and acquire cognitive functions to achieve human-level performance in cognition-related tasks such as, for example, problem solving, object and word recognition, and decision-making. Currently, there are a lot of studies proving that artificial intelligence can not only diagnose diseases on a par with doctors, but also spend much less time on it. Artificial intelligence has entered many areas of medicine, and recently its role has become more significant in the diagnosis and treatment of pancreatic pathology.

Over the past decade, the number and variation of methods for analyzing medical images has increased significantly due to the development of artificial intelligence, new programs for analyzing and systematizing objects.

The aim of this review is to analyze, summarize and evaluate data published in the scientific literature on the use of artificial intelligence techniques to diagnose pancreatic pathology based on the results of computed tomography. It is demonstrated further

perspectives and the need to develop this area in medical practice.

A systematic literature search was conducted on the databases of the journals PubMed and eLibrary. The search for literature was carried out by keywords: "artificial intelligence", "pancreas", "computed tomography", "radiomics". The search interval was 2015–2023. The authors investigated all research studies of foreign and Russian scientists, which contain information on the use of diverse options of artificial intelligence techniques for differential diagnosis of pancreatic pathology, mainly based on computed tomography, and their assessment to demonstrate their further beneficial development in the field of medicine.

To date, artificial intelligence programs based on spiral computed tomography data allow differentiating the pathology of the pancreas with high accuracy, which greatly facilitates human efforts and allows applying them as an indispensable assistant in work. That is why it is necessary to introduce these technologies into the circulation of medical institutions as actively as possible in order to expand the database of artificial intelligence, which will achieve more accurate results in the diagnosis of pancreatic diseases and more.

Keywords: *artificial intelligence; diagnostics; pancreas; spiral computed tomography, radiomics*

Искусственный интеллект – это изучение алгоритмов, которые дают машинам способность «рассуждать» и приобретать когнитивные функции для достижения производительности человеческого уровня в задачах, связанных с познанием, таких как, например, решение проблем, распознавание объектов и слов, принятие решений. По сути, искусственный интеллект – это машины, демонстрирующие поведение и интеллект человека [1]. В последнее время искусственный интеллект добился значительного прогресса в медицине, что привело к росту интереса к разработкам алгоритмов, помогающих в диагностике и лечении заболеваний. В настоящее время имеется масса исследований, доказывающих, что искусственный интеллект не только наравне с врачами может проводить диагностику заболеваний, но и тратить на это гораздо меньший временной ресурс. Это может означать начало революционной цифровой эры в области медицины [2].

Сфера искусственного интеллекта содержит различные направления, такие как: машинное обучение (Machine learning), компьютерное зрение (Computer Vision), технология обработки естественного языка или речи (Natural Language Processing) и нейронные сети (Neural networks). Благодаря преимуществам той или иной области искусственного интеллекта они могут объединяться, тем самым потенцируя полезный эффект от их использования.

Цель

Целью данного обзора является анализ, обобщение и оценка данных, которые были опубликованы в научной литературе, об использовании методик искусственного интеллекта для диагностики патологии поджелудочной железы по результатам компьютерной томографии. Демонстрация дальнейших перспектив и необходимости развития данного направления в медицинской практике.

Материалы и методы

Систематический поиск литературы проведен по базам данных журналов «PubMed» и «eLibrary». Поиск литературы в журналах проводился по ключевым словам: «искусственный интеллект», «поджелудочная железа», «компьютерная томография», «радиомика». Интервал поиска — 2015–2023 г. Были изучены все работы зарубежных и отечественных авторов, которые несут в себе информацию об использовании различных вариаций методик искусственного интеллекта для дифференциальной диагностики патологии поджелудочной железы, преимущественно по данным компьютерной томографии, а также их оценка для демонстрации преимущества дальнейшего развития в области медицины.

Основные термины искусственного интеллекта и радиомики

На сегодняшний день параллельное изучение и развитие таких областей искусственного интеллекта как нейронные сети и компьютерное зрение дает возможность использовать эти методики в совокупности для решения сложных задач, таких как классификация и сегментация медицинских изображений (КТ, МРТ, УЗИ, эндоскопические исследования), а также распознавание интересующих критериев по данным этих изображений [3].

Цифровые изображения, которые были получены с их помощью, играют важную роль в ранней диагностике заболеваний поджелудочной железы, в частности опухолей, и отражают ее анатомические и функциональные изменения. Однако большая часть этих данных в значительной степени неспецифична и недостаточно информативна [4].

Компьютерное зрение (Computer Vision) – метод, предоставляющий компьютеру возможность обрабатывать и анализировать визуальный контент. Это могут быть как фото -, так и видеоматериалы, в т. ч. 3D изображения [3].

Нейронные сети (Neural networks) – это цифровая модель нейронов нашего мозга, более

сложноустроенная область искусственного интеллекта. Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Нейронные сети состоят из «цифровых» нейронов, которые, подобно нейронам человека, получают входные данные, обрабатывают полученную информацию и передают выходные, уже обработанные, данные [5].

Искусственный интеллект вошел во многие сферы медицины и, в последнее время, его роль стала более весомой в диагностике и лечении патологии поджелудочной железы. Диагностика заболеваний поджелудочной железы включает в себя огромный пласт различных областей искусственного интеллекта: совершенствование существующих систем оценки тяжести заболевания или прогностических моделей при осложненном остром или хроническом панкреатите, основанных на клинических и рентгенологических данных, выявление и дифференциальная диагностика кистозных новообразований поджелудочной железы с прогнозированием их перерождения в злокачественные формы, раннее выявление злокачественных новообразований поджелудочной железы [6].

В настоящее время искусственный интеллект помогает в выявлении и дифференциальной диагностике предраковых или злокачественных новообразований в поджелудочной железе. Многочисленные исследования показали, что модели искусственного интеллекта могут дифференцировать нормальную ткань поджелудочной железы от аутоиммунного панкреатита, хронического панкреатита и рака поджелудочной железы [7].

Большинство текущих исследований в области искусственного интеллекта, направленных на помощь в диагностике и лечении заболеваний поджелудочной железы, можно классифицировать как подходы, основанные на использовании нейронных сетей совместно с компьютерным зрением. То есть машина учится оценивать состояние поджелудочной железы, основываясь на анализе и сравнении огромных пластов информации (изображений КТ), имеющихся в ее базе данных [7].

Основная задача комбинации вышеуказанных направлений искусственного интеллекта на сегодняшний день состоит не только в том, чтобы определить, показывает ли изображение СКТ какую-либо форму аномалии, но и в том, чтобы локализовать и идентифицировать эту аномалию,

и, тем самым, полноценно оценить состояние поджелудочной железы.

Искусственный интеллект использует вычислительные алгоритмы для анализа больших объемов данных результатов СКТ, выявления закономерностей и для оценки состояния поджелудочной железы, прогнозируя верный диагноз для более быстрой и точной диагностики, сокращая время постановки диагноза, что позволяет сосредоточиться на составлении плана лечения пациента. Используя базу, в основе которой лежит огромное количество данных предыдущих обследований, искусственный интеллект использует ее для более точного выявления закономерностей [8] [9].

Преимущество таких контролируемых моделей искусственного интеллекта заключается в том, что они могут выявлять закономерности или тонкие изменения, которые могут быть достаточно трудны для диагностики человеческим глазом, либо пропущены врачами из-за недосмотра или истощения [8].

Оценку изображений для диагностики заболеваний поджелудочной железы по результатам рентгенологических исследований, использованных различными моделями искусственного интеллекта, можно разделить на одноэтапные и двухэтапные методы.

Особую ценность такой подход демонстрирует при дифференциальной диагностике рака поджелудочной железы [8]. Так, одноэтапный метод «разбивает» медицинские изображения на сетки и применяет модель для определения злокачественного образования в той или иной области поджелудочной железы. Двухэтапный метод также разграничивает изображения на сетки, но работает уже непосредственно в этих сегментах, оценивая данные на более глубоком уровне изображения, что позволяет более точно дать определение тому, что «видит» машина. Несмотря на то, что двухэтапный объектный метод отнимает значительно больше времени, он идентифицирует более углубленные зоны изображения, что приводит к более точным результатам. Такие методики оценки двухэтапных методов изображения рентгенологических снимков, как региональная сверточная сеть (R-CNN), Fast R-CNN и Faster R-CNN были использованы для считывания изображений СКТ и ускорения диагностики рака поджелудочной железы [10]. Данная методика в 2020 году была использована для дифференциальной диагностики протоковой аденокарциномы поджелу-

дочной железы от аутоиммунного панкреатита [11-12].

Изображения КТ содержат в себе большое количество ценной информации, позволяя детально оценивать структуру опухоли и окружающие ткани, отражая тем самым развитие и прогрессирование рака. Достижения в области анализа данных с помощью методик искусственного интеллекта позволяют извлекать из этих изображений огромное количество полезной информации и систематизировать их.

За последнее десятилетие значительно увеличилось количество и вариация методов анализа медицинских изображений в связи с развитием искусственного интеллекта, новых программ для анализа и систематизации объектов. Эти достижения способствовали разработке процессов высокоточного извлечения количественных признаков, которые приводят к преобразованию изображений в данные. Этот комплексный метод, используемый для анализа медицинских изображений, известен как радиомика [13-14].

Радиомика — это извлечение данных из медицинских изображений (КТ, МРТ, ПЭТКТ, УЗИ и т. д.) с использованием математических алгоритмов для расширенного анализа изображений. Концепция, лежащая в основе радиомики, заключается в том, что медицинская визуализация содержит количественную информацию, которая не различима человеческим глазом. В общепринятой, традиционной практике рассмотрения медицинских изображений используется исключительно визуальная интерпретация человеческим глазом, что в известной степени субъективно. Радиомика дает возможность преодолевать субъективный характер оценки клинического изображения врачами- рентгенологами, что способствует более точной диагностике [15]. При визуализации злокачественной опухоли количественные рентгенологические характеристики могут определить фенотип опухоли. Из этого следует, что радиомика позволяет не только указывать на онкологический процесс, но и служит помощником в выборе тактики лекарственной терапии, основываясь на характеристиках фенотипа опухоли, полученных из медицинских изображений [16]. Эти характеристики могут быть использованы в сочетании с дополнительными индивидуальными данными о больном для улучшения качества медицинской помощи. Более того, поскольку опухоли имеют гетерогенную природу, клинические подходы, такие как биопсия тканей, могут не дать полноценную

характеристику опухоли в целом. В отличие от этого, радиомика оценивает всю область поражения, включая здоровые окружающие ткани, что позволяет дать полноценную характеристику патологического процесса [17-19].

Анатомические особенности поджелудочной железы, соседние органы и окружающая ее жировая ткань препятствуют большей диагностической точности по данным медицинских изображений, что приводит к нечеткому определению границ железы или патологических образований в ней. Форма поджелудочной железы, ее анатомическое расположение очень вариабельны и могут значительно отличаться у разных пациентов. Поражения поджелудочной также морфологически разнообразны и часто приводят к ее деформации, что еще больше затрудняет точную и воспроизводимую автоматизированную сегментацию [20]. Для того, чтобы помочь радиологам более точно и эффективно выявлять и диагностировать рак поджелудочной железы по результатам КТ-изображений, разработка автоматизированного или полуавтоматического компьютерного программного обеспечения или схем автоматизированного обнаружения и диагностики (САПР) для помощи в обработке и анализе изображений КТ, в последнее время привлекает широкий исследовательский интерес среди многих исследовательских групп во всем мире [21]. Искусственный интеллект развивается не только в области диагностики и лечения заболеваний, но и обеспечивает безопасность в отношении радиации, как для пациента, так и для врача [22].

Возможности искусственного интеллекта в дифференциальной диагностике патологии поджелудочной железы по данным компьютерной томографии

Liu S. и соавторы в 2019 году провели исследование, в котором использовали модели искусственного интеллекта для распознавания рака поджелудочной железы по результатам изображений КТ. В процессе обучения программы искусственного интеллекта использовались 4385 КТ-изображений, из которых 238 – это снимки пациентов с подтвержденным раком поджелудочной железы. В качестве модели искусственного интеллекта использовалась комбинация методик нейронных сетей и компьютерного зрения - сверточная сеть Fast R-CNN. В исследование было включено 338 пациентов с раком поджелудочной железы (213 мужчин и 125 женщин). Опухоли были локализованы в головке поджелудочной

железы в 222 случаях и в теле или хвосте в 116 случаях. Число случаев с низкой дифференцировкой, умеренной дифференцировкой и высокой дифференцировкой составило 175, 105 и 58, соответственно. Точность результатов данного исследования составила 0,9632, продолжительность диагностики – 20 с/чел., что значительно меньше, чем время, необходимое для постановки диагноза специалистами [23-24].

Что касается опухолей поджелудочной железы, в частности нейроэндокринных опухолей и протоковой аденокарциномы, то их дифференциальная диагностика по данным изображений КТ-исследований в ряде случаев является трудной задачей. Недавние исследования показали, что до 41,5% нейроэндокринные опухоли поджелудочной железы могут являться атипичными – это приводит к затруднениям их дифференцировки от протоковых аденокарцином поджелудочной железы [25]. Точная дифференциация вышеупомянутых образований имеет решающее значение не только для выбора более подходящего лечения, но и для прогноза пациента. Jung Hoon, Sun Kyung и соавторы в 2018 году обнаружили, что расширение протоков при КТ может быть полезным предиктором протоковой аденокарциномы. В исследовании участвовали 127 пациентов: 50 пациентов, у которых обнаружена и подтверждена нейроэндокринная опухоль и 77 пациентов с протоковой аденокарциномой. Был выполнен традиционный анализ изображений врачами-рентгенологами, а также предложен новый способ анализа изображений: текстурный анализ, который проводился на портальных фазах КТ-изображений с использованием разработанного программного обеспечения (Fire Voxel, Нью-Йоркский университет, Нью-Йорк, США). Рентгенологи вручную выделяли область интереса по краю поражения на всех слоях. Программное обеспечение автоматически извлекало и рассчитывало гистологические особенности поражения. Затем гистограмма и анализ текстуры были рассчитаны с помощью программного обеспечения IBM SPSS 23.0 (Чикаго, Иллинойс). Исследование показало хороший результат, в частности определив конкретные оптимальные параметры для дифференциации протоковой аденокарциномы и атипичных нейроэндокринных опухолей [26].

В 2018 году была разработана и протестирована модель компьютерной диагностики рака поджелудочной железы, основанная на изображениях позитронно-эмиссионной томографии/компью-

терной томографии (ПЭТ/КТ). Для исследования было использовано 80 снимков ПЭТ/КТ, средняя точность идентификации рака поджелудочной железы составила 96,47% [27].

Использование методик искусственного интеллекта в развитии диагностики состояния поджелудочной железы с каждым годом растет, развивается и достигает более точных результатов. Так, в 2022 году Vilas-Boas F. и соавторы провели масштабную работу, используя методы нейронных сетей, и внесли свой вклад в развитие методов диагностики заболеваний поджелудочной железы, разработав методику, позволяющую дифференцировать муцинозные и немучинозные кисты поджелудочной железы. Обученная программа оценила 5505 изображений (3725 из муцинозных поражений и 1780 из немучинозных поражений). Используя нейронную сеть, как одну из наиболее сложных методик искусственного интеллекта, они обнаружили общую точность до 98,5% в дифференциальной диагностике данных патологий поджелудочной железы. Несмотря на то, что это было только пилотное исследование, тем не менее имеются основания заявлять о том, что искусственный интеллект вносит существенный вклад в работу специалистов, сокращая время для диагностики заболеваний, используя его на дальнейшее лечение пациента [28].

В 2022 году разработки методик искусственного интеллекта коснулись диагностики сахарного диабета 2 типа по результатам изображений КТ. Программа определила 107 рентгенологических признаков из объемно-сегментированной нормальной поджелудочной железы, которые способствовали подтверждению диагноза. Точность исследования составила 60 % [29].

Разработку программ искусственного интеллекта, использующих в качестве субстрата изображения КТ для оценки состояния поджелудочной железы, ярко демонстрирует исследование, проведенное в 2022 году Koogayala K. и соавторами. В своем исследовании они использовали алгоритм обработки естественного языка для количественной оценки частоты клинически значимых поражений поджелудочной железы, исходя из данных изображений компьютерной томографии. Разработанная программа для проведения ретроспективного обзора использовала электронные медицинские карты пациентов, поступивших с травмой в стационар в период с 2010 по 2020 год, которые прошли компьютерную томографию брюшной полости. Программное обеспечение

использовалось для выявления пациентов с интрапапиллярными муцинозными новообразованиями (IPMN), кистами поджелудочной железы, расширением протоков поджелудочной железы у группы пациентов, перенесших операцию на поджелудочной железе. Когорта исследования состояла из 18769 пациентов. По результатам изображений КТ у 232 были обнаружены поражения поджелудочной железы, представляющие интерес. Программа выявила 48 (20,7%) пациентов с IPMN, 36 (15,5%) пациентов с кистами поджелудочной железы, 30 (12,9%) – с новообразованиями поджелудочной железы, 44 (19,0%) – с травмами поджелудочной железы, 41 (17,7%) – с панкреатитом и 19 (18,2%) пациентов с аномалиями протоков. Предшествующие операции на поджелудочной железе и другие результаты были выявлены у 14 (6,0%) пациентов [30].

Примером использования такой области искусственного интеллекта как обработка естественного языка, является создание автоматизированной системы идентификации кист поджелудочной железы. Алгоритм идентификации был разработан на основе ключевых слов, используемых врачами для описания кист поджелудочной железы, и запрограммирован на автоматизированный поиск по электронным медицинским картам. Данная разработка является эффективным инструментом для автоматического выявления пациентов с кистами поджелудочной железы на основе электронных медицинских карт [31].

Заключение

В настоящее время радиомика и искусственный интеллект имеют огромный потенциал в обеспечении поддержки принятия клинических решений на основе оценки медицинских данных при диагностике заболеваний поджелудочной железы [32]. При этом должны быть использованы данные СКТ для обучения системы по выявлению аномалий, которые могут устанавливать точный диагноз для конкретного пациента, что способствует выбору хирургического вмешательства, прогнозированию клинического ответа после лечения, дифференциальной диагностике

между раком и доброкачественными образованиями поджелудочной железы и прогнозирования гистологического исследования, степени дифференциации заболевания или специфических генных мутаций [33]. Такой подход приведет к более эффективному использованию ресурсов здравоохранения [34]. Точность прогнозирования может быть выше, если для обучения используется большое количество наборов данных. Именно поэтому необходимо как можно активнее внедрять данные технологии в оборот медицинских учреждений для того, чтобы расширять базу данных искусственного интеллекта, что позволит добиться более точных результатов в диагностике заболеваний поджелудочной железы и не только.

За последнее десятилетие внедрение искусственного интеллекта в медицинскую практику значительно прогрессировало, однако используемые в настоящее время методы разработки искусственного интеллекта обладают существенными недостатками и сталкиваются с трудностями, такими как узкая область применения, которая приводит к неспособности распознавать исключительные случаи, ошибочные случаи диагностики, взлом системы баз данных, нарушение конфиденциальности информации о пациентах и неспособность машины использовать интуицию, познание, абстрактные, креативные рассуждения, что присуще человеческому интеллекту [35].

Искусственный интеллект, безусловно, по-прежнему обладает большим потенциалом, но ряд ограничений и проблем требуют своего решения [36]. При этом можно смело утверждать, что разработанные на сегодняшний день программы искусственного интеллекта по данным спиральной компьютерной томографии позволяют дифференцировать патологию поджелудочной железы с высокой точностью, что значительно облегчает человеческие усилия и служит незаменимым помощником в работе.

Дополнительная информация

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Список литературы

1. Мельников П. В., Доведов В. Н., Каннер Д. Ю., Черниковский И. Л. Искусственный интеллект в онкохирургической практике. *Тазовая хирургия и онкология*. 2020; 10: 3–4: 60–64.
2. Bektas M, Zonderhuis BM, Marquering HA, Pereira JC, Burchell GL, Peet DL. Artificial intelligence in hepatopancreaticobiliary surgery: a systematic review. *Artificial Intelligence Surgery*. 2022; 2: 4: 1–12.

References

1. Mel'nikov PV, Dovedov VN, Kanner DYU, Chernikovskii IL. Artificial intelligence in oncosurgical practice. *Tazovaya khirurgiya i onkologiya*. 2020; 10: 3–4: 60–64. (in Russ.)
2. Bektas M, Zonderhuis BM, Marquering HA, Pereira JC, Burchell GL, Peet DL. Artificial intelligence in hepatopancreaticobiliary surgery: a systematic review. *Artificial Intelligence Surgery*. 2022; 2: 4: 1–12.

3. Elyan E, Vuttipittayamongkol P, Johnston P, Martin K, McPherson K, Francisco Moreno García K, Jayne C, Sarker MK. Computer vision and machine learning for medical image analysis: recent advances, challenges, and way forward. *Artificial Intelligence Surgery*. 2022; 2: 1: 24–45.
4. Литвин А.А., Буркин Д.А., Кропинов А.А., Парамфин Ф.Н. Радиомика и анализ текстур цифровых изображений в онкологии (обзор). *Современные технологии в медицине*. 2021; 13: 2: 97–106.
5. Федоров А.В., Эктон В.Н., Ходорковский М.А., Скорынин О.С. Варианты мининвазивных дренирующих вмешательств при остром панкреатите. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2022;15(2):165-173. doi: 10.18499/2070-478X-2022-15-2-165-173
6. Kroner PT, Engels MM, Glicksberg BS, Johnson KW, Mzaik O, van Hooft JE, Wallace MB, El-Serag HB, Krittanawong C. Artificial intelligence in gastroenterology: A state-of-the-art review. *World J Gastroenterol*. 2021; 28: 27: 40: 6794–6824.
7. Langan RC, Pitt HA, Schneider E. Role of artificial intelligence in pancreatic cystic neoplasms: modernizing the identification and longitudinal management of pancreatic cysts. *Artificial Intelligence Surgery*. 2023; 3: 3: 140–146.
8. Ahmed TM, Kawamoto S, Hruban RH, Fishman EK, Soyer P, Chu LS. A primer on artificial intelligence in pancreatic imaging. *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2023; 104: 9: 435–447.
9. Hameed BS, Krishnan UM. Artificial Intelligence-Driven Diagnosis of Pancreatic Cancer. *Cancers*. 2022; 14: 21: 5382.
10. Kumar, U. In Research Anthology on Artificial Intelligence Applications in Security Information Resources. *Management Association*. 2020; 1052–1084.
11. Ziegelmayer S, Kaissis G, Harder F, Jungmann F, Müller T, Makowski M, Braren R. Deep Convolutional Neural Network-Assisted Feature Extraction for Diagnostic Discrimination and Feature Visualization in Pancreatic Ductal Adenocarcinoma (PDAC) versus Autoimmune Pancreatitis (AIP). *Journal of Clinical Medicine*. 2020; 9: 12: 4013.
12. Ren S, Zhao R, Zhang J, Guo K, Gu X, Duan S, Wang Z, Chen R. Diagnostic accuracy of unenhanced CT texture analysis to differentiate mass-forming pancreatitis from pancreatic ductal adenocarcinoma. *Abdominal Radiology (NY)*. 2020; 45: 5: 1524–1533.
13. Liu Z, Wang S, Dong D, Wei J, Fang C, Zhou X, Sun K, Li L, Li B, Wang M, Tian J. The Applications of Radiomics in Precision Diagnosis and Treatment of Oncology: Opportunities and Challenges. *Theranostics*. 2019; 9: 5: 1303–1322.
14. Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data. *Radiology*. 2016; 278: 563–577.
15. Park S, Sham JG, Kawamoto S, Blair AB, Rozich N, Fouladi DF, Shayesteh S, Hruban RH, He J, Wolfgang CL, Yuille AL, Fishman EK, Chu LC. CT Radiomics-Based Preoperative Survival Prediction in Patients With Pancreatic Ductal Adenocarcinoma. *American Journal of Roentgenology*. 2021; 217: 5: 1104–1112.
16. Chetan MR, Gleeson FV. Radiomics in predicting treatment response in nonsmall-cell lung cancer: current status, challenges and future perspectives. *Eur. Radiol*. 2021; 31: 2: 1049–1058.
17. Ibrahim A, Primakov S, Woodruff HC, Halilaj I, Refaie T, Granzier R, Widaatalla Y, Hustinx R, Mottaghy FM, Lambin P. Radiomics for precision medicine: current challenges, future prospects, and the proposal of a new framework. *Methods*. 2021; 188: 20–29.
18. Swanton C. Intratumor heterogeneity: evolution through space and time. *Cancer Res*. 2012; 72: 4875–4882.
19. Marti-Bonmati L, Cerda-Alberich L, Perez-Girbes A, Díaz Beveridge R, Montalva Oron E, Perez Rojas J, Alberich-Bayarri A. Pancreatic cancer, radiomics and artificial intelligence. *Br J Radiol*. 2022; 1; 95: 1137.
20. Xianze W, Yuan CW, Elon C, Yi Z, Eyad I, Ashley RD. The integration of artificial intelligence models to augment imaging modalities in pancreatic cancer. *Journal of Pancreatology*. 2020; 3: 4: 173–180.
21. Gai T, Jo J, Zheng B, Thai T, Jones M. Applying a radiomics-based CAD scheme to classify between malignant and benign pancreatic tumors using CT images. *Journal of X-Ray Science and Technology*. 2022; 30: 377–388.
22. Fiagbedzi EW, Gorleku PhN, Nyarko S, Atuwu-Ampoh VD, Fiagan YaAC, Asare A. The Role of Artificial Intelligence (AI) in Radiation Protection of Computed Tomography and Fluoroscopy: A Review. *Open Journal of Medical Imaging*. 2022; 12: 1: 25–36.
23. Liu SL, Guo YT, Zhou YP, Zhang ZD, Li S, Lu Y. Establishment and Application of an Artificial Intelligence Diagnosis System for Pancreatic Cancer with a Faster Region-Based Convolutional Neural Network. *Chin. Med. J.* 2019; 32: 23: 2795–2803.
24. Zhang MM, Yang H, Jin ZD, Yu JG, Cai ZY, Li ZS. Differential Diagnosis of Pancreatic Cancer from Normal Tissue with Digital Imaging Processing and Pattern Recognition Based on a Support Vector Machine of EUS Images. *Gastrointest. Endosc.* 2010; 72: 5: 978–985.
25. Saif MW. Pancreatic neoplasm in 2011: an update. *JOP*. 2011; 12: 4: 316–321.
26. Li J, Lu J, Liang P, Li A, Hu Y, Shen Y, Hu D, Li Z. Differentiation of atypical pancreatic neuroendocrine tumors from pancreatic
3. Elyan E, Vuttipittayamongkol P, Johnston P, Martin K, McPherson K, Francisco Moreno García K, Jayne C, Sarker MK. Computer vision and machine learning for medical image analysis: recent advances, challenges, and way forward. *Artificial Intelligence Surgery*. 2022; 2: 1: 24–45.
4. Litvin AA, Burkin DA, Kropinov AA, Paramfin FN. Radiomika i analiz tekstur tsifrovyykh izobrazhenii v onkologii (obzor). *Sovremennye tekhnologii v meditsine*. 2021; 13: 2: 97–106. (in Russ.)
5. Fedorov AV, Ektov VN, Khodorkovsky MA, Skorynin OS. Potential of Minimally Invasive Drainage Interventions for Acute Pancreatitis. *Journal of Experimental and Clinical Surgery*. 2022;15(2):165-173. doi: 10.18499/2070-478X-2022-15-2-165-173 (in Russ.)
6. Kroner PT, Engels MM, Glicksberg BS, Johnson KW, Mzaik O, van Hooft JE, Wallace MB, El-Serag HB, Krittanawong C. Artificial intelligence in gastroenterology: A state-of-the-art review. *World J Gastroenterol*. 2021; 28: 27: 40: 6794–6824.
7. Langan RC, Pitt HA, Schneider E. Role of artificial intelligence in pancreatic cystic neoplasms: modernizing the identification and longitudinal management of pancreatic cysts. *Artificial Intelligence Surgery*. 2023; 3: 3: 140–146.
8. Ahmed TM, Kawamoto S, Hruban RH, Fishman EK, Soyer P, Chu LS. A primer on artificial intelligence in pancreatic imaging. *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2023; 104: 9: 435–447.
9. Hameed BS, Krishnan UM. Artificial Intelligence-Driven Diagnosis of Pancreatic Cancer. *Cancers*. 2022; 14: 21: 5382.
10. Kumar, U. In Research Anthology on Artificial Intelligence Applications in Security Information Resources. *Management Association*. 2020; 1052–1084.
11. Ziegelmayer S, Kaissis G, Harder F, Jungmann F, Müller T, Makowski M, Braren R. Deep Convolutional Neural Network-Assisted Feature Extraction for Diagnostic Discrimination and Feature Visualization in Pancreatic Ductal Adenocarcinoma (PDAC) versus Autoimmune Pancreatitis (AIP). *Journal of Clinical Medicine*. 2020; 9: 12: 4013.
12. Ren S, Zhao R, Zhang J, Guo K, Gu X, Duan S, Wang Z, Chen R. Diagnostic accuracy of unenhanced CT texture analysis to differentiate mass-forming pancreatitis from pancreatic ductal adenocarcinoma. *Abdominal Radiology (NY)*. 2020; 45: 5: 1524–1533.
13. Liu Z, Wang S, Dong D, Wei J, Fang C, Zhou X, Sun K, Li L, Li B, Wang M, Tian J. The Applications of Radiomics in Precision Diagnosis and Treatment of Oncology: Opportunities and Challenges. *Theranostics*. 2019; 9: 5: 1303–1322.
14. Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data. *Radiology*. 2016; 278: 563–577.
15. Park S, Sham JG, Kawamoto S, Blair AB, Rozich N, Fouladi DF, Shayesteh S, Hruban RH, He J, Wolfgang CL, Yuille AL, Fishman EK, Chu LC. CT Radiomics-Based Preoperative Survival Prediction in Patients With Pancreatic Ductal Adenocarcinoma. *American Journal of Roentgenology*. 2021; 217: 5: 1104–1112.
16. Chetan MR, Gleeson FV. Radiomics in predicting treatment response in nonsmall-cell lung cancer: current status, challenges and future perspectives. *Eur. Radiol*. 2021; 31: 2: 1049–1058.
17. Ibrahim A, Primakov S, Woodruff HC, Halilaj I, Refaie T, Granzier R, Widaatalla Y, Hustinx R, Mottaghy FM, Lambin P. Radiomics for precision medicine: current challenges, future prospects, and the proposal of a new framework. *Methods*. 2021; 188: 20–29.
18. Swanton C. Intratumor heterogeneity: evolution through space and time. *Cancer Res*. 2012; 72: 4875–4882.
19. Marti-Bonmati L, Cerda-Alberich L, Perez-Girbes A, Díaz Beveridge R, Montalva Oron E, Perez Rojas J, Alberich-Bayarri A. Pancreatic cancer, radiomics and artificial intelligence. *Br J Radiol*. 2022; 1; 95: 1137.
20. Xianze W, Yuan CW, Elon C, Yi Z, Eyad I, Ashley RD. The integration of artificial intelligence models to augment imaging modalities in pancreatic cancer. *Journal of Pancreatology*. 2020; 3: 4: 173–180.
21. Gai T, Jo J, Zheng B, Thai T, Jones M. Applying a radiomics-based CAD scheme to classify between malignant and benign pancreatic tumors using CT images. *Journal of X-Ray Science and Technology*. 2022; 30: 377–388.
22. Fiagbedzi EW, Gorleku PhN, Nyarko S, Atuwu-Ampoh VD, Fiagan YaAC, Asare A. The Role of Artificial Intelligence (AI) in Radiation Protection of Computed Tomography and Fluoroscopy: A Review. *Open Journal of Medical Imaging*. 2022; 12: 1: 25–36.
23. Liu SL, Guo YT, Zhou YP, Zhang ZD, Li S, Lu Y. Establishment and Application of an Artificial Intelligence Diagnosis System for Pancreatic Cancer with a Faster Region-Based Convolutional Neural Network. *Chin. Med. J.* 2019; 32: 23: 2795–2803.
24. Zhang MM, Yang H, Jin ZD, Yu JG, Cai ZY, Li ZS. Differential Diagnosis of Pancreatic Cancer from Normal Tissue with Digital Imaging Processing and Pattern Recognition Based on a Support Vector Machine of EUS Images. *Gastrointest. Endosc.* 2010; 72: 5: 978–985.
25. Saif MW. Pancreatic neoplasm in 2011: an update. *JOP*. 2011; 12: 4: 316–321.
26. Li J, Lu J, Liang P, Li A, Hu Y, Shen Y, Hu D, Li Z. Differentiation of atypical pancreatic neuroendocrine tumors from pancreatic

- ductal adenocarcinomas: using whole-tumor CT texture analysis as quantitative biomarkers. *Cancer Medicine*. 2018; 7: 10: 4924–4931.
27. Li S, Jiang H, Wang Z, Zhang G, Yao YD. An effective computer aided diagnosis model for pancreas cancer on PET/CT images. *Comput Methods Programs Biomed*. 2018; 165: 205–214.
 28. Vilas-Boas F, Ribeiro T, Afonso J. Deep learning for automatic differentiation of mucinous versus non-mucinous pancreatic cystic lesions: a pilot study. *Diagnostics*. 2022; 12: 9: 2041.
 29. Wright DE, Mukherjee S, Patra A, Khasawneh H, Korfiatis P, Suman G, Chari ST, Kudva YC, Kline TL, Goenka AH. Radiomics-based machine learning (ML) classifier for detection of type 2 diabetes on standard-of-care abdomen CTs: a proof-of-concept study. *Abdom Radiol (NY)*. 2022; 47: 11: 3806–3816.
 30. Kooragayala K, Crudeli C, Kalola A, et al. Utilization of natural language processing software to identify worrisome pancreatic lesions. *Ann Surg Oncol*. 2022; 29: 13: 8513–8519.
 31. Roch AM, Mehrabi S, Krishnan A, Schmidt HE, Kesterson J, Beesley C, Dexter PR, Palakal M, Schmidt CM. Automated pancreatic cyst screening using natural language processing: a new tool in the early detection of pancreatic cancer. *HPB (Oxford)*. 2015; 17: 5: 447–53.
 32. Парамзин ФН, Какоткин ВВ, Буркин ДА, Агапов МА. Радиомика и искусственный интеллект в дифференциальной диагностике опухолевых и неопухолевых образований поджелудочной железы (обзор). *Хирургическая практика*. 2023; 1: 53–65.
 33. Casa C, D'Aviero A, Cusumano D, Romano A, Lenkiewicz J, Dinapoli N, Cellini F, Gambacorta MA, Valentini V, Mattiucci GC, Boldrini L, Piras A, Preziosi F, Mariani S, Boskoski I. The impact of radiomics in diagnosis and staging of pancreatic cancer. *Therapeutic Advances in Gastrointestinal Endoscopy*. 2022; 15.
 34. Dalal V, Carmicheal J, Dhaliwal A, Jain M, Kaur S, Batra SK. Radiomics in stratification of pancreatic cystic lesions: Machine learning in action. *Cancer Lett*. 2020; 28; 469: 228–237.
 35. Baebler B, Gotz M, Antoniadis C, Heidenreich JF, Leiner T, Beer M. Artificial intelligence in coronary computed tomography angiography: Demands and solutions from a clinical perspective. *Front Cardiovasc Med*. 2023; 16; 10.
 36. Ng D, Du H, Yao MM, Kosik RO, Chan WP, Feng M. Today radiologists meet tomorrow AI: the promises, pitfalls, and unbridled potential. *Quant Imaging Med Surg*. 2021; 11: 6: 2775–2779.

Информация об авторах

1. Сигуа Бадри Валериевич - д.м.н., заведующий кафедрой общей хирургии лечебного факультета Института медицинского образования, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова, e-mail: dr.sigua@gmail.com
2. Клеймюк Софья Викторовна - ассистент кафедры общей хирургии лечебного факультета Института медицинского образования, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова, e-mail: sofikleim@gmail.com
3. Захаров Евгений Алексеевич - к.м.н., ассистент кафедры факультетской хирургии с курсом эндоскопии им. И.И. Грекова ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, e-mail: dr.zakharovea@gmail.com
4. Семенова Евгения Анатольевна - к.т.н., доцент кафедры биотехнических систем, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), e-mail: easemenova@etu.ru
5. Логинова Диана Дмитриевна - магистрант, кафедры биотехнических систем, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), e-mail: logidi12@mail.ru
6. Земляной Вячеслав Петрович - д.м.н., заведующий кафедрой факультетской хирургии с курсом эндоскопии им. И.И. Грекова, Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, e-mail: vyacheslav.zemlyanoy@s zgmu.ru

Information about the Authors

1. Badri Valerievich Sigua - M.D., Head of the Department of General Surgery, Faculty of Medicine, Institute of Medical Education, V.A. National Medical Research Center. Almazova, e-mail: dr.sigua@gmail.com
2. Sofya Viktorovna Kleimuk - Assistant of the Department of General Surgery, Faculty of Medicine, Institute of Medical Education, National Medical Research Center named after V.A. Almazov, e-mail: sofikleim@gmail.com
3. Evgeny Alekseevich Zacharov - Ph.D., Assistant of the Department of Faculty Surgery with the course of Endoscopy named after I.I. Grekov, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, e-mail: dr.zakharovea@gmail.com
4. Evgeniya Anatolyevna Semenova - Ph.D., Associate Professor of the Department of Biotechnical Systems, Saint Petersburg Electrotechnical University LETI, e-mail: easemenova@etu.ru
5. Diana Dmitrievna Loginova - undergraduate student, Department of Biotechnical Systems, Saint Petersburg Electrotechnical University LETI, e-mail: logidi12@mail.ru
6. Vyacheslav Petrovich Zemlynoy - M.D., Head of the Department of Faculty Surgery with the course of endoscopy named after I.I. Grekov, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, e-mail: vyacheslav.zemlyanoy@s zgmu.ru

Цитировать:

Сигуа Б.В., Клеймюк С.В., Захаров Е.А., Семенова Е.А., Логинова Д.Д., Земляной В.П. Возможности искусственного интеллекта при оценке патологии поджелудочной железы по данным спиральной компьютерной томографии. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии* 2024; 17: 4: 209-216. DOI: 10.18499/2070-478X-2024-17-4-209-216.

To cite this article:

Sigua B.V., Kleimuk S.V., Zacharov E.A., Semenova E.A., Loginova D.D., Zemlynoy V.P. Potentials of Artificial Intelligence in Assessing Pancreatic Pathology Based on Spiral Computed Tomography Findings. *Journal of experimental and clinical surgery* 2024; 17: 4: 209-216. DOI: 10.18499/2070-478X-2024-17-4-209-216.