



Приложения искусственного интеллекта в кардиологии: обзор

Соловьёв И. А.¹, Курочкина О. Н.^{1,2}

В обзорной статье рассмотрены ключевые приложения искусственного интеллекта (ИИ) в кардиологии. Структура обзора включает подразделы, посвященные слабому (прикладному) и сильному (общему) ИИ, применяемым в клинической практике и при организации кардиологической помощи. Описаны варианты применения ИИ в анализе данных электрокардиографии, эхокардиографии, сонографии, компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии, позитронно-эмиссионной томографии сердца. Кратко изложены аспекты применения машинного обучения и ИИ для обработки вызовов больных с кардиологическими жалобами на станцию скорой помощи, рассмотрены приложения ИИ к проблемам превентивной кардиологии. В обзоре рассмотрены возможности применения ИИ при анализе массивов данных, полученных при проведении тонометрии, измерении скорости пульсовой волны, в биохимических исследованиях. В работе сформулированы также принципы применения общего ИИ (больших языковых моделей) при организации кардиологической медицинской помощи, выделены основные проблемы и сложности внедрения новейшей технологии, приведена концептуальная схема внедрения технологии ИИ в работу лечебно-профилактического учреждения кардиологического профиля. В работе выделены основные факторы, ограничивающие возможности внедрения технологии больших языковых моделей, такие как отсутствие стандартизированных алгоритмов сбора и оформления клинических данных, отсутствие понимания машиной контекста, невозможность моделей формировать экспертные клинические суждения, появление множества проблем этического характера при использовании больших языковых моделей.

Ключевые слова: искусственный интеллект, кардиология, машинное обучение, большие языковые модели.

Отношения и деятельность: нет.

¹ФГБОУ ВО Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар; ²ГУ Республики Коми Клинический кардиологический диспансер, Сыктывкар, Россия.

Соловьёв И. А.* — к.б.н., с.н.с., зав. научно-исследовательской лабораторией "Трансляционная биоинформатика и системная биология" медицинского института, ORCID: 0000-0002-1038-2271, Курочкина О. Н. — д.м.н., профессор кафедры терапии медицинского института; зав. научным отделом, ORCID: 0000-0003-1595-7692.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): i@ilyasolov.ru

БЯМ — большие языковые модели, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИИ — искусственный интеллект, КТ — компьютерная томография, ЛЖ — левый желудочек, МО — машинное обучение, МРТ — магнитно-резонансная томография, МРТС — магнитно-резонансная томография сердца, ПЖ — правый желудочек, ПЭТ — позитронно-эмиссионная томография, ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания, ФВ — фракция выброса, ЭКГ — электрокардиография, ЭхоКГ — эхокардиография.

Рукопись получена 02.11.2023

Рецензия получена 18.01.2024

Принята к публикации 17.06.2024



Для цитирования: Соловьёв И. А., Курочкина О. Н. Приложения искусственного интеллекта в кардиологии: обзор. *Российский кардиологический журнал*. 2024;29(11S):5673. doi: 10.15829/1560-4071-2024-5673. EDN SNQWE

Artificial intelligence applications in cardiology: a review

Soloviev I. A.¹, Kurochkina O. N.^{1,2}

The review article considers key applications of artificial intelligence (AI) in cardiology. The review includes subsections devoted to weak and strong AI used in clinical practice and cardiology health provision. The article describes the application options for AI in the analysis of electrocardiography, echocardiography, sonography, computed tomography, magnetic resonance imaging, and positron emission tomography of the heart data. The article briefly describes the aspects of using machine learning and artificial intelligence to process ambulance calls from patients with cardiac complaints, and considers AI applications in preventive cardiology. The review considers the potential of AI in the analysis of data arrays obtained during tonometry, pulse wave velocity measurement, and in biochemical studies. The paper also formulates the principles of strong AI (large language models) in cardiology health provision, identifies the main problems and difficulties in implementing the latest technology, and provides a conceptual scheme for implementing AI technology in a cardiology center. This paper highlights the key limitations of the large language model technology, such as the lack of standard algorithms for collecting and reviewing data, lack of understanding of the context, the inability of models to form expert conclusions, and the emergence of many problematic ethical characteristics when using large language models.

Существует две категории искусственного интеллекта (ИИ): слабый ИИ и сильный ИИ. Слабый ИИ, также называемый узким, специализированным ИИ, ориентирован на выполнение определенного на-

Keywords: artificial intelligence, cardiology, machine learning, large language models.

Relationships and Activities: none.

¹Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar; ²Clinical Cardiology Dispensary, Syktyvkar, Russia.

Soloviev I. A.* ORCID: 0000-0002-1038-2271, Kurochkina O. N. ORCID: 0000-0003-1595-7692.

*Corresponding author: i@ilyasolov.ru

Received: 02.11.2023 **Revision Received:** 18.01.2024 **Accepted:** 17.06.2024

For citation: Soloviev I. A., Kurochkina O. N. Artificial intelligence applications in cardiology: a review. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(11S):5673. doi: 10.15829/1560-4071-2024-5673. EDN SNQWE

бора задач. Специализированный ИИ сегодня является наиболее распространенной формой ИИ — это подход к исследованиям и разработкам в области ИИ, при котором учитывается, что ИИ есть имита-

Ключевые моменты

- Искусственный интеллект (ИИ) в кардиологии постепенно становится общепринятым инструментом.
- Методы машинного обучения (прикладной ИИ) уже применяются в электро- и эхокардиографии, сонографии, лучевой диагностике сердечных заболеваний, повышая их точность.
- "Общий" ИИ на базе больших языковых моделей способен произвести революцию в непрерывном медицинском образовании, составляя для специалистов дайджесты.
- Большие языковые модели в кардиологии, по мере их совершенствования, способны ускорить процесс заполнения медицинской документации и её анализа, что приведет к повышению скорости и качества оказания медицинской помощи.
- При всей футуристичности больших языковых моделей существует множество ограничений и проблем, например, этических и профессиональных, которые препятствуют внедрению этой технологии в клиническую практику.

ция и всегда будет лишь симуляцией когнитивных функций человека, и что компьютеры могут только казаться думающими, но на самом деле не обладают сознанием [1]. Специализированный ИИ просто действует и подчиняется навязанным ему правилам, и он не может выйти за рамки этих правил, установленных оператором. Хорошим примером прикладного ИИ являются герои компьютерной игры, которые действуют правдоподобно в контексте своего игрового персонажа, но не могут выполнить никаких действий, кроме прописанных разработчиком. Универсальный ИИ или общий ИИ, с другой стороны, представляет собой форму ИИ, которая очень похожа на общий интеллект человеческого разума, способна к рассуждениям и формулированию оригинальных мыслей. Пока исследователи лишь изучают универсальный ИИ, это теоретическая эталонная форма технологии, примеры которой пока неизвестны общественности, однако для удобства в обзоре варианты ИИ будут разграничены именно по силе интеллекта [2].

Связь ИИ и кардиологии в настоящее время перерастает во всестороннюю интеграцию. Дискуссии среди медицинских работников об ИИ чаще всего касаются возможных применений в принятии клинических решений. В основном, они относятся к алгоритмам, применяемым при диагностике и лечении заболеваний, которые прогнозируют определенные

Key messages

- Artificial intelligence (AI) in cardiology is gradually becoming a generally accepted tool.
- Machine learning (weak AI) is already used in electro- and echocardiography, sonography, and diagnostic radiology of heart diseases, increasing their accuracy.
- Strong AI based on large language models is capable of revolutionizing continuous medical education by compiling digests for specialists.
- Large language models in cardiology, as they improve, are capable of accelerating filling out and analyzing medical documentation, which will lead to an increase in the speed and quality of health care.
- Despite the futuristic nature of large language models, there are many limitations and problems, such as ethical and professional ones, that prevent the implementation of this technology in practice.

результаты/исходы, используя разнообразные (мультимодальные) источники данных [2, 3].

Целью обзора является установление конкретных вариантов применения специализированного и универсального ИИ в области кардиологии.

Методология исследования

Этап I: Обоснование исследования.

1.1. Выявление и анализ существующих систематических обзоров, касающихся проблемы исследования.

1.2. Определение оснований и характеристик исследуемой проблемы.

Этап II: Составление протокола проверки.

2.1. Разработка соответствующего, четкого исследовательского запроса.

Запрос: "Обзор использования ИИ в различных областях кардиологии".

2.2. Разработка стратегии для выявления первичных исследований.

Поиск упоминаний использования ИИ (специального и универсального) в кардиологических исследованиях и практике, а также организации медицинской помощи.

Источники/ресурсы: PubMed, MEDLINE, Springerlink, MedRxiv, researchgate.net.

Определены условия поиска по запросам "AI in cardiology", "Artificial intelligence in cardiology".

2.3. Определение критериев включения/исключения источников.

Определены даты выхода работ: 1990-2023гг.

Определена принадлежность изданий: без привязки к стране или континенту, журналу, издательству.

Определен язык: английский.

Определен статус публикации: статья, обзор, репринт, книга, серийная монография, глава в монографии, рецензируемые материалы конференций, включенные в международные базы данных, клиническое исследование.

Неопубликованные (необнародованные) работы не учитываются, поскольку данный тип материалов крайне труднодоступен из-за принадлежности их к содержащим коммерческую тайну.

2.4. Разработка схемы извлечения данных.

Извлечение данных происходит в результате прочтения оригинальных статей, монографий, глав монографий, обзоров и препринтов. Извлекаются факты применения ИИ в различных областях кардиологии.

2.5. Разработка стратегии обобщения.

Обобщение производится в соответствии с инструментальным подходом, например, все факты применения ИИ в электрокардиографии (ЭКГ) организуются в один раздел и обсуждаются.

Предполагается, что обзор не включает процедуры метаанализа, поскольку применение ИИ не является распространенной интервенцией в лечебный или диагностический процесс и набрать необходимое и достаточное для составления статистики количество исследований пока не представляется возможным, как и стандартизировать данные вмешательства. Затруднительным в настоящее время видится в т.ч. и контроль/отрицательный контроль результативности исследований с применением ИИ, воспроизводимость подобных исследований также пока под вопросом, поскольку чаще всего код самих моделей является закрытым.

2.6. Рассмотрение полученной информации коллективом.

Этап III: Изучение литературы, источников информации и данных.

3.1. Изучение литературных обзоров/статей/отчетов по клиническим исследованиям.

3.2. Работа с поисковой документацией.

3.3. Отбор подходящих источников, соответствующих установленным параметрам отбора, путем оценки заголовка и краткого содержания, а также полного текстового прочтения.

Результаты

Технологии машинного обучения, специализированный ИИ в кардиологии

Машинное обучение (МО) — это базовая практика использования алгоритмов для прогнозирования путем анализа данных и обучения на их основе. Модели такого рода способны самостоятельно обучаться на основе предыдущего опыта или накопленных данных. Алгоритмы могут извлекать важные задачи из команд оператора, которые необходимо

выполнить, путем обобщения примеров, предоставленных им в качестве обучающих наборов данных. В настоящее время развиты различные типы алгоритмов МО. Они сгруппированы либо по стилю обучения (т.е. обучение с учителем, обучение без учителя и полуконтролируемое обучение), либо по сходству, либо по их функционированию (т.е. классификация, регрессия, дерево решений, кластеризация, глубокое обучение и т.д.). Все алгоритмы МО состоят из трех различных компонентов, а именно [4]:

1. Представление: набор классификаторов в понятной компьютеру форме.

2. Оценка: цель, определенная для модели классификатора (алгоритма) — баллы.

3. Оптимизация: метод поиска классификатора с наибольшим количеством баллов.

Основная цель алгоритмов МО — сделать обобщение за пределами предоставленных им обучающих выборок, что предполагает успешную интерпретацию данных, которые они никогда раньше не обрабатывали. Основное различие между МО и ИИ заключается в том, что МО работает для повышения точности, а ИИ — для увеличения шансов на успех [3].

Основными тремя типами методов МО являются: обучение с учителем, обучение без учителя и полуконтролируемое обучение. Выбор алгоритма и типа обучения может осуществляться с использованием разных подходов, например, в зависимости от решаемой задачи, (или) объема задействованных данных, (или) различных типов доступных данных. МО демонстрирует динамическую роль, которая проявляется в приложениях медицинской диагностики, поскольку предполагает создание алгоритмов самообучения. Прогнозирование сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) включает в себя метод обучения с учителем, поскольку для обучения модели слабого ИИ необходимы размеченные данные, например, кардиограммы [3].

ИИ в ЭКГ

Целью внедрения ИИ в ЭКГ является полная автоматизация анализа снимаемой медицинским персоналом кардиограммы для экономии времени врача функциональной диагностики и средств на оплату труда специалистов [3, 5]. Применение обучения с учителем и без учителя для анализа и интерпретации ЭКГ показало значительные перспективы [6]. Контролируемое МО, такое как искусственные нейронные сети и метод опорных векторов, можно обучить функции классификации с учетом набора размеченных данных. Напротив, неконтролируемое МО может обнаруживать потенциальные корреляции в неразмеченных данных [7]. В дополнение к МО, недавнее появление анализа ЭКГ на основе глубокого обучения может помочь врачам в различных клинических сценариях ССЗ в диагностике, определении прогноза и стратификации риска [8-11]. Вместо созданных вручную векторов, на которые опирают-

ся алгоритмы МО, подход глубокого обучения использует стратегию сквозного обучения, которая программирует систему на изучение необходимых функций из необработанных данных. Преимущество глубоких нейронных сетей заключается в их способности выявлять новые взаимозависимые отношения независимо от извлечения признаков, выбранных человеком, что открывает огромный массив не установленных и не осмысленных ранее данных [12].

ИИ в эхокардиографии

Стандартное распознавание срезов сердца при эхокардиографии (ЭхоКГ) необходимо для оценки структуры сердца. Однако точное определение различных разделов может оказаться сложной задачей для неопытных врачей. Технология ИИ была разработана для улучшения этого процесса за счет использования свёрточных нейронных сетей для классификации изображений сердца. Исследования показывают, что подходы глубокого обучения могут классифицировать ЭхоКГ-изображения и достигать удовлетворительной точности распознавания. Быстрое распознавание срезов с помощью ИИ может сократить время оценки, улучшить возможности обнаружения и повысить точность. Эта технология имеет потенциал для применения в регионах с ограниченными кадровыми ресурсами врачей [13]. Функциональная оценка левого желудочка (ЛЖ) имеет решающее значение в ЭхоКГ-диагностике [14]. Коммерческие пакеты программного обеспечения поддерживают точные измерения и хорошую корреляцию с данными магнитно-резонансной томографии (МРТ) сердца (МРТС). Новые алгоритмы, основанные на ИИ, могут быстро выполнять оценку ЛЖ, например, определять стандартные апикальные проекции и измерять глобальную продольную деформацию [15]. ИИ также может улучшить навыки диагностической визуализации молодых специалистов и служить лучшим предиктором смертности по сравнению с ручными измерениями. Точная сегментация камер сердца важна для клинической диагностики. Программное обеспечение для автоматической сегментации уменьшает ручную работу и субъективность полученных данных. ИИ используется для распознавания стенки эндокарда и точного измерения размера камер сердца [16]. Сегментация ЛЖ обычно используется для измерения фракции выброса (ФВ) и оценки движения миокарда. Ручная сегментация требует много времени, в то время как автоматические методы сталкиваются с проблемами из-за быстрых движений, дыхательных помех и шума/артефактов на ультразвуковых изображениях. Были предложены различные методы для уточнения границы эндокарда и повышения точности сегментации [17].

Сегментация правого желудочка (ПЖ) является более сложной задачей из-за его сложной структуры, более тонких стенок и худшего качества изображения.

Точная оценка функции ПЖ важна для клинического анализа. Для решения этих проблем были разработаны методы автоматической сегментации, такие как использование преобразования разреженной матрицы и ограничений толщины стенок [18]. Также были представлены многокамерные модели для повышения точности сегментации за счет учета взаимодействия камер сердца. В случаях плохого качества изображения точность сегментации ПЖ зависит от ранее полученной информации и корреляции с другими структурами сердца. В целом технология ИИ потенциально может улучшить распознавание срезов, функциональную оценку и сегментацию при ЭхоКГ, что приведет к более быстрой и точной постановке диагноза [19].

Кардиосонография и аускультация, анализ шумов сердца при помощи ИИ

ИИ используется для оптимизации диагностического потенциала ЭхоКГ. Ниже представлено несколько способов использования ИИ в ЭхоКГ [20]: ИИ может ускорить оценку состояния пациентов за счет автоматизации подсчетов деформации эхосигнала, ФВ и других измерений. Этот тип автоматизации может увеличить пропускную способность кабинета ультразвукового исследования. Слепое рандомизированное исследование оценки функции сердца с помощью ЭхоКГ и ИИ показало, что рабочий процесс под руководством ИИ для первоначальной оценки сердечной функции при ЭхоКГ не уступал и даже превосходил первоначальную оценку, проводимую специалистом [21]. Значительно возрос интерес к использованию технологии ИИ для аускультации сердца для выявления ишемической болезни сердца (ИБС). Алгоритмы ИИ добились большого прогресса в обнаружении шумов в сердце [22]. Однако для подтверждения их точности необходимы многочисленные клинические исследования, прежде чем допустимо будет рекомендовать их клиническое использование. Предыдущие исследования подтвердили точность диагнозов, предполагаемых ИИ. Однако размер их выборки был небольшим. В самом крупном исследовании были записаны тоны сердца 1362 пациентов, что, насколько нам известно, является самым большим размером выборки. Авторы сравнили аускультацию с помощью ИИ с аускультацией опытными кардиологами и обнаружили, что аускультация с помощью ИИ правильно идентифицирует изменения тонов сердца с чувствительностью 97% и специфичностью 89%. Аускультация ИИ обладает высокой чувствительностью и специфичностью для обнаружения аномальных тонов сердца, аналогичных уровням, определяемым при аускультации врачом. Это делает аускультацию ИИ потенциально полезным инструментом скрининга ИБС. По сравнению с традиционными алгоритмами, метод использует свёрточные нейронные сети для изучения представления признаков [23].

ИИ-анализ результатов компьютерной томографии и МРТС

Для прогнозирования дебюта, течения и исходов ССЗ очень важна точная диагностика, что, в свою очередь, снижает связанные с ней риски. Наиболее распространенные и жизненно важные диагностические тесты включают МРТ и компьютерную томографию (КТ) [13]. Высококачественные изображения сердца создаются с помощью МРТ и КТ, однако они имеют длительное время получения, ограниченную доступность и предполагают использование излучений.

ИИ в расшифровке МРТС

МРТС является жизненно важным не инвазивным инструментом для оценки заболеваний сердца. Однако это занимает много времени из-за необходимости получения высококачественных изображений и учета движений сердца и дыхания. Такие методы, как параллельное получение изображений и сжатое зондирование, ускорили МРТС за счет сбора меньшего количества данных и использования предварительных знаний. Сейчас ИИ, в частности, глубокое обучение, исследуется для дальнейшего ускорения МРТС.

Прежде чем ИИ сможет широко использоваться, необходимо преодолеть технические проблемы. В работе Bustin A, et al. [24] представлен развернутый обзор последних достижений в области ИИ, ассистирующего при МРТС. В нем обобщаются общепринятые методы, и основное внимание уделяется и глубокому обучению для двух- и трехмерных изображений. В статье также обсуждаются ограничения, проблемы и потенциальные будущие направления этих методов. Особенный интерес для кардиологов представляет МРТ-фенотипирование сердечной недостаточности и ИБС [25].

ИИ при проведении КТ

Применение ИИ при КТ сердца [26, 27], вероятно, сыграет ключевую роль в будущем для уменьшения времени предоставления отчетности [28], предоставления информации о коронарных атеросклеротических бляшках [29], и выявления ишемии миокарда посредством оценки перфузии [30].

ИИ для анализа позитронно-эмиссионной томографии сердца

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) дает абсолютную количественную оценку перфузии миокарда. Результаты обычно обобщаются в топологических представлениях, известных как полярные карты. В настоящее время глубокое обучение повышает производительность классификации за счет итеративного обучения сложных многомерных шаблонов¹.

В настоящее время ПЭТ может помочь в выявлении ССЗ на фоне в т.ч. атеросклероза. ПЭТ-визуа-

лизация с фтордезоксиглюкозой является хорошим инструментальным решением для обнаружения атеросклеротических бляшек, поскольку в патогенетических механизмах участвуют легко регистрируемые метаболически активные макрофаги. Исследования показали, что ПЭТ всего тела при атеросклерозе является многообещающим методом. ИИ может улучшить выявляемость атеросклероза при визуализации с коррекцией затухания. Хотя КТ-сканы с коррекцией затухания обычно создаются для ПЭТ, новые методы ИИ (современные сверточные нейронные сети) могут преобразовывать магнитно-резонансные изображения в КТ-изображения, которые полезны для коррекции затухания для ПЭТ-сканирований¹ [31].

Прочие подходы (тонометрия, измерения скорости пульсовой волны)

Стоит заметить, что специализированный ИИ и МО внедрены в методы диагностики, контроля и предотвращения артериальной гипертензии, а именно, нейронные сети обрабатывают разноплановые данные и формируют интегральную оценку риска развития гипертонической болезни, либо способны предсказать риски неблагоприятного исхода по данным анализа динамики клинических, лабораторных и других показателей [32].

Специализированный ИИ уточняет данные измерений скорости пульсовой волны, делая более доступными исследования этого показателя [33].

ИИ в организации специализированной кардиологической медицинской помощи и в превентивной кардиологии

ИИ способен анализировать поступившие на станцию скорой помощи звонки на предмет голосовых биомаркеров инфаркта миокарда [34].

Также в исследовании клиники Мэйо методы ИИ были применены к новому инструменту скрининга людей с определенным типом ССЗ, не имеющей явных симптомов. В фокусе оказалась дисфункция ЛЖ. Инструмент скрининга с помощью ИИ выявлял людей, подверженных риску этого заболевания, в 93% случаев. Для сравнения: маммография точна лишь в 85% случаев. ИИ, разработанный в клинике Мэйо в сотрудничестве с Северным государственным медицинским университетом (Российская Федерация предоставляла обучающий массив данных по результатам исследования "Узнай своё сердце", полученных совместно с Университетом Трёмсо, Норвегия), был интегрирован в программное обеспечение смарт-часов "Apple Watch", для обнаружения низкой ФВ желудочков [35, 36].

ИИ играет фундаментальную роль в открытии новых терапевтических агентов для кардиологии, точной стратификации ССЗ, интеграции мультимодальных постгеномных данных, повышении эффективности и результативности врачей, непрерывном удаленном мониторинге и диагностике, а также

¹ Liu K, Werner T, Revheim M, Alavi A. Potential of Artificial Intelligence Cardiovascular PET imaging. J Nucl Med. 2022, 63 (supplement 2): 2753.

Таблица 1
Процессы, которые может автоматизировать ИИ
в кардиологических учреждениях [43]

Автоматизируемые процессы	Детализация активностей
Анализ медицинской литературы	Анализ и обобщение последних исследований в области кардиологических методов лечения и терапии. Поддержание кардиологов в курсе последних актуальных исследований
Помощь в постановке диагноза и планировании лечения	Предложение потенциальных диагнозов (дифференциальная диагностика) и вариантов лечения на основе симптомов пациента и истории болезни
Обеспечение индивидуального обучения пациентов	Создание индивидуальных обучающих материалов для пациентов по распространенным заболеваниям, таким как сердечные приступы и сердечная недостаточность
Прогнозирование риска и прогрессирования заболевания по текстовым результатам осмотра	Прогнозирование индивидуального риска развития сердечно-сосудистых заболеваний и прогнозирование прогрессирования этих состояний
Формирование отчетов и документов	Создание отчетов и документов, таких как переписные эпикризы, выписные, переводные эпикризы, направления
Выявление закономерностей в данных электронной истории болезни пациентов	Выявление закономерностей в данных пациентов, таких как показания артериального давления и уровень холестерина, для принятия обоснованных решений о лечении
Обеспечение языкового перевода в режиме реального времени	Обеспечение языкового перевода в режиме реального времени во время консультаций с пациентами-иностранцами. Синхронный перевод при консультировании иностранных коллег в рамках телемедицинских консилиумов
Создание автоматизированных сводок консультаций пациентов	Создание автоматизированных сводок консультаций пациентов для заметок врачей, включая ключевые моменты и следующие шаги
Рекомендация индивидуального образа жизни и схем приема лекарств	Рекомендация индивидуального образа жизни и схем лечения для пациентов на основе их истории болезни и текущего состояния, а также международного опыта назначения вмешательств, связанных с образом жизни

оптимизированном распределении ресурсов в области профилактики ССЗ [37, 38].

Универсальный ИИ, его приложения в кардиологии

Хотя существует множество примеров моделей ИИ, разработанных для медицинского использования, в последние несколько месяцев наблюдается рост осведомленности общественности о больших языковых моделях (БЯМ), таких как генеративные предварительно обученные преобразователи, например, "ChatGPT", который был выпущен в ноябре 2022г [39]. "ChatGPT" был провозглашен революцией [39] в области ИИ. Обученные на большом массиве текстов, размещенных в Интернете, такие ИИ, как БЯМ, похоже, дают ответы высокого уровня. Этот тип ИИ может демонстрировать медицин-

ские знания и генерировать рекомендации [40]. Благодаря расширенным возможностям глубокого обучения и обработки естественного языка, такие как ChatGPT и последующие, более продвинутые версии, такие как генеративный предварительно обученный преобразователь-4, "GPT-4", генерируют разговорные вопросы и ответы, подобные человеческим, и могут быть использованы в опросе для клинического использования [41]. При этом важно, чтобы пользователи, включая врачей и пациентов, знали, как критически оценивать такие БЯМ, понимали нормативную среду и в целом осознавали потенциальные слабые стороны и скрытую от неспециалиста опасность использования [42].

БЯМ в организации кардиологической помощи

В здравоохранении кардиологического профиля имеется множество административных приложений ИИ. Использование ИИ в этой области несколько менее революционно по сравнению с применением в диагностике и уходе, но оно может обеспечить существенную эффективность лечебно-профилактического учреждения (табл. 1). В среднем, медсестра в смену тратит 25% рабочего времени на нормативную и административную деятельность. Технология, которая, скорее всего, будет иметь отношение к этой цели, — это универсальный ИИ и чат-боты. Их можно использовать для различных приложений в здравоохранении, включая обработку претензий, ведения клинической документации, управления экономической деятельностью лечебно-профилактического учреждения и ведения автоматизированной системы медицинских записей, записи на прием [43, 44].

Некоторые организации использовали чат-боты для взаимодействия с пациентами в рамках телемедицины. Эти приложения на основе моделей естественного языка могут быть полезны для простых процедур, таких как обновление рецептов или запись на прием. Однако в ходе опроса 500 американских пользователей пяти наиболее популярных чат-ботов, используемых в здравоохранении, пациенты выразили обеспокоенность по поводу раскрытия конфиденциальной информации, обсуждения сложных состояний здоровья и низкого удобства использования [2, 43, 44].

Внедрение ИИ чат-ботов в практику организации оказания кардиологической помощи

В качестве стратегических инвестиций ИИ может потребовать реконфигурации существующих моделей оказания медицинской помощи или разработки новых моделей предоставления медицинских услуг. Внедрение ИИ может оказаться весьма дорогостоящим, например, из-за потенциальных дополнительных затрат на переподготовку персонала и переоснащение больниц и поликлиник в дополнение к первоначальным затратам на внедрение ИИ в клиническую практику. Поскольку расходы на здравооох-

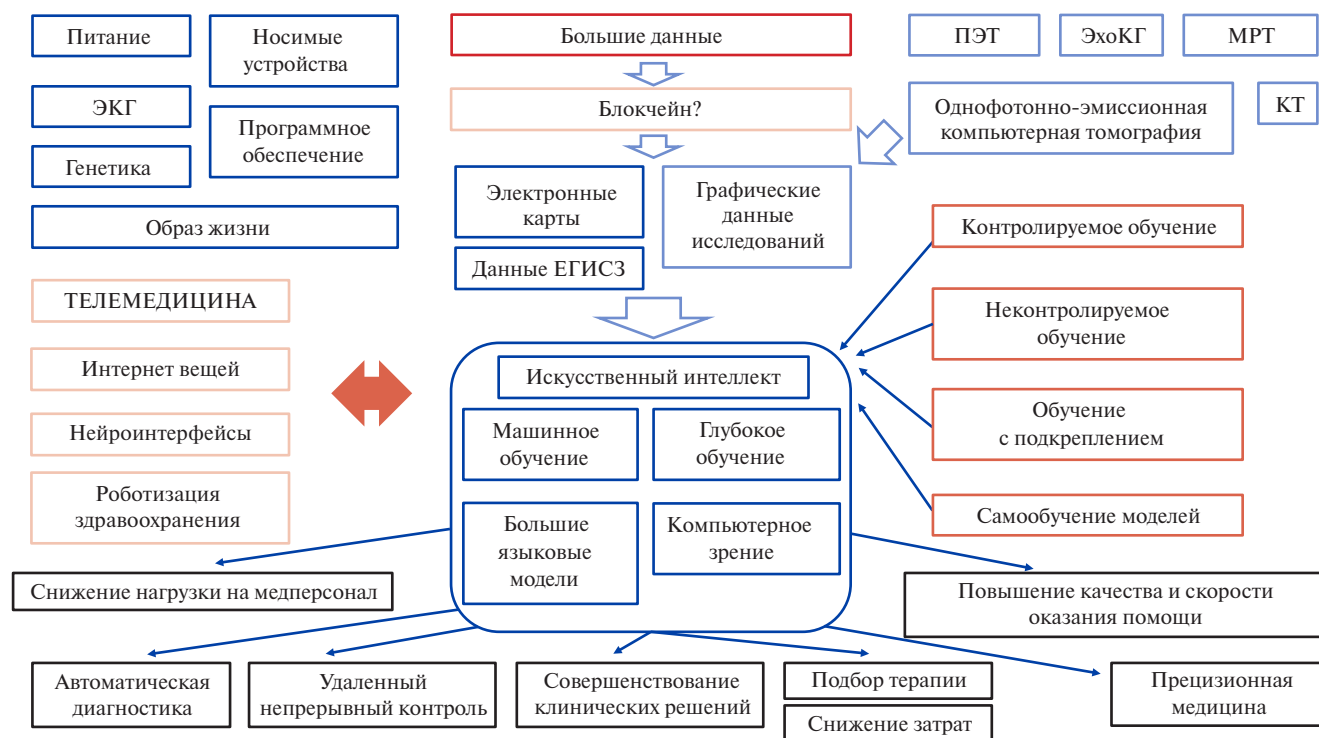


Рис. 1. Модель интеграции ИИ в учреждения здравоохранения, оказывающие кардиологическую помощь.

Сокращения: ЕГИСЗ — единая государственная информационная система в сфере здравоохранения, КТ — компьютерная томография, МРТ — магнитно-резонансная томография, ПЭТ — позитронно-эмиссионная томография, ЭКГ — электрокардиография, ЭхоКГ — эхокардиография.

ранение продолжают поглощать все большую долю национального валового внутреннего продукта, становится все более важным, чтобы новые технологии здравоохранения демонстрировали свою эффективность. То есть в контексте ограниченных ресурсов здравоохранения при оценке ценности дополнительные затраты, связанные с новой технологией, сопоставляются с потенциальными клиническими преимуществами, такими как улучшение качества жизни или увеличение продолжительности жизни. Эти затраты затем сравниваются с социальными пороговыми значениями стоимости медицинской помощи. Однако имеется мало доступных экономических оценок сердечно-сосудистых технологий ИИ [45, 46].

Ускоренное развитие и прогрессирование технологии ИИ могут потребовать новых рамок для оценки полезности такого подхода к усовершенствованию здравоохранения по сравнению с традиционной оценкой технологий, новая модель представлена на рисунке 1.

Заключение

Следует отметить, что специализированный ИИ на базе нейронных сетей уже вошел в обиход кардиологов, специалистов по функциональной и лучевой диагностике по всему миру, все более распространенными становятся алгоритмы, включающие МО, но

все еще слишком редки клинически одобренные методы ИИ-прогноза и диагностики; рандомизированные исследования этих подходов лишь планируются.

При всей инновационности ИИ и алгоритмов использования "сильного" ИИ в клинической практике, а также в организации здравоохранения остается множество ограничений, в т.ч. технического и этического характера, для БЯМ это:

1. Отсутствие точной настройки алгоритмов сбора и форматов записи медицинских данных может привести к получению неточной или нерелевантной клинической информации.

2. БЯМ не могут полностью отразить нюансы и контекстно-зависимую природу человеческого общения, поскольку им не хватает способности передавать тонкости и сложности языка.

3. Хотя БЯМ могут помочь в составлении клинических обзоров или обучении пациентов, они не могут заменить суждения и опыт специалистов в области здравоохранения.

4. Могут возникнуть этические проблемы в отношении использования ИИ в исследованиях, особенно в научных статьях или заявках на получение грантов. Крайне важно, чтобы эксперты в области человеческой деятельности проверяли информацию, генерируемую БЯМ, при помощи специально разработанных для этого алгоритмов.

Несмотря на необходимость учитывать ограничения и риски, связанные с ИИ, мы твердо верим в их потенциал для совершения прорыва в медицинской коммуникации.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- Fjelland R. Why General Artificial Intelligence will not be realized. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2020;7(1). doi:10.1057/s41599-020-0494-4.
- Davenport T, Kalakota R. The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthcare J*. 2019;6(2):94-8. doi:10.7861/futurehosp.6-2-94.
- Seetharam K, Balla S, Bianco C, et al. Applications of machine learning in cardiology. *Cardiology and Therapy*. 2022;11(3):355-68. doi:10.1007/s40119-022-00273-7.
- Cuocolo R, Perillo T, De Rosa E, et al. Current applications of big data and machine learning in cardiology. *J Geriatr Cardiol*. 2019;16(8):601-7. doi:10.11909/j.issn.1671-5411.2019.08.002.
- Siontis KC, Noseworthy PA, Attia ZI, Friedman PA. Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management. *Nat Rev Cardiol*. 2021;18(7):465-78. doi:10.1038/s41569-020-00503-2.
- Mincholé A, Camps J, Lyon A, Rodríguez B. Machine learning in the electrocardiogram. *Journal of electrocardiology*. 2019;57:S61-4. doi:10.1016/j.jelectrocard.2019.08.008.
- Krittawong C, Zhang H, Wang Z, et al. Artificial Intelligence in Precision Cardiovascular Medicine. *J Am Coll Cardiol*. 2017;69(21):2657-64. doi:10.1016/j.jacc.2017.03.571.
- Yao X, Rushlow DR, Inselman JW, et al. Artificial intelligence-enabled electrocardiograms for identification of patients with low ejection fraction: a pragmatic, randomized clinical trial. *Nat Med*. 2021;27(5):815-9. doi:10.1038/s41591-021-01335-4.
- Tse G, Lee S, Zhou J, et al. Territory-Wide Chinese Cohort of Long QT Syndrome: Random Survival Forest and Cox Analyses. *Front Cardiovasc Med*. 2021;8:608592. doi:10.3389/fcvm.2021.608592.
- Chung CT, Bazoukis G, Lee S, et al. Machine learning techniques for arrhythmic risk stratification: a review of the literature. *Int J Arrhythmia*. 2022;23:10. doi:10.1186/s42444-022-00062-2.
- Lee S, Zhou J, Jeevaratnam K, et al. Paediatric/young versus adult patients with long QT syndrome. *Open Heart*. 2021;8(2):e001671. doi:10.1136/openhrt-2021-001671.
- Kwon JM, Jo YY, Lee SY, Kim KH. Artificial intelligence using electrocardiography: strengths and pitfalls. *Eur Heart J*. 2021;42(30):2896-8. doi:10.1093/eurheartj/ehab090.
- Swathy M, Saruladha K. A comparative study of classification and prediction of Cardiovascular Diseases (CVD) using Machine Learning and Deep Learning techniques. *ICT Express*. 2022;8(1):109-16. doi:10.1016/j.icte.2021.08.021.
- Salte IM, Østvik A, Smistad E, et al. Artificial Intelligence for Automatic Measurement of Left Ventricular Strain in Echocardiography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2021;14(10):1918-28. doi:10.1016/j.jcmg.2021.04.018.
- Mamalakos M, Garg P, Nelson T, et al. Artificial Intelligence framework with traditional computer vision and deep learning approaches for optimal automatic segmentation of left ventricle with scar. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2023;102610. doi:10.1016/j.artmed.2023.102610.
- Sun ZY, Li Q, Li J, et al. Echocardiographic evaluation of the right atrial size and function: Relevance for clinical practice. *American Heart Journal Plus: Cardiology Research and Practice*. 2023;100274. doi:10.1016/j.ahjplus.2023.100274.
- Sveric KM, Ulbrich S, Dindane Z, et al. Improved assessment of left ventricular ejection fraction using artificial intelligence in echocardiography: A comparative analysis with cardiac magnetic resonance imaging. *Int J Cardiol*. 2023. doi:10.1016/j.ijcard.2023.131383.
- Wang S, Chauhan D, Patel H, et al. Assessment of right ventricular size and function from cardiovascular magnetic resonance images using artificial intelligence. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2022;24(1):27. doi:10.1186/s12968-022-00861-5.
- Chen C, Qin C, Qiu H, et al. Deep Learning for Cardiac Image Segmentation: A Review. *Front Cardiovasc Med*. 2020;7:25. doi:10.3389/fcvm.2020.00025.
- Jani V, Danford DA, Thompson WR, et al. The discerning ear: cardiac auscultation in the era of artificial intelligence and telemedicine. *Eur Heart J Digit Health*. 2021;2(3):456-66. doi:10.1093/ehjdh/ztab059.
- Kang S, Doroshov R, McConaughy J, Shekhar R. Automated Identification of Innocent Still's Murmur in Children. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2017;64(6):1326-34. doi:10.1109/tbme.2016.2603787.
- Grgic-Mustafic R, Baik-Schneditz N, Schwaberg B, et al. Novel algorithm to screen for heart murmurs using computer-aided auscultation in neonates: a prospective single center pilot observational study. *Minerva Pediatr*. 2019;71(3):221-8. doi:10.23736/s0026-4946.18.04974-5.
- Lv J, Dong B, Lei H, et al. Artificial intelligence-assisted auscultation in detecting congenital heart disease. *Eur Heart J Digit Health*. 2021;2(1):119-24. doi:10.1093/ehjdh/ztad017.
- Bustin A, Fuin N, Botnar RM, Prieto C. From Compressed-Sensing to Artificial Intelligence-Based Cardiac MRI Reconstruction. *Front Cardiovasc Med*. 2020;7:17. doi:10.3389/fcvm.2020.00017.
- Pan J, Ng SM, Neubauer S, Rider OJ. Phenotyping heart failure by cardiac magnetic resonance imaging of cardiac macro- and microscopic structure: state of the art review. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2023;24(10):1302-17. doi:10.1093/ehjci/jead124.
- van Assen M, Muscogiuri G, Caruso D, et al. Artificial intelligence in cardiac radiology. *Radiol Med*. 2020;125(11):1186-99. doi:10.1007/s11547-020-01277-w.
- Monti CB, Codari M, van Assen M, et al. Machine Learning and Deep Neural Networks Applications in Computed Tomography for Coronary Artery Disease and Myocardial Perfusion. *J Thorac Imaging*. 2020;35 Suppl 1:S58-S65. doi:10.1097/rti.0000000000000490.
- Fischer AM, Eid M, De Cecco CN, et al. Accuracy of an Artificial Intelligence Deep Learning Algorithm Implementing a Recurrent Neural Network With Long Short-term Memory for the Automated Detection of Calcified Plaques From Coronary Computed Tomography Angiography. *J Thorac Imaging*. 2020;35 Suppl 1:S49-S57. doi:10.1097/rti.0000000000000491.
- Cau R, Flanders A, Mannelli L, et al. Artificial intelligence in computed tomography plaque characterization: A review. *Eur J Radiol*. 2021;140:109767. doi:10.1016/j.ejrad.2021.109767.
- Muscogiuri G, Chiesa M, Baggiano A, et al. Diagnostic performance of deep learning algorithm for analysis of computed tomography myocardial perfusion. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2022;49(9):3119-28. doi:10.1007/s00259-022-05732-w.
- Popescu C, Laudicella R, Baldari S, et al. PET-based artificial intelligence applications in cardiac nuclear medicine. *Swiss Med Wkly*. 2022;152:w30123. doi:10.4414/smw.2022.w30123.
- Visco V, Izzo C, Mancusi C, et al. Artificial Intelligence in Hypertension Management: An Ace up Your Sleeve. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2023;10(2):74. doi:10.3390/jcdd10020074.
- Vargas JM, Bahloul MA, Laleg-Kirati TM. A learning-based image processing approach for pulse wave velocity estimation using spectrogram from peripheral pulse wave signals: An in silico study. *Front Physiol*. 2023;14:1100570. doi:10.3389/fphys.2023.1100570.
- Blomberg SN, Folke F, Ersbøll AK, et al. Machine learning as a supportive tool to recognize cardiac arrest in emergency calls. *Resuscitation*. 2019;138:322-9. doi:10.1016/j.resuscitation.2019.01.015.
- Attia ZI, Harmon DM, Dugan J, et al. Prospective evaluation of smartwatch-enabled detection of left ventricular dysfunction. *Nat Med*. 2022;28(12):2497-503. doi:10.1038/s41591-022-02053-1.
- Noseworthy PA, Attia ZI, Behnken EM, et al. Artificial intelligence-guided screening for atrial fibrillation using electrocardiogram during sinus rhythm: a prospective non-randomised interventional trial. *Lancet*. 2022;400(10359):1206-12. doi:10.1016/S0140-6736(22)01637-3.
- Ciccarelli M, Giallauria F, Carrizzo A, et al. Artificial intelligence in cardiovascular prevention: new ways will open new doors. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*. 2023;24(Suppl 2):e106-e115. doi:10.2459/JCM.0000000000001431.
- Ledziński Ł, Grześk G. Artificial Intelligence Technologies in Cardiology. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2023;10(5):202. doi:10.3390/jcdd10050202.
- Sarraj A, Ouyang D, Itchhaporia D. The Opportunities and Challenges of Large Language Models in Cardiology. *JACC: Advances*. 2023;2(7):100438. doi:10.1016/j.jacadv.2023.100438.
- Sarraj A, Bruemmer D, Van Iterson E, et al. Appropriateness of cardiovascular disease prevention recommendations obtained from a popular online chat-based artificial intelligence model. *JAMA*. 2023;329:842-4. doi:10.1001/jama.2023.1044.
- Lee P, Bubeck S, Petro J. Benefits, limits, and risks of GPT-4 as an AI chatbot for medicine. *N Engl J Med*. 2023;388:1233-9. doi:10.1056/NEJMs2214184.
- Wu E, Wu K, Daneshjou R, et al. How medical AI devices are evaluated: limitations and recommendations from an analysis of FDA approvals. *Nat Med*. 2021;27:582-4. doi:10.1038/s41591-021-01312-x.
- Skalidis I, Cagnina A, Fournier S. Use of large language models for evidence-based cardiovascular medicine. *Eur Heart J Digit Health*. 2023;4(5):368-9. doi:10.1093/ehjdh/ztad041.
- Klang E, Cohen-Shelly M, Lopez-Jimenez F. Leveraging Large Language Models to Enhance Digital Health in Cardiology: A Preview of a Cutting-Edge Language Generation Model. *Mayo Clin Proc: Digital Health*. 2023;1(2):105-8. doi:10.1016/j.mcpg.2023.03.003.
- Smith M, Sattler A, Hong G, Lin S. From code to bedside: implementing artificial intelligence using quality improvement methods. *Journal of General Internal Medicine*. 2021;36(4):1061-6. doi:10.1007/s11606-020-06394-w.
- Petersson L, Larsson I, Nygren JM, et al. Challenges to implementing artificial intelligence in healthcare: a qualitative interview study with healthcare leaders in Sweden. *BMC Health Services Research*. 2022;22(1):850.