



АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПОРТУНИСТИЧЕСКОГО КОМПЬЮТЕРНО-ТОМОГРАФИЧЕСКОГО СКРИНИНГА АНЕВРИЗМЫ БРЮШНОЙ АОРТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

М.Р. Коденко^{1,2}, А.В. Владимирский¹, О.В. Омелянская¹, М.М. Сучилова¹,
И.А. Блохин¹, Д.В. Гатин¹, Р.В. Решетников¹

¹ Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», ул. Петровка, 24, стр. 1, Москва, Российская Федерация, 127051; ² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1, Москва, Российская Федерация, 105005

Основные положения

- Компьютерная томография (КТ) без использования внутривенных контрастных веществ является перспективной модальностью для оппортунистического скрининга аневризмы брюшного отдела аорты (АБА).
- Автоматизация оппортунистического скрининга АБА по данным КТ – одно из перспективных направлений использования технологий искусственного интеллекта (ИИ).
- Развитие алгоритмов ИИ для оппортунистического скрининга АБА по данным КТ в настоящее время ограничено по причине высоких трудозатрат при подготовке наборов данных для обучения и тестирования ИИ.

Резюме

Аневризма брюшного отдела – заболевание сердечно-сосудистой системы, для которого характерны скрытое течение и неблагоприятный прогноз. Своевременная диагностика заболевания достоверно снижает операционные риски и послеоперационные осложнения. В работе рассмотрены методы лучевой диагностики, применяемые для выявления и оценки данного состояния, в частности в рамках целевого и оппортунистического скрининга. Для последнего исследованы перспективы автоматизации с помощью технологий искусственного интеллекта, которые уже зарекомендовали себя как эффективные инструменты оптимизации рентгенологического описания исследований по целому ряду направлений. В данном обзоре продемонстрировано сравнительно слабое развитие алгоритмов искусственного интеллекта для оппортунистического скрининга аневризм брюшного отдела аорты по данным неконтрастного КТ-исследования органов брюшной полости. Проанализированы возможные причины такого явления и потенциальные пути развития данной предметной области.

Ключевые слова

Аневризма брюшной аорты • Оппортунистический скрининг • Компьютерная томография • Искусственный интеллект

Поступила в редакцию: 19.09.2024; поступила после доработки: 04.10.2024; принята к печати: 16.11.2024

AUTOMATED OPPORTUNISTIC CT-SCREENING OF ABDOMINAL AORTIC ANEURYSMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE: PROSPECTS AND CHALLENGES (LITERATURE REVIEW)

M.R. Kodenko^{1,2}, A.V. Vladzimirskyy¹, O.V. Omelyanskaya¹, M.M. Suchilova¹,
I.A. Blokhin¹, D.V. Gatin¹, R.V. Reshetnikov¹

¹ State Budgetary Health Care Institution of the Moscow city “Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow”, 24, Petrovka St., bld. 1., Moscow, Russian Federation, 127051; ² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bauman Moscow State Technical University”, 2-ya Baumanskaya St., bld. 5, Pde. 1, Moscow, Russian Federation, 105005

Для корреспонденции: Мария Романовна Коденко, m.r.kodenko@yandex.ru; адрес: ул. Петровка, 24, стр. 1, Москва, Российская Федерация, 127051

Corresponding author: Maria R. Kodenko, m.r.kodenko@yandex.ru; address: 24, Petrovka St., bld. 1., Moscow, Russian Federation, 127051

Highlights

- Non-contrast computed tomography (CT) scan is a promising modality for opportunistic screening of abdominal aortic aneurysm (AAA).
- Automation of opportunistic screening of AAA according to CT data is a promising use of artificial intelligence (AI) technologies.
- The development of AI algorithms for opportunistic screening of AAA based on CT data is currently limited due to the high labor costs in preparing datasets for AI training and testing.

Abstract

Abdominal aortic aneurysm is a cardiovascular disease characterized by a latent progression and adverse prognosis. Timely diagnosis reduces surgical risks and postoperative complications. Diagnostic imaging methods used to detect and evaluate this disease, particularly in targeted and opportunistic screening, are reviewed. The prospects of automation using artificial intelligence technologies for opportunistic screening are explored, moreover, they have already proven to be effective tools for optimizing radiology reports in several fields. This review highlights, however, relatively poor development of artificial intelligence algorithms for opportunistic screening of abdominal aortic aneurysms on native non-contrast abdominal CT studies. Possible reasons for this phenomenon and potential ways of development of this subject area are investigated.

Keywords

Abdominal aortic aneurysm • Opportunistic screening • Computed tomography • Artificial intelligence

Received: 19.09.2024; received in revised form: 04.10.2024; accepted: 16.11.2024

Список сокращений

АБА – аневризма брюшной аорты	НД – набор данных
ИИ – искусственный интеллект	УЗИ – ультразвуковое исследование
КТ – компьютерная томография	

Введение

Аневризма брюшного отдела аорты (АБА) – заболевание сердечно-сосудистой системы (код МКБ-10 I71.4 [1]), сопровождающееся увеличением диаметра просвета брюшного отдела аорты от 30 мм и более [2]. По данным министерства здравоохранения Российской Федерации, распространенность АБА составляет от 0,01 до 0,04% в зависимости от региона [3], причем более 80% пациентов – мужчины старше 65 лет. Для мировой статистики характерны более высокие показатели заболеваемости АБА при сходном распределении по возрасту и полу. Так, по результатам метаанализа 54 исследований из 19 стран [4], распространенность аневризм у лиц в возрасте от 30 до 79 лет достигает 0,92%. К изученным факторам риска развития АБА помимо мужского пола и возраста старше 65 лет [5, 6] также относят курение [7], генетическую предрасположенность, сопутствующие заболевания сердечно-сосудистой системы (в частности, атеросклероз и гипертонию [8]), нарушение обмена веществ, травмы и аневризмы в иных отделах аорты [3]. Естественное клиническое течение АБА характеризуется отсутствием специфических симптомов на ранних стадиях и стремительным развитием:

скорость роста аневризм составляет от 1,3 до 3,6 мм/год для диаметров от 30 до 50 мм соответственно, согласно результатам метаанализа RESCAN [9]. Однако даже при появлении симптоматики (например, боль в области поясницы, боль в животе, боль в боку, пульсирующая боль в паху [10]) абдоминальная локализация патологии существенно расширяет дифференциальный диагностический ряд АБА, затрудняя ее обнаружение [11]. Наиболее грозное осложнение АБА – разрыв (вероятность летального исхода превышает 80% [12]). Частота разрывов аневризм брюшной аорты составляет от 5,6 до 17,5 случая на 100 тыс. смертей населения [13].

Диагностика и лечение пациентов с АБА регламентируется клиническими рекомендациями. В настоящее время существует консенсус специалистов в отношении применения ультразвукового исследования (УЗИ) для скрининга и периодического мониторинга аневризм вплоть до достижения критического размера, компьютерной томографической (КТ) ангиографии – для планирования операции и оценки постоперационного состояния [3]. Диагностика АБА, как случайной находки при проведении исследования по иным причинам, носит название «оппортунистический скрининг» [14]. Несмотря

на отработанную методологию проведения скрининговых исследований [15], потенциал оппортунистического скрининга АБА может достигать 364 ежегодно регистрируемых случая [16]. Механизм случайного обнаружения АБА в частности является главенствующим в регионах, где отсутствует организованный скрининг [17]. КТ-исследование без внутривенного контрастирования – одна из перспективных модальностей для данного типа скрининговых исследований. Однако анализ таких исследований в ручном режиме ассоциирован с высокими трудозатратами, что актуализирует задачу его автоматизации с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ).

Цель данного обзора – систематизация данных о потенциале КТ-скрининга АБА и перспективах его автоматизации с использованием технологий искусственного интеллекта.

Стратегия поиска и отбора релевантной литературы

Поиск источников выполнен в научных базах данных PubMed, eLibrary и поисковой системе Google Scholar за период с 2000 по 2023 г. по следующим ключевым словам: «аорта», «аневризма», «компьютерная томография», «оппортунистический скрининг», «ультразвуковое исследование», «искусственный интеллект», «набор данных», aorta, aneurysm, computed tomography, opportunistic screening, artificial intelligence, ultrasound, dataset. Двумя авторами независимо произведен первоначальный анализ названий и абстрактов источников, чтобы оценить их соответствие теме литературного обзора. Включены оригинальные исследования и метаанализы, клинические случаи, литературные обзоры. Источники литературы включенных публикаций дополнительно проанализированы на предмет релевантности. Последняя дата поиска – сентябрь 2023 г.

Результаты и обсуждение

Сопоставление УЗИ и КТ как методов первичной диагностики АБА

УЗИ является предпочтительным методом скрининга АБА по причине доступности, а также высоких показателей чувствительности (94–100%) и специфичности (98–100%) [18]. КТ обладает большими показателями точности в отношении измерения диаметра аневризмы по сравнению с УЗИ, при этом отмечается устойчивое занижение размеров на УЗИ [19]. Этому существует несколько объяснений. Во-первых, УЗИ имеет меньшее разрешение изображений, чем КТ, что может повлиять на точность локализации границ сосуда [20]. Во-вторых, во многих исследованиях максимальный размер аневризмы по данным КТ определяется как максимальный поперечный диаметр АБА в любом направлении, в то время как для УЗИ – это наиболь-

ший передне-задний или поперечный размер [20]. Кроме того, КТ демонстрирует сравнительно высокую воспроизводимость измерений [21] по причине высокого разрешения изображения [22], операторнезависимости метода и возможности трехмерной реконструкции данных, позволяющей оценить размеры в различных проекциях сосуда. В то же время КТ ассоциирована с лучевой нагрузкой на пациента, по этой причине использование данного метода для обнаружения АБА ограничено оппортунистическим сценарием.

Оппортунистический КТ-скрининг АБА

Потенциал КТ для оппортунистического скрининга АБА обусловлен двумя существенными аспектами. Во-первых, данная патология нередко является случайной находкой при проведении КТ-исследований органов брюшной полости (КТ ОБП): от 2,2% (91 случай за год [23]) до 5,8% (187 случаев за 1,5 года [24]) всех проводимых исследований. Во-вторых, ежегодно в РФ проводят до 22,8 млн КТ-исследований, из которых 0,2% приходится на КТ ОБП без контрастного усиления [25]. Следовательно, оппортунистический потенциал КТ в отношении АБА может достигать 2,5 тыс. случаев в год. Стоит также отметить внушительный объем КТ-данных, аккумулированных в Единой радиологической информационной системе (ЕРИС) [26], доступных для ретроспективного аудита.

Однако оппортунистический скрининг АБА на КТ имеет ряд методологических особенностей. В рутинном сценарии врач-рентгенолог обязан описать находку только в тех случаях, когда она является клинически значимой. Под этим термином понимают состояние органа или ткани, существенно влияющее на тактику ведения пациента. Причины пропусков при рентгенологическом описании связаны с техническими дефектами изображения и когнитивными искажениями [27]. Среди последних часто (до 22% [28]) встречается так называемый удовлетворенный поиск – прекращение анализа исследования при обнаружении целевой патологии. АБА относится к клинически важным находкам, однако, как будет показано ниже, в отсутствие контрастного усиления визуальный анализ брюшного отдела аорты затруднен, что нередко приводит к пропуску данной патологии. Неизбежность когнитивных искажений вкупе с общеизвестными недостатками ручной обработки больших объемов данных [29] обуславливают актуальность применения технологий автоматизированного анализа, в том числе с использованием ИИ в качестве вспомогательного инструмента врача-рентгенолога. Преимущества такого подхода были успешно продемонстрированы в рамках проектов «Московский скрининг рака легкого» [30, 31] и «Московский эксперимент по внедрению компьютерного зрения» [32].

Применение технологий ИИ: текущее состояние

Несмотря на активное внедрение технологий ИИ в лучевую диагностику, проведенный ранее систематический обзор существующих решений для оппортунистического скрининга АБА [33] демонстрирует слабое развитие данной области. При внушительном числе работ (более 100 тыс.) по поисковому запросу в PubMed и Google Scholar, объединяющему термины «АБА», «КТ», «скрининг» и «ИИ», автоматизация оппортунистического скрининга данной патологии по-прежнему остается нерешенной задачей. Критерии включения были сформированы так, чтобы охватить работы, содержащие данные о результатах применения ИИ для обнаружения и/или оценки размеров АБА не только в рамках оппортунистического скрининга, но и в рутинном анализе неконтрастных КТ-изображений. Тем не менее анализ 730 первично отобранных литературных источников позволил включить только 8 исследований, метаанализ которых показал высокие показатели чувствительности (95%), специфичности (96,6%) и диагностической точности (95,2%) [33]. Впрочем методологическое качество работ вызывало серьезные сомнения: среди основных недостатков дизайна большинства исследований (75%) отмечена несбалансированность либо нерепрезентативность набора данных, т. е. несоответствие выборки характеристикам популяции. Полученные результаты подтверждают общеизвестный тезис, согласно которому основным сдерживающим фактором внедрения технологий ИИ в оппортунистический скрининг АБА является малое количество репрезентативных наборов данных (НД) для обучения и тестирования алгоритмов ИИ [34].

Набор данных – это совокупность данных, прошедших предварительную обработку в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации об информационных технологиях и о защите информации. Подготовка НД для обучения и тестирования алгоритмов ИИ традиционно осуществляется медицинскими экспертами. Для определения АБА на КТ-изображении необходимо последовательно решить три задачи: *детектировать* объект (аорта), *сегментировать* область интереса (просвет сосуда и его стенку), измерить диаметр просвета и на основании результата измерения *классифицировать* исследование (норма или патология) [35, 36]. Среди перечисленных задач наиболее ресурсозатратной является сегментация медицинского изображения, охватывающая широкий круг потенциально автоматизируемых рутинных операций (рис. 1). Основные недостатки ручной сегментации хорошо известны – это трудоемкий, дорогостоящий метод, требующий привлечения нескольких разметчиков (в т. ч. экспертного уровня) для достижения приемлемого уровня согласованности результатов разметки. «Золотой

стандарт» сегментации аорты – ручная разметка врачами-рентгенологами на контрастно-усиленном КТ-изображении [3]. Существует большое число работ, посвященных алгоритмам полуавтоматической сегментации брюшной аорты на контрастно-усиленном КТ-изображении, позволяющих существенно снизить трудозатраты данного этапа [37].

Подготовка НД для обучения и тестирования алгоритмов ИИ: проблемы

Оппортунистический скрининг, напротив, предполагает работу с нецелевыми, то есть не-ангиографическими КТ-исследованиями. Сегментация аорты при таком сценарии ассоциирована с высокими трудозатратами, так как помимо стандартных недостатков ручной разметки данных увеличивается доля изображений, для которых потребуется экспертное мнение. Это связано с тем, что отсутствие контрастного усиления затрудняет задачу выделения границ области интереса в месте контакта с прилежащими к сосуду мышцами в силу сходства их рентгеновской плотности: плотность крови составляет 30–45 НУ, мышечной ткани – от 34 до 50 НУ [38]. Пример сравнения разметки на неконтрастном и контрастно-усиленном КТ-изображении брюшного отдела аорты представлен на рис. 2.

Вопрос точности ручной сегментации аорты на неконтрастных КТ-изображениях слабо освещен в литературе, при этом представленные результаты

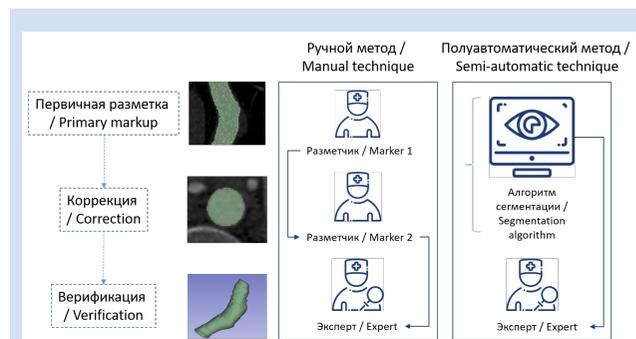


Рисунок 1. Схема подготовки набора данных стандартным методом и с применением полуавтоматических методов сегментации

Figure 1. Scheme of dataset preparation using standard method and semi-automatic segmentation methods

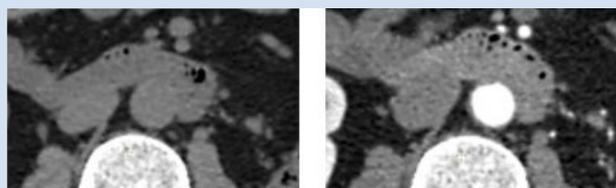


Рисунок 2. Вид области интереса на неконтрастном (слева) и контрастно-усиленном (справа) КТ-изображении. Параметры визуализации: аксиальная плоскость, ширина диапазона интенсивностей составляет 300 НУ, центр диапазона равен +50НУ

Figure 2. View of the region of interest on non-contrast (left) and contrast-enhanced (right) CT images. Imaging parameters: axial plane, intensity range width is 300 HU, range center is +50HU

могут оказаться завышенными по причине низкого методологического качества исследований [33]. Результаты собственных исследований демонстрируют вариабельность коэффициента Дайса – Соренса (Dise–Soerence Coefficient, DCS) на уровне 0,76–0,96 [39]. Участки контакта области интереса с окружающей мышечной тканью являются источником неопределенности при создании сегментационной маски (рис. 3). Повышение качества и согласованности разметки возможно за счет использования трехмерной реконструкции [40], однако этот прием увеличивает трудозатраты и усложняет процесс разметки.

Подготовка НД для обучения и тестирования алгоритмов ИИ: существующие подходы

В настоящее время поиск возможных решений в основном связывают с применением технологий ИИ, однако число таких исследований невелико, а их дизайн не всегда состоятелен. Так, J.T. Lu и соавт. в рамках доклада на конференции [41] о применении нейронной сети для сегментации АБА приводят DSC в диапазоне $0,9 \pm 0,5$ на выборке из 25 неконтрастных КТ-исследований, однако в работе не указано, как и кем была выполнена эталонная (ручная) сегментация. Ö.F. Vozkir и соавт. сообщают о значении DSC, достигающем 0,9 по данным сканирования грудной и брюшной аорты 38 пациентов, однако доля неконтрастных исследований не указана [42].

Также известен подход создания искусственных размеченных КТ-изображений аорты. Для этих целей используют нейросети генеративно-состязательного типа (generative artificial network, GAN), позволяющие на основе обучающей выборки создавать новые, не идентичные исходным изображения [43]. Несмотря на успехи применения GAN для создания

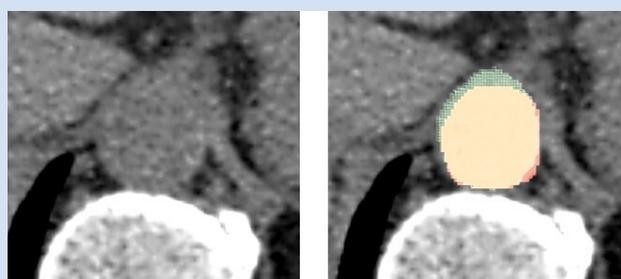


Рисунок 3. Пример ручной сегментации области интереса (аорта) на КТ-изображении в отсутствие контрастного усиления для DSC 0,76. Слева показано исходное изображение, справа – размеченное. Сплошным цветом показано пересечение масок. Параметры визуализации: аксиальная плоскость, ширина диапазона интенсивностей составляет 300 HU, центр диапазона равен +50HU

Figure 3. Example of manual segmentation of the region of interest (aorta) on a CT image in the absence of contrast enhancement for DSC 0.76. The original image is shown on the left and the segmented image on the right. The intersection of the masks is shown in solid color. Imaging parameters: axial plane, intensity range width is 300 HU, range center is +50HU

неконтрастных КТ-изображений брюшного отдела аорты [40], применение искусственно созданных наборов данных для обучения ИИ имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, синтетические наборы данных могут содержать ошибки, быть ограниченными относительно ряда признаков из-за недостаточной изменчивости и корреляции в исходной выборке: элементы с редкими признаками могут быть исключены из конечной выборки [44]. Во-вторых, существует риск возникновения систематической ошибки, который сохраняется даже при корректной методологии подготовки исходного набора данных [45]. При этом замкнутый цикл обучения способен усугубить этот эффект за счет накопления подобных ошибок на каждой итерации обучения. Наконец, применение синтеза данных с помощью GAN-подхода, может повлечь за собой создание новых, несвойственных реальным данным элементов.

Таким образом, в настоящее время методология сегментации аорты на неконтрастных КТ-изображениях из-за ряда технических особенностей обработки таких данных в основном ограничивается ручными методами. Это является основным сдерживающим фактором развития ИИ и внедрения его для автоматизации оппортунистического скрининга АБА на КТ. Перспективными, на наш взгляд, являются методы, направленные на поиск новых решений в области обработки КТ-изображений [46, 47].

Заключение

Аневризма брюшной аорты является опасным заболеванием, для которого характерны скрытое течение и неблагоприятный прогноз. Своевременная диагностика АБА является ключевым фактором снижения риска осложнений и напрямую влияет на эффективность лечения. В данном обзоре продемонстрирован оппортунистический потенциал КТ в отношении АБА, основанный на достаточной (до 5,8%) доле пропусков АБА на КТ-изображениях без контрастного усиления. Показано, что, несмотря на активное развитие ИИ в сфере оппортунистического скрининга, для АБА число таких алгоритмов сравнительно невелико. Причина медленного развития таких алгоритмов – малый объем репрезентативных обучающих выборок. В свою очередь малое число данных для обучения связано с трудоемким, преимущественно ручным методом их подготовки. Разработка методов автоматизации подготовки наборов данных для обучения таких алгоритмов, которая активно ведется в настоящее время, позволит ускорить развитие оппортунистического КТ-скрининга данной патологии.

Конфликт интересов

М.Р. Коденко заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.В. Владзимирский заявляет об отсут-

ствии конфликта интересов. О.В. Омелянская заявляет об отсутствии конфликта интересов. М.М. Сучилова заявляет об отсутствии конфликта интересов. И.А. Блохин заявляет об отсутствии конфликта интересов. Д.В. Гатин заявляет об отсутствии конфликта интересов. Р.В. Решетников заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИОКР «Разработка программного обеспечения для автоматического формирования наборов данных КТ-исследований сердечно-со-

судистой системы с подавлением контрастирования для обучения и тестирования алгоритмов на основе искусственного интеллекта» (№ ЕГИСУ: 123031500002-1) в соответствии с приказом от 21.12.2022 г. № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

Информация об авторах

Коденко Мария Романовна, младший научный сотрудник отдела научных медицинских исследований государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Российская Федерация; аспирант кафедры «Биомедицинские технические системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0166-3768

Владимирский Антон Вячеславович, заместитель директора по научной работе государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-2990-7736

Омелянская Ольга Васильевна, руководитель по управлению подразделениями Дирекции Наука государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0245-4431

Сучилова Мария Максимовна, младший научный сотрудник отдела научных медицинских исследований государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-1117-0294

Блохин Иван Андреевич, начальник сектора исследований в лучевой диагностике государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-2681-9378

Гатин Денис Вадимович, младший научный сотрудник отдела научных медицинских исследований государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Российская Федерация

Решетников Роман Владимирович, руководитель отдела научных медицинских исследований государственного

Author Information Form

Kodenko Maria R., Junior Researcher at the Department of Scientific Medical Research, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow city “Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Department of Healthcare of Moscow”, Moscow, Russian Federation; Postgraduate Student at the Department of Biomedical Technical Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bauman Moscow State Technical University”, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0166-3768

Vladimirskyy Anton V., Deputy Director for Science, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow city “Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Department of Healthcare of Moscow”, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-2990-7736

Omelyanskaya Olga V., Head of Department of Management for Directorate of Science, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow city “Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Department of Healthcare of Moscow”, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0245-4431

Suchilova Maria M., Junior Researcher at the Department of Scientific Medical Research, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow city “Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Department of Healthcare of Moscow”, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-1117-0294

Blokhin Ivan A., Head of the Radiation Diagnostics Research Sector, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow city “Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Department of Healthcare of Moscow”, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-2681-9378

Gatin Denis V., Junior Researcher at the Department of Scientific Medical Research, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow city “Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Department of Healthcare of Moscow”, Moscow, Russian Federation

Reshetnikov Roman V., Head of the Department of Scientific Medical Research, State Budgetary Healthcare Institution

бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-9661-0254

of the Moscow city “Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Department of Healthcare of Moscow”, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-9661-0254

Вклад авторов в статью

KMP – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

BAB – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

OOB – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

SMM – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

BIA – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ГДВ – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

РРВ – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Contribution Statement

KMR – contribution to the concept and design of the study, data collection and analysis, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

VAV – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

OOV – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

SMM – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

BIA – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

GDV – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

RRV – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ICD-10 Version: 2019. Режим доступа: <https://icd.who.int/browse10/2019/en> (дата обращения 21.11.2023).
2. Ellis M., Powell J.T., Greenhalgh R.M. Limitations of ultrasonography in surveillance of small abdominal aortic aneurysms // *British Journal of Surgery*. 1991. Vol. 78, № 5. doi: 10.1002/bjs.1800780529
3. Клинические рекомендации «Аневризмы брюшной аорты» Режим доступа: <https://angiolsurgery.org/library/recommendations/2022/aneurysm/> (дата обращения 23.11.2023).
4. Song P. et al. The Global and Regional Prevalence of Abdominal Aortic Aneurysms: A Systematic Review and Modeling Analysis // *Ann Surg*. 2023. Vol. 277, № 6. doi: 10.1097/SLA.0000000000005716.
5. Jahangir E. et al. Smoking, sex, risk factors and abdominal aortic aneurysms: A prospective study of 18 782 persons aged above 65 years in the southern community cohort study // *J Epidemiol Community Health* (1978). 2015. Vol. 69, № 5. doi: 10.1136/jech-2014-204920.
6. Altobelli E. et al. Risk factors for abdominal aortic aneurysm in population-based studies: A systematic review and meta-analysis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. Vol. 15, № 12. doi: 10.3390/ijerph15122805.
7. Lederle F.A. et al. The aneurysm detection and management study screening program: validation cohort and final results. Aneurysm Detection and Management Veterans Affairs Cooperative Study Investigators. // *Arch Intern Med*. 2000. Vol. 160, № 10. doi: 10.1001/archinte.160.10.1425.
8. Takei H. et al. Screening for abdominal aortic aneurysm and occlusive peripheral vascular disease in Japanese residents // *Surg Today*. 1995. Vol. 25, № 7.
9. Sweeting M.J. et al. Meta-analysis of individual patient data to examine factors affecting growth and rupture of small abdominal aortic aneurysms // *British Journal of Surgery*. 2012. Vol. 99, № 5. doi: 10.1002/bjs.8707.
10. Anagnostakos J., Lal B. K. Abdominal aortic aneurysms // *Progress in cardiovascular diseases*. – 2021. – Т. 65. – С. 34-43. doi:10.1016/j.pcad.2021.03.009
11. Garrity B.M., Sugarman E., Pulley S. Abdominal aortic aneurysm rupture presenting with focal weakness and altered mental status: a case report // *Int J Emerg Med*. 2022. Vol. 15, № 1. doi: 10.1186/s12245-022-00433-5.
12. Reimerink J.J. et al. Systematic review and meta-analysis of population-based mortality from ruptured abdominal aortic aneurysm // *British Journal of Surgery*. 2013. Vol. 100, № 11. doi: 10.1002/bjs.9235.
13. Hoornweg L.L. et al. Meta Analysis on Mortality of Ruptured Abdominal Aortic Aneurysms // *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2008. Vol. 35, № 5. doi: 10.1016/j.ejvs.2007.11.019.
14. Самородская И. В. Скрининг в кардиологии // *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. – 2018. – Т. 7. – №. 4. – С. 92-100.
15. Shaw P. M., Loree J., Gibbons R. C. Abdominal aortic aneurysm. – 2017. PMID: 29262134.
16. van Walraven C, Wong J, Morant K, Jennings A, Jetty P, Forster A.J. Incidence, follow-up, and outcomes of incidental abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg*. 2010 Aug;52(2):282-9.e1-2. doi: 10.1016/j.jvs.2010.03.006. Epub 2010 Jun 11. PMID: 20541348.
17. Castro-Ferreira R. et al. Incidental abdominal aortic aneurysms are largely undocumented and unmonitored // *Ann Vasc Surg*. 2021. Vol. 77. doi: 10.1016/j.avsg.2021.05.027.
18. Guirguis-Blake J.M. et al. Primary Care Screening for Abdominal Aortic Aneurysm: Updated Evidence Report and Systematic Review for the US Preventive Services Task Force // *JAMA - Journal of the American Medical Association*. 2019. Vol. 322, № 22. doi: 10.1001/jama.2019.17021.
19. Manning B.J. et al. Abdominal aortic aneurysm

diameter: A comparison of ultrasound measurements with those from standard and three-dimensional computed tomography reconstruction // *J Vasc Surg.* 2009. Vol. 50, № 2. P. 263–268. doi: 10.1016/j.jvs.2009.02.243.

20. Andreucci M., Solomon R., Tasanarong A. Side effects of radiographic contrast media: Pathogenesis, risk factors, and prevention // *BioMed Research International.* 2014. Vol. 2014. doi: 10.1155/2014/741018.

21. Zha Y. et al. Quantitative aortic distensibility measurement using CT in patients with abdominal aortic aneurysm: Reproducibility and clinical relevance // *Biomed Res Int.* 2017. Vol. 2017. doi: 10.1155/2017/5436927.

22. Lin E., Alessio A. What are the basic concepts of temporal, contrast, and spatial resolution in cardiac CT? // *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2009. Vol. 3, № 6. doi: 10.1016/j.jcct.2009.07.003

23. Gordon J.R.S. et al. Failure to recognize newly identified aortic dilations in a health care system with an advanced electronic medical record // *Ann Intern Med.* 2009. Vol. 151, № 1. doi: 10.7326/0003-4819-151-1-200907070-00005.

24. Claridge R. et al. Measuring abdominal aortic diameters in routine abdominal computed tomography scans and implications for abdominal aortic aneurysm screening // *J Vasc Surg.* 2017. Vol. 65, № 6. P. 1637–1642. doi: 10.1016/j.jvs.2016.11.044.

25. Dashboard как мощный инструмент для управленческих решений. Режим доступа: <https://telemedai.ru/press-centr/novosti/dashboard-kak-moshnyj-instrument-dlya-upravlencheskih-reshenij?ysclid=lp86vadx1w703586444> (дата обращения 21.11.2023).

26. Единый радиологический информационный сервис. Режим доступа: https://telemedai.ru/proekty/edinyj-radiologicheskij-informacionnyj-servis_2020?ysclid=lp86zvz33a625269831 (дата обращения 21.11.2023)

27. Lee C.S. et al. Cognitive and system factors contributing to diagnostic errors in radiology // *American Journal of Roentgenology.* 2013. Vol. 201, № 3. doi: 10.2214/AJR.12.10375.

28. Kim Y.W., Mansfield L.T. Fool me twice: Delayed diagnoses in radiology with emphasis on perpetuated errors // *American Journal of Roentgenology.* 2014. Vol. 202, № 3. doi: 10.2214/AJR.13.11493.

29. Aiello M. et al. The challenges of diagnostic imaging in the era of big data // *J Clin Med.* 2019. Vol. 8, № 3. doi: 10.3390/jcm8030316.

30. Zakharova D.K. et al. Hepatic Steatosis Detection by Computer Vision During Chest Low-Dose Computed Tomography in Lung Cancer Screening Program // *Journal of radiology and nuclear medicine.* 2023. Vol. 104, № 1.

31. Васильев Ю.А., Тыров И.А., Владимирский А.В., Арзамасов К.М., Шулькин И.М., Кожихина Д.Д., Пестреин Л.Д. Двойной просмотр результатов маммографии с применением технологий искусственного интеллекта: новая модель организации массовых профилактических исследований // *Digital Diagnostics.* - 2023. - Т. 4. - №2. - С. 93-104. doi: 10.17816/DD321423.

32. Морозов С.П., Владимирский А.В., Шулькин И.М., Ледихова Н.В., Арзамасов К.М., Андрейченко А.Е., Логунова Т.А., Омелянская О.В., Гусев А.В. Целесообразность применения технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике (результаты первого года Московского эксперимента по компьютерному зрению). *Врач и информационные технологии.* 2022; 1: 12-29.

33. Kodenko M.R. et al. Diagnostic Accuracy of AI for Opportunistic Screening of Abdominal Aortic Aneurysm in CT:

A Systematic Review and Narrative Synthesis // *Diagnosics.* 2022. Vol. 12, № 12. doi: 10.3390/diagnostics12123197.

34. Maheswari J. P. Breaking the curse of small datasets in Machine Learning: Part 1 // *Towardsdatascience.* com. – 2018.

35. Подготовка набора данных для обучения и тестирования программного обеспечения на основе технологии искусственного интеллекта : Учебно-методическое пособие / Ю. А. Васильев, К. М. Арзамасов, А. В. Владимирский [и др.]. – Москва : Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, 2023. – 108 с. – EDN OGKFGM.

36. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621046 Российская Федерация. MosMedData: КТ с признаками аневризмы брюшного отдела аорты : № 2023620795 : заявл. 24.03.2023 : опубли. 30.03.2023 / Ю. А. Васильев, Е. В. Туравилова, И. М. Шулькин [и др.] ; заявитель Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».

37. Lareyre F. et al. Artificial intelligence and automatic segmentation of abdominal aortic aneurysm: Past, present, and future // *J Vasc Surg.* 2021. Vol. 74, № 1. P. 347–348. doi: 10.1016/j.jvs.2021.01.073.

38. Barnard R. et al. Machine learning for automatic paraspinous muscle area and attenuation measures on low-dose chest CT scans // *Elsevier.* doi: 10.1016/j.acra.2019.06.017.

39. Kodenko M.R., Makarova T.A. Preparation of abdominal computed tomography data set for patients with abdominal aortic aneurysm // *Digital Diagnostics.* 2023. Vol. 4, № 1S. doi: 10.17816/DD430355

40. Chandrashekar A. et al. A deep learning approach to generate contrast-enhanced computerised tomography angiograms without the use of intravenous contrast agents // *Eur Heart J. Oxford University Press (OUP),* 2020. Vol. 41, № Supplement 2.

41. Lu J.-T. et al. DeepAAA: Clinically Applicable and Generalizable Detection of Abdominal Aortic Aneurysm Using Deep Learning. 2019. P. 723–731.

42. BOZKIR Ö. F. et al. Segmentation of the Aorta in CTA Images Using Deep Learning Methods. – 2023.

43. Goodfellow I. et al. Generative adversarial networks // *Commun ACM.* 2020. Vol. 63, № 11.

44. Lucini F. The Real Deal About Synthetic Data. Режим доступа: <https://sloanreview.mit.edu/article/the-real-deal-about-synthetic-data/> (дата обращения 21.11.2023).

45. Zhao Q., Adeli E., Pohl K.M. Training confounder-free deep learning models for medical applications // *Nature Communications* 2020 11:1. Nature Publishing Group, 2020. Vol. 11, № 1. P. 1–9. doi: 10.1038/s41467-020-19784-9

46. Коденко М.Р., Кульберг Н.С., Самородов А.В. «Анализ высокоплотностного компонента содержимого брюшной аорты при КТ-ангиографии». Сборник тезисов XXX Международной конференции «Математика. Компьютер. Образование» – 2023 – Режим доступа: <http://www.mce.su/rus/archive/abstracts/mce30/sect288919/doc417793> (дата обращения: 30.03.2023 г.)

47. Kodenko, M. R., Vasilev, Y. A., Kulberg, N. S., Samorodov, A. V., Vladzimirskyy, A. V., Omelyanskaya, O. V., Reshetnikov, R. V. Contrast-agent-induced deterministic component of CT-density in the abdominal aorta during routine angiography: proof of concept study. arXiv preprint arXiv:2310.20243. Режим доступа: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.20243> (дата обращения: 10.11.2023 г.)

REFERENCES

1. ICD-10 Version:2019 [Internet]. Available at: <https://icd.who.int/browse10/2019/en> (accessed 21.11.2022)

2. Ellis M., Powell J.T., Greenhalgh R.M. Limitations of

ultrasonography in surveillance of small abdominal aortic aneurysms // *British Journal of Surgery.* 1991. Vol. 78, № 5. doi: 10.1002/bjs.1800780529

3. Klinicheskie rekomendacii «Anevrizmy brjushnogo aorty» Available at: <https://angiolsurgery.org/library/recommendations/2022/aneurysm/> (accessed 23.11.2023).
4. Song P. et al. The Global and Regional Prevalence of Abdominal Aortic Aneurysms: A Systematic Review and Modeling Analysis // *Ann Surg.* 2023. Vol. 277, № 6. doi: 10.1097/SLA.0000000000005716.
5. Jahangir E. et al. Smoking, sex, risk factors and abdominal aortic aneurysms: A prospective study of 18 782 persons aged above 65 years in the southern community cohort study // *J Epidemiol Community Health* (1978). 2015. Vol. 69, № 5. doi: 10.1136/jech-2014-204920.
6. Altobelli E. et al. Risk factors for abdominal aortic aneurysm in population-based studies: A systematic review and meta-analysis // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2018. Vol. 15, № 12. doi: 10.3390/ijerph15122805.
7. Lederle F.A. et al. The aneurysm detection and management study screening program: validation cohort and final results. Aneurysm Detection and Management Veterans Affairs Cooperative Study Investigators. // *Arch Intern Med.* 2000. Vol. 160, № 10. doi: 10.1001/archinte.160.10.1425.
8. Takei H. et al. Screening for abdominal aortic aneurysm and occlusive peripheral vascular disease in Japanese residents // *Surg Today.* 1995. Vol. 25, № 7.
9. Sweeting M.J. et al. Meta-analysis of individual patient data to examine factors affecting growth and rupture of small abdominal aortic aneurysms // *British Journal of Surgery.* 2012. Vol. 99, № 5. doi: 10.1002/bjs.8707.
10. Anagnostakos J., Lal B. K. Abdominal aortic aneurysms // *Progress in cardiovascular diseases.* – 2021. – T. 65. – С. 34-43. doi:10.1016/j.pcad.2021.03.009
11. Garrity B.M., Sugarman E., Pulley S. Abdominal aortic aneurysm rupture presenting with focal weakness and altered mental status: a case report // *Int J Emerg Med.* 2022. Vol. 15, № 1. doi: 10.1186/s12245-022-00433-5.
12. Reimerink J.J. et al. Systematic review and meta-analysis of population-based mortality from ruptured abdominal aortic aneurysm // *British Journal of Surgery.* 2013. Vol. 100, № 11. doi: 10.1002/bjs.9235.
13. Hoorweg L.L. et al. Meta Analysis on Mortality of Ruptured Abdominal Aortic Aneurysms // *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery.* 2008. Vol. 35, № 5. doi: 10.1016/j.ejvs.2007.11.019.
14. Самородская И. В. Скрининг в кардиологии // *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* – 2018. – Т. 7. – №. 4. – С. 92-100.
15. Shaw P. M., Loree J., Gibbons R. C. Abdominal aortic aneurysm. – 2017. PMID: 29262134.
16. van Walraven C, Wong J, Morant K, Jennings A, Jetty P, Forster AJ. Incidence, follow-up, and outcomes of incidental abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg.* 2010 Aug;52(2):282-9.e1-2. doi: 10.1016/j.jvs.2010.03.006. Epub 2010 Jun 11. PMID: 20541348.
17. Castro-Ferreira R. et al. Incidental abdominal aortic aneurysms are largely undocumented and unmonitored // *Ann Vasc Surg.* 2021. Vol. 77. doi: 10.1016/j.avsg.2021.05.027.
18. Guirguis-Blake J.M. et al. Primary Care Screening for Abdominal Aortic Aneurysm: Updated Evidence Report and Systematic Review for the US Preventive Services Task Force // *JAMA - Journal of the American Medical Association.* 2019. Vol. 322, № 22. doi: 10.1001/jama.2019.17021.
19. Manning B.J. et al. Abdominal aortic aneurysm diameter: A comparison of ultrasound measurements with those from standard and three-dimensional computed tomography reconstruction // *J Vasc Surg.* 2009. Vol. 50, № 2. P. 263–268. doi: 10.1016/j.jvs.2009.02.243.
20. Andreucci M., Solomon R., Tasanarong A. Side effects of radiographic contrast media: Pathogenesis, risk factors, and prevention // *BioMed Research International.* 2014. Vol. 2014. doi: 10.1155/2014/741018.
21. Zha Y. et al. Quantitative aortic distensibility measurement using CT in patients with abdominal aortic aneurysm: Reproducibility and clinical relevance // *Biomed Res Int.* 2017. Vol. 2017. doi: 10.1155/2017/5436927.
22. Lin E., Alessio A. What are the basic concepts of temporal, contrast, and spatial resolution in cardiac CT? // *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2009. Vol. 3, № 6. doi: 10.1016/j.jcct.2009.07.003
23. Gordon J.R.S. et al. Failure to recognize newly identified aortic dilations in a health care system with an advanced electronic medical record // *Ann Intern Med.* 2009. Vol. 151, № 1. doi: 10.7326/0003-4819-151-1-200907070-00005.
24. Claridge R. et al. Measuring abdominal aortic diameters in routine abdominal computed tomography scans and implications for abdominal aortic aneurysm screening // *J Vasc Surg.* 2017. Vol. 65, № 6. P. 1637–1642. doi: 10.1016/j.jvs.2016.11.044.
25. Dashboard kak moshhnyj instrument dlja upravlencheskih reshenij. Available at: <https://telemedai.ru/press-centr/novosti/dashboard-kak-moshhnyj-instrument-dlya-upravlencheskih-reshenij?ysclid=lp86vadx1w703586444> (accessed 21.11.2023).
26. Edinyj radiologicheskij informacionnyj servis. Available at: https://telemedai.ru/proekty/edinyj-radiologicheskij-informacionnyj-servis_2020?ysclid=lp86zv33a625269831 (accessed 21.11.2023)
27. Lee C.S. et al. Cognitive and system factors contributing to diagnostic errors in radiology // *American Journal of Roentgenology.* 2013. Vol. 201, № 3. doi: 10.2214/AJR.12.10375.
28. Kim Y.W., Mansfield L.T. Fool me twice: Delayed diagnoses in radiology with emphasis on perpetuated errors // *American Journal of Roentgenology.* 2014. Vol. 202, № 3. doi: 10.2214/AJR.13.11493.
29. Aiello M. et al. The challenges of diagnostic imaging in the era of big data // *J Clin Med.* 2019. Vol. 8, № 3. doi: 10.3390/jcm8030316.
30. Zakharova D.K. et al. Hepatic Steatosis Detection by Computer Vision During Chest Low-Dose Computed Tomography in Lung Cancer Screening Program // *Journal of radiology and nuclear medicine.* 2023. Vol. 104, № 1.
31. Vasilev YuA, Tyrov IA, Vladzimirskyy AV, Arzamasov KM, Shulkin IM, Kozhikhina DD, Pestrenin LD. Double-reading mammograms using artificial intelligence technologies: A new model of mass preventive examination organization. *Digital Diagnostics.* 2023;4(2):93–104. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321423>
32. Morozov S.P., Vladzimirskyy A.V., Shulkin I.M., Ledikhova N.V., Arzamasov K.M., Andreychenko A.E., Logunova T.A., Omelyanskaya O.V., Gusev A.V. Feasibility of using artificial intelligence in radiation diagnostics. *Medical doctor and information technology.* 2022; 1: 12-29.
33. Kodenko M.R. et al. Diagnostic Accuracy of AI for Opportunistic Screening of Abdominal Aortic Aneurysm in CT: A Systematic Review and Narrative Synthesis // *Diagnostics.* 2022. Vol. 12, № 12. doi: 10.3390/diagnostics12123197.
34. Maheswari J. P. Breaking the curse of small datasets in Machine Learning: Part 1 // *Towardsdatascience.com.* – 2018.
35. Podgotovka nabora dannyh dlja obuchenija i testirovanija programmogo obespechenija na osnove tehnologii iskusstvennogo intellekta : Uchebno-metodicheskoe posobie / Ju. A. Vasil'ev, K. M. Arzamasov, A. V. Vladzimirskij [i dr.]. – Moskva : Nauchno-prakticheskij klinicheskij centr diagnostiki i telemedicinskih tehnologij Departamenta zdравоохранenija goroda Moskvy, 2023. – 108 s. – EDN OGGKFGM.
36. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh № 2023621046 Rossijskaja Federacija. MosMedData: KT s priznakami anevrizmy brjushnogo otdela aorty : № 2023620795 : claimed 24.03.2023 : published 30.03.2023 / Ju. A. Vasil'ev, E. V. Turavilova, I. M. Shul'kin et al ; zajavitel' Moscow center for diagnostic and telemedicine

37. Lareyre F. et al. Artificial intelligence and automatic segmentation of abdominal aortic aneurysm: Past, present, and future // *J Vasc Surg*. 2021. Vol. 74, № 1. P. 347–348. doi: 10.1016/j.jvs.2021.01.073.
38. Barnard R. et al. Machine learning for automatic paraspinous muscle area and attenuation measures on low-dose chest CT scans // Elsevier. doi: 10.1016/j.acra.2019.06.017.
39. Kodenko M.R., Makarova T.A. Preparation of abdominal computed tomography data set for patients with abdominal aortic aneurysm // *Digital Diagnostics*. 2023. Vol. 4, № 1S. doi: 10.17816/DD430355
40. Chandrashekar A. et al. A deep learning approach to generate contrast-enhanced computerised tomography angiograms without the use of intravenous contrast agents // *Eur Heart J*. Oxford University Press (OUP), 2020. Vol. 41, № Supplement 2.
41. Lu J.-T. et al. DeepAAA: Clinically Applicable and Generalizable Detection of Abdominal Aortic Aneurysm Using Deep Learning. 2019. P. 723–731.
42. Bozikor Ö. F. et al. Segmentation of the Aorta in CTA Images Using Deep Learning Methods. – 2023.
43. Goodfellow I. et al. Generative adversarial networks // *Commun ACM*. 2020. Vol. 63, № 11.
44. Lucini F. The Real Deal About Synthetic Data. Режим доступа: <https://sloanreview.mit.edu/article/the-real-deal-about-synthetic-data/> (дата обращения 21.11.2023).
45. Zhao Q., Adeli E., Pohl K.M. Training confounder-free deep learning models for medical applications // *Nature Communications* 2020 11:1. Nature Publishing Group, 2020. Vol. 11, № 1. P. 1–9. doi: 10.1038/s41467-020-19784-9
46. Kodenko M.R., Kulberg N.S., Samorodov A.V. "Analysis of high-density component of abdominal aorta contents at CT-angiography". Collection of abstracts of XXX International Conference "Mathematics. Computer. Education" - 2023 – Available at: <http://www.mce.su/rus/archive/abstracts/mce30/sect288919/doc417793> (accessed 30.03.2023)
47. Kodenko, M. R., Vasilev, Y. A., Kulberg, N. S., Samorodov, A. V., Vladzimirskyy, A. V., Omelyanskaya, O. V., Reshetnikov, R. V. Contrast-agent-induced deterministic component of CT-density in the abdominal aorta during routine angiography: proof of concept study. arXiv preprint arXiv:2310.20243. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.20243> (accessed: 10.11.2023 г.)

Для цитирования: Коденко М.Р., Владзмирский А.В., Омелянская О.В., Сучилова М.М., Блохин И.А., Гатин Д.В., Решетников Р.В. Автоматизация оппортунистического компьютерно-томографического скрининга аневризмы брюшной аорты с использованием искусственного интеллекта: перспективы и проблемы (обзор литературы). *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2024;13(4): 204-213. DOI: 10.17802/2306-1278-2024-13-4-204-213

To cite: Kodenko M.R., Vladzimirskyy A.V., Omelyanskaya O.V., Suchilova M.M., Blokhin I.A., Gatin D.V., Reshetnikov R.V. Automated opportunistic CT-screening of abdominal aortic aneurysms using artificial intelligence: prospects and challenges (literature review). *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2024;13(4): 204-213. DOI: 10.17802/2306-1278-2024-13-4-204-213