

КАРДИОЛОГИЯ / CARDIOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.99>

УСПЕХИ ТЕХНОЛОГИЙ БОЛЬШИХ ДАННЫХ (BIG DATA) В ПРОФИЛАКТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ НАРУШЕНИЙ РИТМА СЕРДЦА. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Научная статья

Кашапов Л.Р.¹, Абдрахманова А.И.², Ослопова Ю.В.^{3,*}

^{1,2,3} Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kerkifurto[at]gufum.com)

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные вопросы внедрения технологий больших данных (big data) в практику врачей-кардиологов. Автор отмечает, что большие данные могут быть использованы для лечения и профилактики аритмий путем анализа больших объемов данных о сердечной деятельности пациентов. Алгоритмы машинного обучения могут быть применены для выявления паттернов и предсказания возможных случаев нарушения ритма сердца на основе данных ЭКГ, мониторинга сердечного ритма и других параметров. Большие данные позволяют персонализировать лечение аритмии, учитывая индивидуальные характеристики пациента, его медицинскую историю, генетическую информацию и др., что позволяет разрабатывать более эффективные и точные методы лечения и профилактики нарушений сердечного ритма, а также предотвращать возможные осложнения. В исследовании обсуждается широкий спектр цифровых медицинских инструментов для лечения и профилактики аритмий. Интеграция машинного обучения, искусственного интеллекта и продвинутой аналитики предоставляет многочисленные возможности для преобразования больших данных в действенные методы для поддержки принятия решений.

Ключевые слова: нарушение ритма сердца, аритмия, большие данные, big data, лечение аритмии, профилактика аритмии.

SUCCESSSES OF BIG DATA TECHNOLOGIES IN THE PREVENTION AND TREATMENT OF HEART RHYTHM DISORDERS. CURRENT PROBLEMS AND WAYS TO SOLVE THEM

Research article

Kashapov L.R.¹, Abdrakhmanova A.I.², Oslopova Y.V.^{3,*}

^{1,2,3} Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation

* Corresponding author (kerkifurto[at]gufum.com)

Abstract

The article examines topical issues of implementation of big data technologies (big data) in the practice of cardiologists. The author notes that big data can be used to treat and prevent arrhythmias by analysing large amounts of data on cardiac activity of patients. Machine learning algorithms can be applied to identify patterns and predict possible cases of heart rhythm disturbances based on ECG data, heart rhythm monitoring and other parameters. Big data enables personalization of arrhythmia treatment, taking into account individual patient characteristics, medical history, genetic information, etc., which allows developing more effective and accurate methods of treatment and prevention of heart rhythm violations, as well as preventing possible complications. The study discusses a wide range of digital medical tools for the treatment and prevention of arrhythmias. The integration of machine learning, artificial intelligence and advanced analytics provides numerous opportunities to transform big data into actionable methods for decision-making support.

Keywords: cardiac rhythm disorder, arrhythmia, big data, arrhythmia treatment, arrhythmia prevention.

Введение

Система здравоохранения сталкивается с цифровой трансформацией в связи с расширением использования медицинских информационных систем здравоохранения, электронных медицинских карт, носимых, карманных и интеллектуальных устройств. В результате этих цифровых преобразований создается большая часть данных (big data). Стремительный рост объема больших медицинских данных и развитие вычислений в области кардиологии в последнее время позволяют исследователям и практикам извлекать и визуализировать новые идеи из больших данных здравоохранения. В здравоохранении доступно несколько источников больших данных, таких как биометрические данные, регистрационные данные, электронная медицинская карта, данные Интернета, изображения, отчеты пациентов, данные биомаркеров, клинические данные и административные данные [4].

"Big data" в медицине отличаются от больших данных в других сферах своими отличительными особенностями. Большие медицинские данные в основном сложны в использовании, и большинство экспертов в сфере здравоохранения не решаются использовать науку об открытых данных по таким причинам, как отсутствие стимулов для обмена данными и риск незаконного использования персональных данных [1]. Большие медицинские данные находят несколько применений в здравоохранении, таких как общественное здравоохранение, надзор за заболеваниями и безопасностью, прогностическое моделирование и поддержка клинических решений, а также во многих других областях исследований.

Роль обработки данных и информации в здравоохранении всегда была важной для принятия решений и их предоставления. Большие медицинские данные создаются в результате коммуникации и оцифровки. Интеграция

машинного обучения, искусственного интеллекта и продвинутой аналитики предоставляет многочисленные возможности для преобразования таких данных в действенные методы для поддержки принятия решений. В конечном итоге это может обеспечить высокое качество медицинской помощи пациентам и оперативное реагирование на ситуацию в режиме реального времени [6].

Современные исследования использования технологий "Big data" в кардиологии сосредоточены на прогнозировании нарушений ритма сердца при различных заболеваниях, включая гипертрофическую кардиомиопатию, аритмогенную кардиомиопатию, сердечную недостаточность, врожденные пороки сердца, патологии сердечных ионных каналов, в дополнение к риску аритмий среди населения в целом. Обычные оценки риска являются наиболее широко используемыми инструментами для целей стратификации риска в клинической практике. Однако эти оценки риска имеют ряд ограничений, включая различия между группами проверки, включение ограниченного числа предикторов при опущении некоторых переменных, которые могут быть важны. В результате необходимы клинические оценки, которые могут точно прогнозировать основные исходы и, следовательно, могут помочь в персонализированном клиническом ведении [11].

"Big data" позволяет интегрировать и интерпретировать данные из разных областей в условиях, когда обычные статистические методы могут оказаться неэффективными. В последнее время роль больших данных изучалась в различных аспектах медицины, включая электронные медицинские карты, диагностику, стратификацию риска, своевременное выявление аномалий сердечного ритма в отделении интенсивной терапии, в прогнозировании и руководстве по персонализированному ведению. Однако применение результатов исследования больших данных было ограничено из-за отсутствия нормативной базы для его внедрения и незнания клиницистами методов его использования [8].

Цель исследования – определить успехи технологий больших данных (big data) в профилактике и лечении нарушений ритма сердца.

Методы и принципы исследования

Для достижения поставленной цели был выполнен анализ современных научных отечественных и зарубежных авторов. Базой поиска послужили такие ресурсы, как E-library, PubMed, Google Scholar. Ключевыми фразами для поиска исследований явились: "Big Data", «лечение и профилактика аритмии», «искусственный интеллект в кардиологии», «большие объемы данных в здравоохранении».

Основные результаты

Несмотря на научные достижения и технологический прогресс, особенно в отношении лечения и профилактики нарушений ритма сердца, сердечно-сосудистые заболевания по-прежнему являются чрезвычайно тяжелым бременем, что указывает на необходимость реализации эффективной политики общественного здравоохранения на глобальном и местном уровнях [12]. В таблице 1 представлены типы больших данных и пример использования в кардиологической практике.

Таблица 1 - Типы больших данных и потенциальное использование для лечения и профилактики нарушений ритма сердца

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.99.1>

Типы больших данных	Примеры потенциальных использований/приложений
Эпидемиологические /клинические большие данные	Эпидемиологическая оценка (заболеваемость, распространенность, сопутствующие заболевания и смертность)
	Эпидемиологическое предсказание/прогнозирование для оптимизации выделения финансирования и ресурсов
	Экономическая оценка (оценка затрат)
	Оценка и сравнение различных методов лечения и управления кардиологическими заболеваниями
	Идентификация диагностических и прогностических маркеров
	Оценка и анализ среднесрочных и долгосрочных клинических результатов
Молекулярные большие данные	Профилирование и стратификация пациентов
	Персонализированная кардиология
	Характеристика эффектов и действий лекарств на клеточном и молекулярном уровнях
	Идентификация потенциальных целей для

	лекарств
Большие данные, генерируемые информационно-коммуникационными технологиями	Сбор результатов, сообщаемых пациентами
Вычислительные/цифровые большие данные	Настройка и персонализация предоставления медицинской помощи
	Оценка здоровья пациента и его грамотность в вопросах здоровья
	Обучение пациентов и повышение их самостоятельности

Технологии "big data" могут быть получены в результате крупномасштабных, часто общенациональных обследований. Эти данные могут служить основой для государственной и глобальной политики здравоохранения, а также доказательной медицины.

Важным примером реальных данных является TriNetX, крупнейшая глобальная исследовательская сеть, предоставляющая фактические данные из реального мира. В нем содержатся десятки миллиардов клинических фактов диагностики, лабораторных результатов, полученного лечения, выполненных процедур более чем у 250 миллионов пациентов по всему миру, включая лиц, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. В частности, что касается аритмий, эта сеть использовалась, чтобы пролить свет на профиль безопасности и исходы антиаритмических препаратов, эффективность протоколов реабилитации пациентов и т.д. [11].

Attia Z.I., Kara S. отмечают, что в настоящее время существует множество источников, генерирующих большие эпидемиологические данные, такие как обследования, данные медицинского страхования, данные регистрации актов гражданского состояния, когортные данные, стационарные и амбулаторные данные. Эти данные могут быть собраны ретроспективно или проспективно: перспективные клинические реестры можно определить как большие наборы данных наблюдений, которые были собраны проспективно, систематически и структурированным образом, чтобы отразить реальную клиническую практику и результаты данной процедуры (лечения или хирургического вмешательства) в больших группах пациентов, включая конкретные клинические/демографические (подгруппы) популяции [8].

В отечественном исследовании Гусева А.В., Гаврилова Д.В. описывается возможности использования "Big data" для различных целей, включая проведение эпидемиологической оценки аритмий (с точки зрения заболеваемости, преваляирования и смертности), исследование детерминант аритмий и сопутствующих заболеваний, выявление диагностических и прогностических маркеров и сигнатур, разработку инструментов оценки риска для лучшей стратификации пациентов с аритмией [1].

Калькуляторы рисков являются фундаментальными компонентами так называемой «персонализированной кардиологии», поскольку они позволяют стратифицировать когорты пациентов и предоставлять пациентам лечение, в котором они нуждаются больше всего. Примеры точного и персонализированного лечения включают индивидуальную оценку факторов риска различных сердечно-сосудистых заболеваний, таких как фибрилляция предсердий, хроническая ишемия миокарда, сердечная недостаточность и гипертония, с учетом индивидуальных биологических особенностей (генетических) и семейного анамнеза сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, фармакологические положения, например использование антикоагулянтов, могут быть адаптированы таким образом, чтобы свести к минимуму возникновение потенциальных побочных эффектов. Однако опубликовано мало сравнений различных показателей риска, что остается открытой областью для дальнейших исследований [6].

Ожидается, что искусственный интеллект сможет в полной мере использовать базы данных, основанные на больших данных, потенциально преодолевая проблему «классических» и «традиционных» статистических методов, включая анализ показателей склонности и многомерное регрессионное моделирование. Bhattacharya M, Lu D. Y, Kudchadkar S. M описали CardioNet, созданную вручную, стандартизированную и валидированную всеобъемлющую базу данных, связанную с сердечно-сосудистыми заболеваниями, основанную на клинической информации (структурированной или неструктурированной), собранной у 748 474 пациентов, которая может быть использована для анализа с помощью искусственного интеллекта и предоставлять информацию об уходе за пациентами с нарушением ритма сердца [9].

Технологии "big data" могут прояснить механизмы, лежащие в основе этиопатогенеза аритмий, а также определить новые потенциальные лекарственные мишени для разработки специальных фармакологических методов лечения нарушений ритма сердца. Персонализированная кардиология может извлечь выгоду из общегеномных ассоциаций и постгеномных исследований, направленных на идентификацию новых кардиогенных факторов транскрипции, генотипическую и фенотипическую валидацию потенциальных регуляторов транскрипции и молекулярных / клеточных механизмов. Так, например, CardioGenBase – это основанный на литературе комплексный онлайн-ресурс, который обширно собирает ассоциации генов и заболеваний (более 1500) для основных сердечно-сосудистых заболеваний, включая аритмии [10].

Последние технологические достижения в области мобильного здравоохранения (mHealth) и повсеместного здравоохранения (UHealth) с появлением смартфонов, интеллектуальных устройств, умных часов и других носимых датчиков революционизируют область кардиологии, напрямую вовлекая пациентов, улучшая их приверженность лечению, а также позволяя осуществлять дистанционный мониторинг состояния пациента [8]. Носимые датчики различных типов (биоэлектрические, механоэлектрические, оптоэлектронные и ультразвуковые носимые устройства)

позволяют непрерывно собирать жизненно важные показатели сердечно-сосудистой системы (такие как кровяное давление, частота сердечных сокращений и ритмичность сердечных сокращений, насыщение крови кислородом и уровень глюкозы в крови, а также мозговые волны, качество воздуха, воздействие радиации и другие показатели), что позволяет осуществлять ранние медицинские вмешательства [15].

Dey D., Slomka P. J, Leeson P. провели систематический обзор и метаанализ для количественной оценки точности использования носимых устройств для скрининга, выявления и правильной диагностики фибрилляции предсердий. Авторы смогли вычислить отличные площади под кривыми суммарной рабочей характеристики приемника (SROC) на уровне 0,96 и 0,94 для смартфонов и умных часов соответственно. Чувствительность и специфичность были в диапазоне 94-96 и 93-94% для двух видов интеллектуальных носимых устройств соответственно: они оказались такими же диагностически точными и надежными, как как фотоплетизмография и электрокардиография с одним отведением [12].

Лечение и особенно прогнозирование опасных для жизни аритмий имеют первостепенное значение в клинической кардиологии. Bhanpali S. P. описал модель прогнозирования аритмии за час до ее возникновения с использованием искусственной нейронной сети была сгенерирована с использованием 14 параметров, полученных в результате анализа вариабельности сердечного ритма и частоты дыхания. В этих условиях модель показала лучшую производительность при использовании временного ряда с интервалом в 800 ударов сердца за 108 сек. До возникновения аритмии. Эти результаты могут быть использованы, главным образом, для профилактики остановки сердца, выявления пациентов высокого риска до возникновения опасных для жизни аритмий [10]. В другом исследовании Suocolo R. был предложен алгоритм CNN для прогнозирования наступления остановки сердца с использованием данных о вариабельности сердечного ритма. Авторы обнаружили, что предлагаемый алгоритм показал наивысшую точность прогнозирования [11].

Еще одной областью внедрения технологий больших данных является стационарный мониторинг. Своевременное и точное распознавание ритмов, поддающихся шоку, и ритмов, не поддающихся шоку, с помощью внешних детекторов имеет большое клиническое значение. Недавно для анализа электрокардиографических сигналов Anoushiravani A. A., et al. использовали банк фильтров эмпирического вейвлет-преобразования с фиксированным частотным диапазоном и CNN. Результаты показали отличные показатели точности при классификации ударных ритмов по сравнению с неударными, VF по сравнению с неударными и VT по сравнению с VF. Архитектура глубокого обучения, основанная на одномерных слоях CNN и сети LSTM, оказалась своевременной и точной для обнаружения VF в автоматизированных внешних дефибрилляторах [7].

За исключением опасных для жизни аритмий алгоритмы "big data" могут использоваться для лечения фибрилляции предсердий. В исследовании Рязановой С. В., Мазаева В. П. и Комкова А. А. описывается использование электрокардиографии с поддержкой искусственного интеллекта для прогнозирования возникновения фибрилляции предсердий. В области инвазивного лечения фибрилляции предсердий классификация ЭКГ в 12 отведениях на основе машинного обеспечения была предложена в качестве полезного инструмента для руководства процедурами абляции фибрилляции предсердий и, в частности, для определения пациентов, подходящих только для изоляции легочной вены, по сравнению с теми, кто нуждается в дополнительной абляции для изоляции легочной вены. Более того, было обнаружено, что комплексный классификатор, использующий клинические характеристики и характеристики вариабельности сердечного ритма, предсказывает результаты катетерной абляции при фибрилляции предсердий. В результате алгоритмы больших данных могут играть определенную роль в профилактике и ведении пациентов из группы риска или с документально подтвержденной фибрилляцией предсердий соответственно [3].

Проведенный анализ литературных источников позволил определить основные проблемы и недостатки в использовании технологий "big data" в лечении и профилактике аритмий:

1. Эпидемиологические/клинические большие данные: различия между исследованиями на основе реестров и индивидуальными (одно- или многоцентровыми) исследованиями; различия между исследованиями на основе баз данных; проблемы конфиденциальности и биоэтики;

2. Молекулярные большие данные: противоречивые результаты между исследованиями, «ложное обнаружение» маркеров;

3. Большие данные, генерируемые информационными и коммуникационными технологиями: проблемы конфиденциальности и биоэтики из-за всеобъемлющего и повсеместного характера устройств;

4. Вычислительные/цифровые большие данные: недостаток прозрачности в отношении алгоритма.

На большие клинические данные могут влиять несоответствия в зависимости от типа исследования и его структуры (на основе реестра против индивидуальных – одноцентровых или многоцентровых – исследований). Кроме того, исследования на основе баз данных могут привести к противоположным выводам, основанным на причине и объеме сбора данных. Оптимизация баз данных и обеспечение взаимодействия могли бы решить эти проблемы. Более того, наборы данных также могут быть публично загружены и переданы другим ученым и исследователям, что позволяет копировать результаты [4]. Однако существуют некоторые проблемы конфиденциальности и биоэтики. Деидентификация или анонимизация данных, псевдонимизация или маскировка могут обеспечить повторное использование потенциально конфиденциальных, личных и ограниченных законом данных, сохраняя масштабируемость и производительность, даже если этот метод может быть сложным и нетривиальным для реализации [12].

Большие данные требуют обширной обработки данных, которая может быть довольно дорогостоящей, отнимающей много времени и ресурсов. Более того, результаты различных исследований приходится согласовывать в зависимости от типа исследования тканей / клеток, применяемой молекулярной техники и т. д. Это может привести к «ложному открытию» биомаркеров. На большие данные, генерируемые информационно-коммуникационными

технологиями, могут влиять вопросы конфиденциальности и биоэтики из-за повсеместного распространения устройств.

Заключение

Технологии "big data" играют все более важную роль, будучи чрезвычайно распространенными в современном обществе, пронизывая его и прокладывая путь к новым, беспрецедентным перспективам в биомедицине, включая кардиологию. Большие данные могут стать реальной сменой парадигмы, которая революционизирует кардиологическую практику и клинические исследования. Анализ научных работ отечественных и зарубежных исследователей позволил установить, что большие данные могут быть использованы для лечения и профилактики аритмий путем анализа больших объемов данных о сердечной деятельности пациентов. Алгоритмы машинного обучения могут быть применены для выявления паттернов и предсказания возможных случаев нарушения ритма сердца на основе данных ЭКГ, мониторинга сердечного ритма и других параметров. Большие данные позволяют персонализировать лечение аритмии, учитывая индивидуальные характеристики пациента, его медицинскую историю, генетическую информацию и др., что позволяет разрабатывать более эффективные и точные методы лечения и профилактики нарушений сердечного ритма, а также предотвращать возможные осложнения. Однако следует должным образом решить некоторые методологические вопросы и учесть некоторые этические аспекты. Поэтому настоятельно необходимы дальнейшие исследования в этой области.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.99.2>

Review

International Research Journal Reviewers Community
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.99.2>

Список литературы / References

1. Гусев А. В. Перспективы использования методов машинного обучения для предсказания сердечно-сосудистых заболеваний / А. В. Гусев, Д. В. Гаврилов, И. Н. Корсаков [и др.] // *Врач и информационные технологии*. — 2019. — № 3. — С. 41-56.
2. Иванова А. А. Применение bigdata в сфере здравоохранения: российский и зарубежный опыт / А. А. Иванова // *Научные записки молодых исследователей*. — 2020. — № 8(5). — С. 42–53.
3. Рязанова С. В. Новые тенденции становления искусственного интеллекта в медицине / С. В. Рязанова, В. П. Мазаев, А. А. Комков // *CardioСоматика*. — 2021. — № 12(4). — С. 227–233.
4. Тарасова К. А. Возможности использования искусственного интеллекта в кардиологии / К. А. Тарасова // *Российский кардиологический журнал*. — 2022. — № 27 (7). — С. 47.
5. Тулепбергенов Г. К. Актуальность оптимизации организации аритмологической помощи пациентам с фибрилляцией предсердий / Г. К. Тулепбергенов, Д. А. Оспанова, А. Л. Пууджюкинас [и др.] // *Наука о жизни и здоровье*. — 2020. — №2. — С. 136–145.
6. Швец Д. А. Сравнительный обзор использования методов машинного обучения для прогнозирования сердечно-сосудистого риска / Д. А. Швец, С. В. Поветкин // *Вестник новых медицинских технологий*. — 2020. — №2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-obzor-ispolzovaniya-metodov-mashinnogo-obucheniya-dlya-prognozirovaniya-serdechno-sosudistogo-riska> (дата обращения: 06.08. 2024).
7. Anoushiravani A. A. Big data, big research: implementing population health-based research models and integrating care to reduce cost and improve outcomes / A. A. Anoushiravani, J. Patton, Z. Sayeed [et al.] // *Orthop Clin North Am*. — 2016. — No. 47. — P. 717–724.
8. Attia Z. I. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram / Z. I. Attia, S. Kapa, F. Lopez-Jimenez [et al.] // *Nat Med*. — 2019. — No. 25. — P. 70–74.
9. Bhattacharya M. Identifying ventricular arrhythmias and their predictors by applying machine learning methods to electronic health records in patients with hypertrophic cardiomyopathy (HCM-VAr-Risk Model) / M. Bhattacharya, D. Y. Lu, S. M. Kudchadkar [et al.] // *Am J Cardiol*. — 2019. — No. 123. — P. 1681-1689.
10. Bhavnani S. P. Roadmap for Innovation-ACC health policy statement on healthcare transformation in the era of digital health, big data, and precision health: a report of the american college of cardiology task force on health policy statements and systems of care / S. P. Bhavnani, K. Parakh, A. Atreja [et al.] // *J Am Coll Cardiol*. — 2017. — No. 70. — P. 2696-2718.
11. Cuocolo R. Current applications of big data and machine learning in cardiology / R. Cuocolo, T. Perillo, E. D. Rosa [et al.] // *J GeriatrCardiol*. — 2019. — No. 16(8). — С. 601-607.
12. Dey D. Artificial intelligence in cardiovascular imaging: JACC state-of-the-art review / D. Dey, P. J. Slomka, P. Leeson [et al.] // *J Am Coll Cardiol*. — 2019. — No. 23. — P. 1317-1335.
13. Fröhlich H. From hype to reality: data science enabling personalized medicine / H. Fröhlich, R. Balling, N. Beerenwinkel [et al.] // *BMC Med*. — 2018. — No. 16. — P. 150-150.
14. Lanzer J. D. Big data approaches in heart failure research / J. D. Lanzer, F. Leuschner, R. Kramann [et al.] // *Curr Heart Fail Rep*. — 2020. — No. 17. — P. 213-224.

15. Manrai A. K. In the era of precision medicine and big data, Who is normal? / A. K. Manrai, C. J. Patel, J. P. A. Ioannidis // JAMA. — 2018. — No. 319. — P. 1981-1982.
16. Xiao H. Big data, extracting insights, comprehension, and analytics in cardiology: an overview / H. Xiao, S. Ali, Z. Zhang [et al.] // J Healthc Eng. — 2021. — No. 12 (6). — P. 1231-1240.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gusev A. V. Perspektivy ispol'zovaniya metodov mashinnogo obucheniya dlja predskazaniya serdechno-sosudistyh zabolevanij [Prospects for using machine learning methods to predict cardiovascular diseases] / A. V. Gusev, D. V. Gavrillov, I. N. Korsakov [et al.] // Vrach i informacionnye tehnologii [Doctor and information technology]. — 2019. — No. 3. — P. 41-56. [in Russian]
2. Ivanova A. A. Primenenie bigdata v sfere zdavoohraneniya: rossijskij i zarubezhnyj opyt [Application of bigdata in healthcare: Russian and foreign experience] / A. A. Ivanova // Nauchnye zapiski molodyh issledovatelej [Scientific notes of young researchers]. — 2020. — No. 8 (5). — P. 42-53. [in Russian]
3. Ryazanova S. V. Novye tendencii stanovleniya iskusstvennogo intellekta v medicine [New trends in the development of artificial intelligence in medicine] / S. V. Ryazanova, V. P. Mazaev, A. A. Komkov // CardioSomatika [CardioSomatics]. — 2021. — No. 12 (4). — P. 227-233. [in Russian]
4. Tarasova K. A. Vozmozhnosti ispol'zovaniya iskusstvennogo intellekta v kardiologii [Possibilities of using artificial intelligence in cardiology] / K. A. Tarasova // Rossijskij kardiologicheskij zhurnal [Russian Journal of Cardiology]. — 2022. — No. 27 (7). — P. 47. [in Russian]
5. Tulepbergenov G. K. Aktual'nost' optimizacii organizacii aritmologicheskoy pomoshhi pacientam s fibrillaciej predserdij [Relevance of optimization of organization of arrhythmological care for patients with atrial fibrillation] / G. K. Tulepbergenov, D. A. Ospanova, A. L. Puodzhlukynas [et al.] // Nauka o zhizni i zdorov'e [Science of life and health]. — 2020. — No. 2. — P. 136-145. [in Russian]
6. Shvets D. A. Sravnitel'nyj obzor ispol'zovaniya metodov mashinnogo obucheniya dlja prognozirovaniya serdechno-sosudistogo riska [Comparative review of the use of machine learning methods for predicting cardiovascular risk] / D. A. Shvets, S. V. Povetkin // Vestnik novyh medicinskih tehnologij [Bulletin of new medical technologies]. — 2020. — No. 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-obzor-ispolzovaniya-metodov-mashinnogo-obucheniya-dlya-prognozirovaniya-serdechno-sosudistogo-riska> (accessed: 06.08. 2024). [in Russian]
7. Anoushiravani A. A. Big data, big research: implementing population health-based research models and integrating care to reduce cost and improve outcomes / A. A. Anoushiravani, J. Patton, Z. Sayeed [et al.] // Orthop Clin North Am. — 2016. — No. 47. — P. 717-724.
8. Attia Z. I. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram / Z. I. Attia, S. Kapa, F. Lopez-Jimenez [et al.] // Nat Med. — 2019. — No. 25. — P. 70-74.
9. Bhattacharya M. Identifying ventricular arrhythmias and their predictors by applying machine learning methods to electronic health records in patients with hypertrophic cardiomyopathy (HCM-VAR-Risk Model) / M. Bhattacharya, D. Y. Lu, S. M. Kudchadkar [et al.] // Am J Cardiol. — 2019. — No. 123. — P. 1681-1689.
10. Bhavnani S. P. Roadmap for Innovation-ACC health policy statement on healthcare transformation in the era of digital health, big data, and precision health: a report of the american college of cardiology task force on health policy statements and systems of care / S. P. Bhavnani, K. Parakh, A. Atreja [et al.] // J Am Coll Cardiol. — 2017. — No. 70. — P. 2696-2718.
11. Cuocolo R. Current applications of big data and machine learning in cardiology / R. Cuocolo, T. Perillo, E. D. Rosa [et al.] // J GeriatrCardiol. — 2019. — No. 16(8). — C. 601-607.
12. Dey D. Artificial intelligence in cardiovascular imaging: JACC state-of-the-art review / D. Dey, P. J. Slomka, P. Leeson [et al.] // J Am Coll Cardiol. — 2019. — No. 23. — P. 1317-1335.
13. Fröhlich H. From hype to reality: data science enabling personalized medicine / H. Fröhlich, R. Balling, N. Beerenwinkel [et al.] // BMC Med. — 2018. — No. 16. — P. 150-150.
14. Lanzer J. D. Big data approaches in heart failure research / J. D. Lanzer, F. Leuschner, R. Kramann [et al.] // Curr Heart Fail Rep. — 2020. — No. 17. — P. 213-224.
15. Manrai A. K. In the era of precision medicine and big data, Who is normal? / A. K. Manrai, C. J. Patel, J. P. A. Ioannidis // JAMA. — 2018. — No. 319. — P. 1981-1982.
16. Xiao H. Big data, extracting insights, comprehension, and analytics in cardiology: an overview / H. Xiao, S. Ali, Z. Zhang [et al.] // J Healthc Eng. — 2021. — No. 12 (6). — P. 1231-1240.