



УДК 616.1-7:004.8

**РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДИАГНОСТИКЕ, ЛЕЧЕНИИ И  
ПРОГНОЗИРОВАНИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

М.А. Соболева<sup>1</sup>, О.Г. Каргаев<sup>2</sup>, М.А. Чекуришвили<sup>2</sup>, М.В. Тедеева<sup>2</sup>, И.В. Гопанцов<sup>3</sup>, Н.Г. Закарян<sup>1</sup>,  
А.А. Бабаян<sup>1</sup>, Д.А. Цогоева<sup>2</sup>, А.Б. Цагараев<sup>2</sup>, В.Э. Юзбашева<sup>4</sup>, Л.А. Валиева<sup>2</sup>, К.А. Егамова<sup>5</sup>,  
С.А. Николаенко<sup>1</sup>, А.С. Гришина<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Островитянова, 1, Москва, Российская Федерация, 117513;

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Пушкинская, 40, Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания, Российская Федерация, 362019;

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Партизана Железняка, 1, Красноярск, Российская Федерация, 660022;

<sup>4</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Мира, 310, Ставрополь, Российская Федерация, 355017;

<sup>5</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», ул. Кремлевская, 18, Казань, Российская Федерация, 420008;

<sup>6</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, просп. Острякова, 2, Владивосток, Российская Федерация, 690002

**Для корреспонденции:** Соболева Мария Алексеевна, [maria.gri2001@gmail.com](mailto:maria.gri2001@gmail.com), адрес: ул. Островитянова, 1, Москва, Российская Федерация, 117997

**Основные положения**

- Искусственный интеллект трансформирует кардиологическую практику, обеспечивая более точную диагностику, персонализированное лечение и прогнозирование сердечно-сосудистых осложнений.
- Впервые систематизированы современные подходы к применению машинного обучения, нейросетевых моделей и аналитики больших данных в клинической кардиологии.
- Подчеркнуты ключевые направления интеграции ИИ в российское здравоохранение с учетом этических, правовых и организационных аспектов.

**Резюме**

Современная кардиология переживает этап стремительной цифровой трансформации, в центре которой находится искусственный интеллект (ИИ). Применение алгоритмов машинного и глубокого обучения обеспечивает новые возможности для диагностики, мониторинга и прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний. В обзоре систематизированы данные о внедрении ИИ в ключевые направления кардиологической практики – от сбора и анализа данных до персонализированного выбора терапии. Рассматриваются примеры успешного использования

---

интеллектуальных алгоритмов для интерпретации ЭКГ, визуализации, оценки гемодинамических параметров и прогнозирования осложнений сердечной недостаточности. Отдельное внимание уделено этическим, правовым и организационным аспектам применения ИИ, включая вопросы прозрачности алгоритмов, защиты персональных данных и клинической ответственности. Подчеркивается значение международных и российских нормативных инициатив, направленных на обеспечение безопасного и справедливого использования ИИ в медицине. Особое внимание уделено ситуации в Российской Федерации, где цифровизация здравоохранения становится приоритетом государственной политики. В заключение обсуждаются перспективы развития – квантовые вычисления, эмоциональный ИИ и внедрение технологий в систему медицинского образования. Искусственный интеллект рассматривается как инструмент повышения точности диагностики, эффективности лечения и качества профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, при этом ключевым условием его успеха остаются клиническая валидация и ответственный человеческий контроль.

**Ключевые слова:** Искусственный интеллект • Кардиология • Машинное обучение • Глубокое обучение • Сердечно-сосудистые заболевания • Прогнозирование • Персонализированная медицина • Этические аспекты • Цифровое здравоохранение

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIAGNOSIS, TREATMENT AND PROGNOSIS OF CARDIOVASCULAR DISEASES

M.A. Soboleva<sup>1</sup>, O.G. Kargaev<sup>2</sup>, M.A. Chekurishvili<sup>2</sup>, M.V. Tedeeva<sup>2</sup>, I.V. Gopantsov<sup>3</sup>, N.G. Zakaryan<sup>1</sup>, A.A. Babayan<sup>1</sup>, D.A. Tsogoeva<sup>2</sup>, A.B. Tsagaraev<sup>2</sup>, V.E. Yuzbasheva<sup>4</sup>, L.A. Valieva<sup>2</sup>, K.A. Egamova<sup>5</sup>, S.A. Nikolaenko<sup>1</sup>, A.S. Grishina<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “N.I. Pirogov Russian National Research Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, 1, Ostrovityanova St., Moscow, Russian Federation, 117513;

<sup>2</sup> North Ossetian State Medical Academy, 40, Pushkinskaya St., Vladikavkaz, Republic Of North Ossetia–Alania, Russian Federation, 362019;

<sup>3</sup> Krasnoyarsk State Medical University Named After Prof. V.F. Voino-Yasenetsky, 1, Partizana Zheleznyaka St., Krasnoyarsk, Russian Federation, 660022;

<sup>4</sup> Stavropol State Medical University, 310, Mira St., Stavropol, Russian Federation, 355017;

<sup>5</sup> Kazan Federal University, 18, Kremlyovskaya St., Kazan, Russian Federation, 420008;

<sup>6</sup> Pacific State Medical University, 2, Ostryakova Ave., Vladivostok, Russian Federation, 690002

**For correspondence:** Maria A. Soboleva, [maria.gri2001@gmail.com](mailto:maria.gri2001@gmail.com); address: 1, Ostrovityanova St., Moscow, Russian Federation, 117997

### Highlights

- Artificial intelligence is transforming cardiology by enabling more accurate diagnosis, personalized therapy, and prediction of cardiovascular complications.
- The study provides a comprehensive systematization of current approaches to machine learning, neural networks, and big data analytics in clinical cardiology.
- Key directions for integrating AI into Russian healthcare are highlighted, considering ethical, legal, and organizational aspects.

### Abstract

Modern cardiology is undergoing a rapid digital transformation driven by artificial intelligence (AI). The application of machine learning and deep learning algorithms provides unprecedented opportunities for

diagnosis, monitoring, and prediction of cardiovascular diseases (CVDs). This review summarizes current evidence on the integration of AI across key domains of cardiovascular care—from data acquisition and analysis to personalized treatment optimization. The article highlights successful applications of AI in electrocardiogram interpretation, cardiovascular imaging, hemodynamic assessment, and prediction of heart failure exacerbations. Particular attention is paid to ethical, legal, and organizational aspects of AI implementation, including transparency, data security, and clinical accountability. International and national frameworks, such as the EU Artificial Intelligence Act, GDPR, and Russian federal regulations, are discussed as foundations for safe and equitable adoption of AI in healthcare. The review also outlines the Russian Federation's initiatives in digital health transformation, including the development of domestic diagnostic algorithms and unified medical data repositories. Future perspectives include the use of quantum computing, emotional AI, and integration of digital competencies into medical education. Artificial intelligence is viewed as a transformative tool to enhance diagnostic accuracy, treatment efficiency, and preventive strategies in cardiology, provided that human oversight and clinical validation remain central.

**Keywords:** Artificial intelligence • Cardiology • Machine learning • Deep learning • Cardiovascular diseases • Predictive modeling • Personalized medicine • Ethical aspects • Digital health

### Список сокращений

БД – большие данные

ГБД – глубокое обучение

ИИ – искусственный интеллект

КТ – компьютерная томография

МО – машинное обучение

МРТ – магнитно-резонансная томография

НС – нейронная сеть

ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания

ЭКГ – электрокардиограмма

ЭхоКГ – эхокардиография

GDPR – Общий регламент по защите данных (Европейский союз)

ROC-AUC – показатель площади под кривой операционной характеристики

### Введение

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются ведущей причиной смертности во всем мире, обуславливая около одной трети всех летальных исходов. Их распространенность демонстрирует устойчивую тенденцию к росту, что связано как с глобальным ростом продолжительности жизни, так и с модифицируемыми факторами образа жизни [1, 2]. Многофакторная природа патогенеза ССЗ обуславливает необходимость применения современных технологий для раннего выявления, точной диагностики, прогнозирования неблагоприятных событий и разработки персонализированных стратегий лечения.

В последние годы особое внимание привлекают методы искусственного интеллекта (ИИ), включающие машинное обучение, глубокие нейронные сети и продвинутую аналитику данных. Эти технологии открывают новые возможности для решения ключевых клинических задач – от скрининга и стратификации риска до поддержки принятия врачебных решений [3, 4]. Уже сегодня ИИ в кардиологии используется для раннего выявления ССЗ [5], интерпретации больших объемов разнородной информации, включая данные визуализационных исследований, а также для распознавания сложных закономерностей, что повышает точность прогнозирования и способствует оптимизации ведения пациентов.

**Целью настоящего обзора** является систематизация и критический анализ современных направлений применения методов искусственного интеллекта в диагностике, лечении и прогнозировании сердечно-сосудистых заболеваний с оценкой уровня их клинической доказательности и степени внедрения в реальную клиническую практику, а также анализом методологических, технологических и эτικο-правовых ограничений.

#### **Методология поиска исследований**

Поиск и отбор научных публикаций проводились в соответствии с принципами систематического обзора, адаптированными к тематике применения искусственного интеллекта (ИИ) в кардиологии. Основными источниками информации послужили международные базы данных PubMed, Scopus, Web of Science, Embase, а также российские библиографические системы eLIBRARY.ru и CyberLeninka.

Поиск охватывал публикации за период 2015–2025 гг., отражающие современные тенденции развития ИИ в диагностике, лечении и прогнозировании сердечно-сосудистых заболеваний. Использовались ключевые слова и их сочетания: “artificial intelligence”, “machine learning”, “deep learning”, “cardiology”, “cardiovascular imaging”, “predictive modeling”, “electrocardiogram”, “heart failure”, “digital health”, а также русскоязычные эквиваленты: «искусственный интеллект», «машинное обучение», «глубокое обучение», «кардиология», «сердечно-сосудистые заболевания», «цифровое здравоохранение».

Критериями включения являлись: публикации в рецензируемых журналах, содержащие оригинальные данные или систематические обзоры, в которых ИИ использовался для решения клинических задач в кардиологии (диагностика, стратификация риска, прогнозирование, терапевтическая оптимизация). Из анализа исключались статьи, не относящиеся к клиническим приложениям ИИ, а также работы низкого методологического качества и материалы без англоязычного или русскоязычного доступа.

#### **Сбор данных и мониторинг**

Современные технологии искусственного интеллекта существенно трансформируют подходы к регистрации, накоплению и первичной обработке данных о состоянии сердечно-сосудистой системы. Интеграция ИИ в системы мониторинга позволяет не только автоматизировать анализ больших массивов сигналов и изображений, но и формировать более целостное представление о функциональном состоянии пациента, повышая эффективность раннего выявления патологий и прогнозирования неблагоприятных исходов [6]. Основные направления применения ИИ в области сбора данных и мониторинга суммированы в табл. 1.

#### *Электрокардиография*

Наибольшую степень клинической готовности в настоящее время демонстрируют алгоритмы ИИ для анализа электрокардиограмм [7]. Модели глубокого обучения способны выявлять скрытые закономерности в ЭКГ-сигнале, недоступные визуальной оценке, что расширяет диагностические возможности метода. Наиболее убедительные данные получены для выявления фибрилляции предсердий при сохраненном синусовом ритме, а также для скрининга структурных заболеваний миокарда, включая гипертрофическую кардиомиопатию и амилоидоз сердца [8–10]. Кроме того, показана возможность раннего обнаружения электролитных нарушений и снижения фракции выброса левого желудочка по данным стандартной ЭКГ, что делает ИИ-поддержанную электрокардиографию перспективным инструментом массового скрининга [11–13].

### *Носимые устройства и имплантируемые датчики*

Развитие носимых устройств и имплантируемых датчиков расширило возможности непрерывного дистанционного мониторинга сердечно-сосудистых показателей вне клинических условий. Алгоритмы машинного и глубокого обучения повышают качество сигналов, получаемых в реальных условиях, за счет подавления шумов и артефактов, а также позволяют выявлять аритмии и эпизоды физиологических нарушений до их клинической манифестации [14–17]. Дополнительное клиническое значение имеет анализ показателей сна и оксигенации, позволяющий выявлять апноэ сна как фактор риска артериальной гипертензии и сердечной недостаточности [18, 19].

Имплантируемые системы мониторинга обеспечивают более точную оценку гемодинамики и электрической активности сердца, что особенно важно у пациентов с сердечной недостаточностью. Использование ИИ для анализа данных с таких устройств позволяет прогнозировать декомпенсацию заболевания и своевременно корректировать терапию. Так, в исследовании MONITOR-HF продемонстрировано снижение частоты госпитализаций и улучшение качества жизни при дистанционном мониторинге давления в легочной артерии [23].

### *Современные методы визуализации*

Визуализационные методы представляют собой одну из наиболее активно развивающихся областей применения ИИ в кардиологии. Алгоритмы ИИ повышают воспроизводимость и точность эхокардиографии, компьютерной и магнитно-резонансной томографии за счет автоматической сегментации структур сердца, количественной оценки функциональных параметров и снижения межнаблюдательной вариабельности [24–32]. В ядерной кардиологии автоматизированный анализ данных ПЭТ и ОФЭКТ улучшает диагностику ишемической болезни сердца и прогнозирование сердечно-сосудистых событий по сравнению с традиционными подходами [26, 27].

Особое значение приобретает применение ИИ в КТ-ангиографии коронарных артерий, где количественная оценка морфологии атеросклеротических бляшек и характеристик перикоронарной жировой ткани позволяет более точно стратифицировать риск даже у пациентов без выраженных стенозов [37–41]. Перспективным направлением является радиомика, обеспечивающая извлечение скрытых диагностических и прогностических признаков, недоступных стандартной визуальной интерпретации [42].

### *Популяционные данные*

Использование ИИ для анализа электронных медицинских карт, регистров и мультиомных данных расширяет возможности эпидемиологических исследований и оценки факторов риска на популяционном уровне. Такие подходы позволяют выявлять предрасположенность к наследственным кардиологическим заболеваниям и искать новые биомаркеры сердечно-сосудистых осложнений, создавая основу для персонализированной профилактики и оптимизации ресурсов здравоохранения [4, 43–45].

В целом, применение технологий искусственного интеллекта в сфере сбора данных и мониторинга формирует фундамент для последующих этапов анализа и клинического принятия решений, повышая точность стратификации риска и потенциал индивидуализированных вмешательств.

**Таблица 1. Применение технологий искусственного интеллекта в сборе и мониторинге данных при сердечно-сосудистых заболеваниях**

**Table 1. Application of artificial intelligence technologies in data collection and monitoring for cardiovascular diseases**

Область применения / Field of application	Пример технологий/клинических решений / Examples of technologies/clinical solutions	Основные результаты и клиническое значение / Key findings and clinical significance	Уровень внедрения/доказательности / Level of implementation/evidence	Ссылки / References
Электрокардиография (ЭКГ) / Electrocardiography (ECG)	Вариационные автоэнкодеры и глубокие нейронные сети / Variational autoencoders and deep neural networks	Повышение точности интерпретации ЭКГ, выявление скрытых паттернов, диагностика фибрилляции предсердий при синусовом ритме, гипертрофической кардиомиопатии и амилоидоза сердца / Improved accuracy of ECG interpretation, detection of hidden patterns, diagnosis of atrial fibrillation during sinus rhythm, hypertrophic cardiomyopathy, and cardiac amyloidosis	Клиническая валидация/ограниченное внедрение / Clinical validation/limited implementation	[7–13]
Носимые устройства / Wearable Devices	Умные часы, фитнес-трекеры, мобильные ЭКГ-платформы / Smartwatches, fitness trackers, mobile ECG platforms	Раннее выявление аритмий (в т.ч. Apple Heart Study), анализ насыщения O <sub>2</sub> , структуры сна и физической активности; прогнозирование эпизодов гипотензии и гипоксемии / Early detection of arrhythmias (including Apple Heart Study), analysis of oxygen saturation, sleep structure, and physical activity; prediction of hypotension and hypoxemia episodes	Ограниченное внедрение / Limited implementation	[14–21]
Имплантируемые датчики / Implantable Sensors	Имплантируемые кардиомониторы и гемодинамические сенсоры (HeartLogic™, MONITOR-HF) / Implantable cardiac monitors and hemodynamic sensors (HeartLogic™, MONITOR-HF)	Прогнозирование декомпенсации при сердечной недостаточности, снижение госпитализаций, улучшение качества жизни пациентов / Prediction of decompensation in heart failure, reduction in hospitalizations, and improvement of patients' quality of life	Клиническая валидация / Clinical validation	[22, 23]

Методы визуализации / Imaging Methods	Эхокардиография, МРТ, КТ, ПЭТ, ОФЭКТ; алгоритмы глубокого обучения и радиомика / Echocardiography, MRI, CT, PET, SPECT; deep learning and radiomics algorithms	Автоматическая сегментация камер сердца, оценка фракции выброса, выявление фиброза, воспаления, нестабильных атеросклеротических бляшек; снижение лучевой нагрузки, ускорение анализа изображений / Automatic segmentation of cardiac chambers, assessment of ejection fraction, detection of fibrosis, inflammation, and unstable atherosclerotic plaques; reduced radiation exposure and accelerated image analysis	Клиническая валидация/экспериментальный уровень (радиомика) / Clinical validation/experimental level (radiomics)	[24–42]
Популяционные данные / Population Data	Анализ электронных медицинских карт (EHR), геномных, протеомных и метаболомных баз / Analysis of electronic health records (EHR), genomic, proteomic, and metabolomic databases	Выявление новых факторов риска, стратификация пациентов, прогнозирование исходов, поиск биомаркеров сердечно-сосудистых заболеваний / Identification of novel risk factors, patient stratification, outcome prediction, and discovery of cardiovascular disease biomarkers	Экспериментальный /исследовательский уровень / Experimental/research level	[4, 43–45]

**Примечание:** КТ – компьютерная томография; МРТ – магнитно-резонансная томография; ОФЭКТ – однофотонная эмиссионная компьютерная томография; ПЭТ – позитронно-эмиссионная томография; ЭКГ – электрокардиограмма; EHR – Electronic Health Records (электронные медицинские карты); O<sub>2</sub> – кислород.

**Note:** CT – computed tomography; ECG – electrocardiogram; EHR – Electronic Health Records; MRI – magnetic resonance imaging; O<sub>2</sub> – oxygen; PET – positron emission tomography; SPECT – single-photon emission computed tomography.

### Анализ и интерпретация

Методы искусственного интеллекта играют ключевую роль на этапе анализа и интерпретации кардиологических данных, где происходит переход от накопленной информации к клинически значимым выводам. В отличие от этапа сбора данных, основная ценность ИИ здесь заключается не столько в автоматизации, сколько в способности выявлять сложные нелинейные взаимосвязи между клиническими, инструментальными и лабораторными параметрами. Основные направления аналитического применения ИИ в кардиологии представлены в табл. 2.

#### *Прогностическое моделирование и персонализированные оценки риска*

Алгоритмы машинного обучения формируют основу современной предиктивной кардиологии. На основе анализа многомерных данных – демографических характеристик, клинических записей, показателей визуализации, лабораторных параметров и генетической информации – формируются модели, способные прогнозировать вероятность развития неблагоприятных исходов, таких как

госпитализация по поводу сердечной недостаточности, внезапная сердечная смерть или острые осложнения [4, 43, 46]. Ранняя идентификация рисков позволяет корректировать терапию и определять оптимальный момент для выписки, повышая безопасность и эффективность лечения. Персонализированные прогнозы, основанные на алгоритмах ИИ, способствуют таргетированному профилактическому вмешательству и повышают точность оценки индивидуальной уязвимости пациента [47].

Ключевым преимуществом ИИ является способность объединять гетерогенные источники информации и формировать целостный фенотип пациента. Помимо клинических и биохимических параметров, такие модели учитывают образ жизни, характер питания, уровень физической активности, стрессовые нагрузки и социально-экономический контекст, что делает прогноз более комплексным и клинически достоверным [48, 49]. Такой многопрофильный анализ способствует не только оценке риска, но и проектированию персонализированных программ профилактики, направленных на модификацию факторов, определяющих развитие сердечно-сосудистых заболеваний.

Значимый вклад вносят технологии обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP), способные анализировать неструктурированные данные из электронных медицинских карт (EHR) и клинических протоколов. Эти алгоритмы извлекают из текста ключевую информацию о диагнозах, симптомах, лекарственных назначениях, автоматически формируют предупреждения о возможных лекарственных взаимодействиях и предлагают оптимальные диагностические и терапевтические решения [50, 51]. Применение NLP повышает полноту медицинской информации, способствует выявлению неучтенных факторов риска и уточняет клиническую картину, что особенно ценно при работе с многоцентровыми базами данных [52, 53].

#### *Персонализированная терапия и моделирование на основе устройств*

Применение искусственного интеллекта в персонализации терапии направлено на оптимизацию фармакологических и инструментальных вмешательств с учетом индивидуальных характеристик пациента. Использование фармакогеномных данных и информации о сопутствующих заболеваниях позволяет прогнозировать эффективность и безопасность лекарственной терапии, рассчитывать оптимальные дозы и выделять подгруппы пациентов с повышенным риском нежелательных эффектов [45, 47, 54]. Подобные подходы продемонстрировали клиническую применимость, в частности, при оптимизации антикоагулянтной терапии у пациентов с фибрилляцией предсердий, где требуется точный баланс между профилактикой тромбоэмболических осложнений и риском кровотечений [56].

Перспективным направлением является концепция цифрового двойника – виртуальной модели сердца конкретного пациента, воспроизводящей его анатомические и функциональные особенности. Такие модели позволяют заранее симулировать интервенционные и хирургические вмешательства, включая транскатетерную имплантацию клапанов и радиочастотную абляцию аритмогенных зон, с прогнозированием потенциальных осложнений и клинических исходов [57–59]. Использование цифровых двойников также облегчает выбор оптимальной тактики лечения за счет сравнения альтернативных сценариев с учетом индивидуальной морфологии и гемодинамики [48, 60].

В фармацевтических исследованиях ИИ применяется для ускорения поиска и оптимизации лекарственных средств, моделирования молекулярных взаимодействий и выявления перспективных терапевтических мишеней [50, 51, 53]. Дополнительно используются технологии репрофилирования лекарственных препаратов, позволяющие расширять показания к применению уже известных средств [47, 61]. Развивающееся направление клинических испытаний *in silico*, основанное на создании виртуальных когорт пациентов, открывает новые возможности оценки

эффективности и безопасности терапии, особенно при редких формах сердечно-сосудистых заболеваний [62].

В целом, аналитический потенциал искусственного интеллекта обеспечивает переход от усредненных клинических подходов к индивидуализированным стратегиям ведения пациентов. Интеграция прогностического моделирования, обработки неструктурированных данных и симуляционных технологий формирует основу предиктивной медицины в кардиологии, где клинические решения опираются на комплексный анализ данных и объективную оценку индивидуального риска.

**Таблица 2. Аналитические и прогностические возможности искусственного интеллекта в кардиологии**

**Table 2. Analytical and predictive capabilities of artificial intelligence in cardiology**

Направление применения / Field of application	Пример технологий / алгоритмов / Examples of technologies / algorithms	Основные результаты и клиническое значение / Key findings and clinical significance	Уровень внедрения/доказательности / Level of implementation/evidence	Ссылки / References
Прогностическое моделирование / Prognostic modeling	Машинное обучение, нейросетевые модели / Machine learning, neural network models	Прогноз госпитализации, внезапной смерти, осложнений при ССЗ; формирование персонализированных стратегий профилактики / Prediction of hospitalizations, sudden cardiac death, and cardiovascular complications; development of personalized prevention strategies	Клиническая валидация / Clinical validation	[4, 43, 46, 47]
Интеграция многомерных данных / Integration of multidimensional data	Алгоритмы анализа EHR, мультиомные и социально-поведенческие параметры / EHR analysis algorithms, multi-omics and socio-behavioral parameters	Комплексная оценка риска с учетом образа жизни и социоэкономических факторов; повышение точности прогнозов / Comprehensive risk assessment incorporating lifestyle and socioeconomic factors; improved predictive accuracy	Клиническая валидация/ограниченное внедрение / Clinical validation/limited implementation	[48, 49]
Обработка естественного языка (NLP) / Natural Language Processing (NLP)	Извлечение данных из неструктурированных клинических отчетов / Data extraction from unstructured clinical reports	Автоматическое выявление симптомов, рисков и лекарственных взаимодействий; улучшение полноты медицинской информации / Automatic identification of symptoms, risks, and drug interactions;	Ограниченное внедрение / Limited implementation	[50–53]

		improved completeness of medical information		
Персонализированная фармакотерапия / Personalized Pharmacotherapy	Фармакогеномика, машинное обучение / Pharmacogenomics, machine learning	Индивидуальный подбор доз, прогноз эффективности и побочных реакций; оптимизация антикоагулянтной терапии / Individual dose selection, prediction of efficacy and adverse reactions; optimization of anticoagulant therapy	Клиническая валидация / Clinical validation	[45, 47, 53–56]
Цифровые двойники / Digital Twins	Виртуальные модели сердца пациента / Virtual patient-specific heart models	Моделирование клапанных вмешательств и абляций; прогноз осложнений и исходов; тестирование терапевтических сценариев / Modeling of valvular interventions and ablation procedures; prediction of complications and outcomes; testing of therapeutic scenarios	Экспериментальный уровень / Experimental level	[48, 57–60]
Разработка и репрофилирование лекарств / Drug Development and Repurposing	Анализ молекулярных структур, моделирование взаимодействий / Molecular structure analysis, interaction modeling	Ускорение открытия и оптимизации соединений; поиск новых мишеней и терапевтических применений существующих препаратов / Acceleration of compound discovery and optimization; identification of new targets and therapeutic applications of existing drugs	Экспериментальный/доклинический уровень / Experimental/pre clinical level	[45, 47, 50, 51, 53, 54, 61]
Моделирование клинических испытаний / Clinical Trial Modeling	In silico-симуляции, виртуальные популяции / In silico simulations, virtual populations	Прогноз результатов исследований, особенно при редких заболеваниях; повышение эффективности дизайна испытаний / Prediction of study outcomes, particularly in rare diseases; improved efficiency of clinical trial design	Экспериментальный уровень / Experimental level	[62]

**Примечание:** ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания; EHR – Electronic Health Records (электронные медицинские карты); *in silico* – вычислительное моделирование; NLP – Natural Language Processing (обработка естественного языка).

**Note:** EHR – Electronic Health Records; *in silico* – computational modeling; NLP – Natural Language Processing.

**Активные клинические и организационные применения искусственного интеллекта**

Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ) постепенно выходят за рамки аналитических задач и начинают играть активную роль в непосредственном оказании медицинской помощи. Их внедрение охватывает хирургические и интервенционные вмешательства, системы поддержки принятия решений, мониторинг пациентов и управление медицинскими учреждениями. Хотя большинство проектов все еще находятся на стадии клинических испытаний, тенденция к трансформации ИИ из исследовательского инструмента в валидированный компонент клинической практики становится все более очевидной.

*Применение ИИ в клинической практике*

Роботизированные комплексы, интегрированные с элементами искусственного интеллекта, открывают возможности для стандартизации и повышения точности кардиохирургических операций, включая аортокоронарное шунтирование и реконструктивные вмешательства на клапанах. Алгоритмы машинного обучения оптимизируют траекторию движения инструментов, уменьшают риск технических ошибок и способствуют снижению травматичности вмешательств. Публикуемые данные указывают на потенциал снижения частоты осложнений и послеоперационных сроков госпитализации, однако большинство доступных исследований пока носит экспериментальный характер, требуя многоцентровой валидации [63–65].

В интервенционной кардиологии ИИ активно внедряется для повышения точности катетерных процедур. Алгоритмы анализа изображений и потоков данных с датчиков помогают врачу в реальном времени принимать решения при имплантации стентов, выполнении электрофизиологической абляции или эндоваскулярных вмешательствах [43, 66]. Параллельно технологии машинного проектирования используются в разработке и совершенствовании медицинских устройств, включая стенты с оптимизированной геометрией и улучшенными антипролиферативными покрытиями, что повышает долговременную проходимость сосудов и снижает риск рестеноза [50, 51].

Важным направлением является внедрение интеллектуальных систем в кардиостимуляторы и имплантируемые кардиовертеры-дефибрилляторы. Современные модели способны с высокой точностью распознавать аритмические события, формировать прогнозирующие предупреждения и адаптировать режим стимуляции в зависимости от состояния пациента. Полностью автономные системы с обратной связью (“closed-loop”) пока остаются экспериментальными, но первые результаты подтверждают их высокую потенциальную эффективность [67].

ИИ также находит применение в кардиореабилитации. Алгоритмы персонализируют нагрузку и структуру физических упражнений, адаптируя программу под текущие показатели пациента, данные носимых сенсоров и субъективные жалобы [3, 51]. Такой подход способствует более безопасному восстановлению после острых сердечно-сосудистых событий и повышает приверженность лечению.

Удаленный мониторинг с элементами ИИ обеспечивает врачу возможность динамического наблюдения за пациентом после выписки, своевременно выявляя осложнения и позволяя оперативно корректировать терапию.

Перспективным направлением являются мобильные приложения и чат-боты на основе искусственного интеллекта, используемые для сопровождения пациентов с хроническими сердечно-сосудистыми заболеваниями [68, 69]. Эти цифровые помощники контролируют прием лекарственных средств, напоминают о визитах, оценивают симптомы и уровень физической активности, формируют персонализированные рекомендации и образовательные материалы. Некоторые платформы интегрируются с электронными картами, позволяя врачу получать обратную связь в режиме реального времени. Хотя такие решения демонстрируют улучшение

приверженности и удовлетворенности пациентов, их влияние на долгосрочные сердечно-сосудистые исходы пока требует дальнейшего подтверждения в рандомизированных исследованиях.

#### *Вклад ИИ в организацию здравоохранения*

Применение искусственного интеллекта не ограничивается индивидуальным пациентским уровнем: ИИ активно трансформирует систему организации медицинской помощи. Интеллектуальные алгоритмы позволяют прогнозировать поток госпитализаций, оптимизировать расписание работы отделений и персонала, а также рационализировать использование ресурсов. Это снижает нагрузку на медицинский персонал и повышает общую операционную эффективность лечебных учреждений [47, 48, 51, 53].

В диагностической визуализации ИИ-системы автоматически выделяют приоритетные исследования, ускоряя интерпретацию критических находок и обеспечивая своевременную передачу результатов лечащим врачам [54, 70]. Это особенно важно при высоком потоке пациентов и ограниченном количестве специалистов.

Методы обработки естественного языка (NLP) значительно упрощают ведение медицинской документации. Системы автоматически формируют заключения и протоколы, извлекая и структурируя информацию из текстовых записей осмотров и консультаций [47, 52]. Это снижает вероятность ошибок, повышает единообразие формулировок и освобождает врачу время для непосредственной работы с пациентом.

Таким образом, активное внедрение ИИ на всех уровнях – от индивидуализированных клинических решений до организации работы медицинских учреждений – формирует новую модель цифровой кардиологии. Она объединяет технологическую точность, аналитическую силу и ориентацию на пациента, делая медицинскую помощь более предсказуемой, эффективной и персонализированной. В ближайшие годы ожидается дальнейшее расширение спектра валидированных решений и переход ИИ из вспомогательного инструмента в неотъемлемый элемент системы здравоохранения.

**Таблица 3. Активные клинические и организационные применения искусственного интеллекта в кардиологии**

**Table 3. Clinical and Organizational AI Applications in Cardiology**

Направление применения /Field of application	Пример технологий / алгоритмов / Examples of technologies / algorithms	Основные результаты и клиническое значение / Key findings and clinical significance	Уровень внедрения/доказательности / Level of implementation/evidence	Ссылки / References
Кардиохирургия и роботизированные системы / Cardiac surgery and robotic systems	Роботизированные установки с элементами ИИ, алгоритмы поддержки принятия решений / Robotic platforms with AI elements, decision-support algorithms	Повышение точности вмешательств (АКШ, пластика клапанов), снижение травматичности, стандартизация процедур / Increased precision of interventions (CABG, valve repair), reduced invasiveness, standardization of procedures	Ограниченное внедрение / Limited implementation	[63–65]
Интервенционная кардиология / Interventional cardiology	Алгоритмы обработки изображений, навигационные ИИ-системы / Image-	Оптимизация катетерных процедур (стентирование, абляция), улучшение визуализации, повышение	Клиническая валидация/ограниченное внедрение / Clinical	[43, 66]

	processing algorithms, AI-based navigation systems	безопасности / Optimization of catheter-based procedures (stenting, ablation), improved visualization, enhanced procedural safety	validation/limited implementation	
Проектирование медицинских устройств / Medical device design	Машинное моделирование, параметрическая оптимизация стентов / Computational modeling, parametric stent optimization	Создание конструкций с улучшенной гемодинамикой и проходимостью; снижение риска рестеноза / Development of designs with improved hemodynamics and patency; reduced risk of restenosis	Экспериментальный/доклинический уровень / Experimental/preclinical level	[50, 51]
Интеллектуальные имплантируемые устройства / Intelligent implantable devices	Кардиостимуляторы и ИКД с адаптивными алгоритмами / Pacemakers and ICDs with adaptive algorithms	Автоматическое распознавание аритмий, предиктивные оповещения, зачатки терапии с обратной связью / Automatic arrhythmia detection, predictive alerts, early prototypes of closed-loop therapy	Ограниченное внедрение / Limited implementation	[67]
Кардиореабилитация и удаленный мониторинг / Cardiac rehabilitation and remote monitoring	Алгоритмы персонализации нагрузок, носимые сенсоры / Personalized load-adjustment algorithms, wearable sensors	Индивидуальные программы реабилитации, динамическая коррекция нагрузок, предупреждение осложнений / Individualized rehabilitation programs, dynamic workload correction, prevention of complications	Клиническая валидация / Clinical validation	[3, 51]
Мобильные приложения и чат-боты / Mobile applications and chatbots	Цифровые ассистенты, платформы с элементами NLP / Digital assistants, NLP-based patient platforms	Контроль симптомов, соблюдения терапии, обучение пациентов, повышение приверженности лечению / Symptom and therapy-adherence monitoring, patient education, improved treatment compliance	Ограниченное внедрение / Limited implementation	[68, 69]
Оптимизация медицинской логистики / Optimization of medical logistics	Прогностическая аналитика потоков пациентов, модели распределения ресурсов / Predictive analytics of patient flow, resource-allocation models	Сокращение очередей, рационализация госпитализаций и графиков работы, повышение эффективности ЛПУ / Reduced waiting times, optimized hospitalization schedules and staff workload, improved efficiency of healthcare facilities	Ограниченное внедрение / Limited implementation	[47, 48, 51, 53]
Диагностическая визуализация и триаж / Diagnostic	ИИ-системы приоритизации исследований,	Быстрое выявление критических находок, повышение оперативности	Клиническая валидация / Clinical validation	[54, 70]

imaging and triage	автоматическая интерпретация / AI-driven prioritization systems, automatic image interpretation	диагностики / Rapid identification of critical findings, faster diagnostic workflow, enhanced diagnostic accuracy		
Автоматизация медицинской документации / Automation of medical documentation	NLP для генерации отчетов и извлечения данных / NLP-based report generation and data-extraction tools	Снижение нагрузки на врачей, уменьшение ошибок, повышение стандартизации отчетности / Reduced physician workload, fewer documentation errors, improved standardization of medical records	Ограниченное внедрение / Limited implementation	[47, 52]

**Примечание:** АКШ – аортокоронарное шунтирование; ИКД – имплантируемый кардиовертер-дефибриллятор; NLP – Natural Language Processing (обработка естественного языка); ЛПУ – лечебно-профилактическое учреждение; ИИ – искусственный интеллект.

**Note:** CABG – coronary artery bypass grafting; ICD – implantable cardioverter-defibrillator; NLP – Natural Language Processing; AI – artificial intelligence.

### Этические, правовые и технологические аспекты применения искусственного интеллекта в кардиологии

Стремительное внедрение ИИ в кардиологическую практику открывает новые горизонты для персонализированной медицины, однако сопровождается этическими, правовыми и технологическими вызовами. Для безопасной интеграции цифровых решений в систему здравоохранения необходимо учитывать их влияние на достоверность клинических решений, конфиденциальность данных и устойчивость медицинской инфраструктуры.

#### *Алгоритмическая предвзятость, ошибки прогнозирования и эффект “черного ящика”*

Одним из наиболее серьезных вызовов остается алгоритмическая предвзятость, возникающая вследствие неравномерного представления данных при обучении моделей. Недостаточная представленность отдельных популяций приводит к снижению точности прогнозов и может усиливать социальные различия в доступе к высокотехнологичной помощи [54, 64]. Решением является формирование многоцентровых и мультиэтнических баз данных, отражающих разнообразие пациентов.

Второй аспект связан с ошибками прогнозирования, возникающими вследствие переобучения моделей, смещения обучающей выборки и недостаточной обобщающей способности алгоритмов. В клинической практике это проявляется увеличением доли ложноположительных и ложноотрицательных результатов, а также снижением стабильности предсказаний при анализе новых данных, что особенно критично при автоматизированной интерпретации медицинских изображений и сигналов [71].

Отдельно следует подчеркнуть, что термин «галлюцинации» корректно применять преимущественно в отношении генеративных моделей (включая большие языковые и диффузионные модели), когда алгоритм формирует правдоподобные, но фактически недостоверные или вымышленные результаты, не основанные на реальных входных данных [72, 73]. В отличие от этого, для классических предиктивных моделей – классификаторов, регрессионных и сегментационных алгоритмов – более корректным является использование понятий ложноположительных и ложноотрицательных решений, а также производных метрик качества (чувствительность, специфичность, AUC и др.).

В кардиологии некорректное разграничение этих типов ошибок может приводить к методологическим и клиническим искажениям – от неверной интерпретации электрокардиограмм и визуализационных данных до необоснованных клинических решений и тактических ошибок лечения.

Не менее значимой проблемой остается интерпретируемость моделей ИИ. Алгоритмы глубокого обучения часто действуют как “черные ящики”, скрывая логику своих решений [52, 53]. Это затрудняет их клиническое использование и снижает доверие врачей. Развитие объяснимого ИИ (Explainable AI) позволяет частично преодолеть этот барьер, демонстрируя врачу, какие параметры повлияли на итоговый результат [7].

Таким образом, безопасное применение ИИ в кардиологии должно строиться по принципу «человек в контуре» (human-in-the-loop), при котором алгоритмы дополняют, но не заменяют клиническое мышление и ответственность врача [74].

#### *Конфиденциальность, правовое регулирование и устойчивое развитие*

Кардиологические данные, включая визуализацию, генетические профили и электронные медицинские карты, относятся к категории персональных и требуют особой защиты [52]. Массовое использование таких данных при обучении ИИ создает риски утечки информации и кибервмешательств. Соблюдение Общего регламента ЕС по защите данных (GDPR) и международных стандартов кибербезопасности является обязательным условием для доверия пациентов.

В 2024 г. принят Закон Европейского союза об искусственном интеллекте (EU AI Act), который устанавливает уровни риска и регуляторные требования для ИИ. Большинство медицинских систем отнесены к категории “высокого риска” и обязаны обеспечивать прозрачность, надежное управление рисками и участие человека в принятии решений. Для кардиологии это означает, что алгоритмы должны быть верифицированы врачом, а процесс их работы – доступен для аудита и объяснения.

Важной задачей остается киберустойчивость инфраструктуры. Атаки на серверы, содержащие обучающие наборы данных, способны нарушить работу клинических систем. Регулярные аудиты, шифрование данных, контроль доступа и сертификация программного обеспечения являются необходимыми элементами технологической безопасности.

Параллельно обсуждается вопрос юридической ответственности за ошибки, вызванные использованием ИИ. Отсутствие нормативной ясности между ролями врача, медицинского учреждения и разработчика создает правовую неопределенность. Необходимы отдельные положения, регулирующие ответственность сторон при ошибках, связанных с цифровыми клиническими рекомендациями.

Кроме того, все больше внимания уделяется экологическим аспектам. Обучение крупномасштабных нейросетей требует значительных энергетических ресурсов. Внедрение концепции «зеленого ИИ» – энергоэффективных вычислений, центров обработки данных на возобновляемых источниках и оптимизированных моделей – становится ключевым направлением устойчивого развития [75].

*Ситуация в Российской Федерации*

В России вопросы этического и правового регулирования применения ИИ в здравоохранении находятся на этапе активного становления. Правовую основу формируют федеральные законы № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», № 152-ФЗ «О персональных данных», а также стратегия «Цифровое здравоохранение» Министерства здравоохранения РФ (утв. в 2023 г.). Эти документы определяют требования к защите медицинской информации, верификации алгоритмов и обеспечению врачебного контроля при использовании автоматизированных систем.

В 2024 г. Минздрав России совместно с Минцифры и Росздравнадзором запустил пилотные проекты по валидации систем искусственного интеллекта в рамках национального проекта «Здравоохранение». Программы охватывают рентгенологию, кардиологию и функциональную диагностику. Одним из приоритетных направлений стала автоматическая интерпретация ЭКГ и эхокардиографии, в том числе с использованием отечественных алгоритмов.

Однако остаются нерешенные вопросы: отсутствие единой системы сертификации медицинского ИИ, недостаточная правовая определенность в случае врачебных ошибок, связанных с использованием цифровых решений, а также ограниченный доступ к обезличенным данным для обучения алгоритмов. Российские эксперты также подчеркивают необходимость разработки этических кодексов для медицинских ИИ-систем, включающих принципы прозрачности, справедливости и приоритета клинического решения врача.

Среди позитивных тенденций следует отметить создание национальных репозиториев медицинских изображений (включая проекты на базе «Росмедоблака» и НМИЦ кардиологии), что способствует формированию отечественной базы для обучения и тестирования алгоритмов. В перспективе эти инициативы могут обеспечить конкурентоспособность российских ИИ-разработок в области кардиологии и их адаптацию к отечественным стандартам медицинской помощи.

**Таблица 4. Этические, правовые и технологические аспекты применения искусственного интеллекта в кардиологии**

**Table 4. Ethical, Legal, and Technological Aspects of Artificial Intelligence Application in Cardiology**

Направление / Domain	Основная проблема / Primary issue	Последствия для клинической практики / Implications for clinical practice	Регулирующие документы / подходы / Regulatory documents / approaches	Ссылки / References
Алгоритмическая предвзятость / Algorithmic bias	Неравномерное представление данных при обучении моделей, снижение точности у отдельных групп пациентов / Uneven representation of data during model training, decreased accuracy in certain patient groups	Риск дискриминации и неравного доступа к высокотехнологичной помощи / Risk of discrimination and unequal access to advanced medical care	Многоцентровые и мультиэтнические базы данных, обязательная валидация ИИ-систем / Multicenter and multiethnic databases, mandatory validation of AI systems	[54, 64]
Ошибки прогнозирования и «галлюцинации» /	Переобучение моделей, смещение выборки, генерация	Неверные диагностические или	Разработка стандартов верификации и тестирования моделей	[71–73]

Prediction errors and “hallucinations”	ложных результатов / Model overfitting, sample bias, generation of false results	прогностические решения, снижение безопасности пациентов / Incorrect diagnostic or prognostic decisions, reduced patient safety	перед внедрением / Development of model verification and testing standards prior to implementation	
Проблема интерпретируемости и («черный ящик») / Interpretability problem (“black box”)	Отсутствие прозрачности логики алгоритмов глубокого обучения / Lack of transparency in deep learning algorithm logic	Недоверие врачей, трудности с информированным согласием пациентов / Physician distrust, challenges in obtaining informed patient consent	Концепция Explainable AI (объяснимый ИИ), визуализация вклада признаков / Concept of Explainable AI (XAI), visualization of feature contributions	[7, 52, 53, 74]
Конфиденциальность и кибербезопасность / Confidentiality and cybersecurity	Риск утечки персональных данных и вмешательства в работу систем / Risk of personal data leakage and system interference	Нарушение доверия, юридическая ответственность за утечку информации / Loss of trust, legal liability for data breaches	GDPR, стандарты кибербезопасности, шифрование и сертификация / GDPR, cybersecurity standards, encryption and certification requirements	[52, 74]
Правовое регулирование / Legal regulation	Отсутствие единых норм распределения ответственности между врачом, учреждением и разработчиком / Lack of unified rules for allocating responsibility among physicians, institutions, and developers	Неопределенность при судебных спорах, риск правовых коллизий / Uncertainty in litigation, risk of legal conflicts	EU AI Act (2024), механизмы надзора и ответственности / EU AI Act (2024), supervision and accountability mechanisms	[74]
Экологическая устойчивость / Environmental sustainability	Высокие энергозатраты при обучении моделей и хранении данных / High energy consumption for model training and data storage	Воздействие на окружающую среду, рост углеродного следа ИИ / Environmental impact, increasing carbon footprint of AI	Концепция «зеленого ИИ», энергоэффективные вычисления / “Green AI” concept, energy-efficient computing	[75]
Ситуация в Российской Федерации / Situation in the Russian Federation	Недостаточная нормативная база, отсутствие единой сертификации и правового механизма ответственности / Insufficient regulatory framework, absence of unified certification and liability	Задержка внедрения ИИ в клиническую практику, риск фрагментации инициатив / Delayed implementation of AI in clinical practice, risk of fragmented initiatives	ФЗ №323 «Об охране здоровья граждан», ФЗ №152 «О персональных данных», стратегия «Цифровое здравоохранение» (Минздрав РФ, 2023) / Federal Law No. 323 On the Protection of Citizens’ Health, Federal Law No.	–

	mechanisms		152 On Personal Data, Ministry of Health strategy “Digital Healthcare” (2023)	
--	------------	--	---	--

**Примечания:** ИИ – искусственный интеллект; РФ – Российская Федерация; ФЗ – федеральный закон; EU AI Act – Закон Европейского Союза об искусственном интеллекте; GDPR – Общий регламент ЕС по защите данных.

**Note:** AI – artificial intelligence; EU AI Act – EU Artificial Intelligence Act; GDPR – General Data Protection Regulation.

### Перспективы развития искусственного интеллекта в кардиологии

Интеграция технологий ИИ в кардиологию открывает новые горизонты для диагностики, лечения и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, формируя парадигму предсказательной, персонализированной и этически ответственной медицины. Однако стремительный прогресс цифровых решений ставит перед научным сообществом задачи не только технологического, но и образовательного, организационного и философского характера.

Одним из наиболее перспективных направлений становится использование квантовых вычислений, которые способны радикально расширить вычислительные возможности ИИ. Квантовые алгоритмы позволяют обрабатывать сложные многомерные медицинские данные с беспрецедентной скоростью и точностью [76], что в перспективе обеспечит построение новых прогностических моделей, оптимизацию анализа больших популяционных баз данных и совершенствование инструментов клинической поддержки принятия решений.

Другим направлением развития выступает эмоциональный и когнитивный искусственный интеллект, ориентированный на распознавание невербальных и поведенческих сигналов пациентов. Эти технологии способны повысить эмпатию и персонализацию взаимодействия врача и пациента, что особенно важно в кардиологии, где психоэмоциональное состояние часто влияет на исход терапии. Тем не менее подобные инновации требуют тщательной клинической оценки, чтобы исключить риск подмены человеческого участия технологическим автоматизмом.

Внедрение ИИ в клиническую практику невозможно без системных изменений в подготовке специалистов. Повышение цифровой грамотности медицинских работников становится необходимым условием успешной адаптации новых технологий. Пересмотр образовательных программ, внедрение курсов по машинному обучению и цифровой аналитике в программы ординатуры и последипломного образования позволит кардиологам осознанно использовать возможности ИИ в повседневной практике [64, 74]. Параллельно требуется адаптация организационной инфраструктуры: перераспределение функций медицинского персонала, оптимизация маршрутизации пациентов и развитие телемедицинских сервисов [53, 77].

Будущее кардиологии неразрывно связано с мультидисциплинарным взаимодействием. Эффективное сотрудничество между врачами, инженерами, специалистами по данным и биоэтиками становится краеугольным камнем ответственного внедрения ИИ [53, 54]. Такой подход обеспечивает баланс между технологической инновацией и клинической достоверностью, а также позволяет создавать системы, ориентированные на реального пациента, а не на абстрактную модель данных.

В ближайшие десятилетия ИИ способен коренным образом изменить подход к профилактике и лечению сердечно-сосудистых заболеваний. Используя большие данные, алгоритмы машинного обучения смогут идентифицировать пациентов с высоким риском осложнений, прогнозировать исходы и адаптировать терапию в режиме реального времени [1, 43]. Применение предиктивной аналитики позволит снизить частоту госпитализаций и смертность, а персонализированные вмешательства повысят эффективность профилактических программ.

Особое значение приобретает синергия человека и машины, где врач остается центральной фигурой клинического процесса, а ИИ выступает интеллектуальным ассистентом. Такое взаимодействие повышает точность исследований, ускоряет интерпретацию данных и освобождает врача от рутинных задач, позволяя сосредоточиться на аналитике, научной работе и коммуникации с пациентом [54, 78].

Несомненно, искусственный интеллект не заменит клинициста, но станет инструментом, способным усиливать человеческое мышление, расширяя диагностические возможности и стратегическое планирование. Ключевыми условиями этого перехода остаются образование, доверие и этическая регуляция.

Таким образом, будущее ИИ в кардиологии заключается не только в совершенствовании технологий, но и в формировании новой культуры клинического мышления, основанной на взаимодействии врача и алгоритма, науке и этике, точности и гуманизме. Развивая междисциплинарное сотрудничество и обеспечивая ответственное использование цифровых систем, кардиологическое сообщество сможет реализовать потенциал искусственного интеллекта для снижения глобального бремени сердечно-сосудистых заболеваний и улучшения качества жизни пациентов.

**Таблица 5. Перспективные направления развития искусственного интеллекта в кардиологии**

**Table 5. Promising Directions for the Development of Artificial Intelligence in Cardiology**

<b>Направление развития / Development Area</b>	<b>Ключевые особенности / технологии / Key Features / Technologies</b>	<b>Ожидаемые эффекты и значение для кардиологии / Expected Effects and Significance for Cardiology</b>	<b>Ссылки / References</b>
Квантовые вычисления / Quantum computing	Использование квантовых алгоритмов для анализа больших и сложных медицинских данных / Application of quantum algorithms for processing large and complex medical datasets	Резкое увеличение скорости обработки информации, создание сверхточных прогностических моделей, ускорение анализа изображений и сигналов / Dramatic increase in data-processing speed, creation of highly accurate predictive models, accelerated image and signal analysis	[76]
Эмоциональный и когнитивный ИИ / Emotional and cognitive AI	Алгоритмы, распознающие эмоции и поведенческие сигналы пациента / Algorithms capable of recognizing patients' emotions and behavioral cues	Повышение эмпатии и персонализации взаимодействия, улучшение коммуникации врач–пациент / Enhanced empathy and personalization of care, improved physician–patient communication	—
Образование и цифровая грамотность врачей / Medical education and digital literacy	Интеграция ИИ и анализа данных в медицинские программы и ординатуру / Integration of AI and data analysis into medical curricula and residency training	Формирование компетенций по использованию ИИ, повышение качества клинических решений / Development of competencies in AI use, improved quality of clinical decision-making	[64, 74]
Организационные и инфраструктурные изменения / Organizational and	Оптимизация рабочих процессов, маршрутизации пациентов, телемедицина / transformation	Ускорение диагностики, сокращение времени на рутинные задачи, рост эффективности учреждений /	[53, 77]

infrastructural transformation	Optimization of workflows, patient routing, and telemedicine systems	Faster diagnostics, reduced time spent on routine tasks, increased institutional efficiency	
Междисциплинарное сотрудничество / Interdisciplinary collaboration	Взаимодействие кардиологов, инженеров, специалистов по данным и биоэтиков / Cooperation among cardiologists, engineers, data scientists, and bioethicists	Создание клинически значимых и этически устойчивых систем ИИ / Creation of clinically meaningful and ethically sustainable AI systems	[53, 54]
Прогностическая и профилактическая медицина / Predictive and preventive medicine	Применение больших данных и алгоритмов машинного обучения для оценки риска / Use of big data and machine learning algorithms for risk assessment	Персонализированные вмешательства, снижение частоты осложнений и госпитализаций / Personalized interventions, reduced complication rates and hospitalizations	[1, 43]
Синергия человека и машины / Human-machine synergy	Использование ИИ как интеллектуального ассистента при сохранении врачебного контроля / Application of AI as an intelligent assistant while maintaining physician oversight	Повышение точности диагностики, освобождение времени врача, усиление роли клинического мышления / Improved diagnostic accuracy, reduced physician workload, reinforcement of clinical reasoning	[54, 78]

**Примечания:** таблица отражает ключевые тенденции и ожидаемые эффекты интеграции ИИ в кардиологическую практику на ближайшие десятилетия. ИИ – искусственный интеллект.

**Note:** the table highlights key trends and expected impacts of AI integration into cardiology practice over the coming decades. AI – artificial intelligence.

### Заключение

Интеграция технологий искусственного интеллекта в кардиологию радикально меняет подходы к диагностике, мониторингу и лечению сердечно-сосудистых заболеваний. ИИ позволяет автоматизировать анализ сложных данных, повышая точность интерпретации ЭКГ, визуализационных исследований и лабораторных показателей, а также способствует формированию персонализированных стратегий терапии. Его применение открывает путь к переходу от реактивной к предсказательной и профилактической медицине. Вместе с тем необходима клиническая валидация алгоритмов, разработка стандартов качества и обеспечение прозрачности решений.

В Российской Федерации цифровая трансформация здравоохранения рассматривается как приоритетное направление государственной политики. Принятые нормативные акты – включая федеральные законы № 323-ФЗ и № 152-ФЗ – формируют основу для этичного и безопасного использования ИИ в медицинской практике. Пилотные проекты Минздрава России демонстрируют перспективность отечественных систем анализа ЭКГ и визуализационных данных, однако сохраняются вызовы, связанные со стандартизацией форматов данных, юридической ответственностью и сертификацией алгоритмов.

Таким образом, искусственный интеллект следует рассматривать как инструмент усиления, а не замены клинического мышления. При ответственном применении и соблюдении этических и правовых норм ИИ способен стать ключевым фактором повышения эффективности кардиологической помощи, улучшения прогнозов и снижения бремени сердечно-сосудистых заболеваний, как в России, так и в мире.

**Конфликт интересов**

М.А. Соболева заявляет об отсутствии конфликта интересов. О.Г. Каргаев заявляет об отсутствии конфликта интересов. М.А. Чекуришвили заявляет об отсутствии конфликта интересов. М.В. Тедеева заявляет об отсутствии конфликта интересов. И.В. Гопанцов заявляет об отсутствии конфликта интересов. Н.Г. Закарян заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.А. Бабаян заявляет об отсутствии конфликта интересов. Д.А. Цогоева заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.Б. Цагараев заявляет об отсутствии конфликта интересов. В.Э. Юзбашева заявляет об отсутствии конфликта интересов. Л.А. Валиева заявляет об отсутствии конфликта интересов. К.А. Егамова заявляет об отсутствии конфликта интересов. С.А. Николаенко заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.С. Гришина заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование**

Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

**Информация об авторах**

**Соболева Мария Алексеевна**, студент 6 курса института материнства и детства Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0002-9348-5432

**Каргаев Олег Германович**, студент 6 курса педиатрического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Владикавказ, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0009-7338-3384

**Чекуришвили Марта Аркадьевна**, студент 6 курса лечебного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Владикавказ, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0004-5112-8079

**Тедеева Милана Валентиновна**, студент 6 курса лечебного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Владикавказ, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0001-7152-0535

**Гопанцов Игорь Викторович**, студент 6 курса лечебного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный медицинский

**Soboleva Maria A.**, student, 6<sup>th</sup> year, Institute of Maternal and Child Health, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “N.I. Pirogov Russian National Research Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0009-0002-9348-5432

**Kargaev Oleg G.**, student, 6<sup>th</sup> year, Faculty of Pediatrics, North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz, Russian Federation; **ORCID** 0009-0009-7338-3384

**Chekurishvili Marta A.**, student, 6<sup>th</sup> year, Faculty of General Medicine, North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz, Russian Federation; **ORCID** 0009-0004-5112-8079

**Tedeeva Milana V.**, student, 6<sup>th</sup> year, Faculty of General Medicine, North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz, Russian Federation; **ORCID** 0009-0001-7152-0535

**Gopantsov Igor V.**, student, 6<sup>th</sup> year, Faculty of General Medicine, Krasnoyarsk State Medical University Named After Prof. V.F. Voino-Yasenetsky, Krasnoyarsk, Russian Federation; **ORCID** 0009-0003-5237-7897

университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Красноярск, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0003-5237-7897

**Закарян Норайр Гургенович**, студент 6 курса института клинической медицины Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0002-0346-2203

**Бабаян Арсен Арменович**, студент 6 курса института клинической медицины Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0000-6894-7426

**Цогоева Дзерасса Артуровна**, студент 6 курса лечебного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Владикавказ, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0003-1199-141X

**Цагараев Алан Батразович**, студент 6 курса лечебного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Владикавказ, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0004-3604-0992

**Юзбашева Виктория Эдуардовна**, студент 6 курса педиатрического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ставрополь, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0008-2074-0555

**Валиева Лана Анзоровна**, студент 6 курса лечебного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Владикавказ, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0005-7057-4450

**Егамова Камила Амировна**, студент 6 курса лечебного факультета Федеральное

**Zakaryan Norayr G.**, student, 6<sup>th</sup> year, Institute of Clinical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “N.I. Pirogov Russian National Research Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0009-0002-0346-2203

**Babayan Arsen A.**, student, 6<sup>th</sup> year, Institute of Clinical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “N.I. Pirogov Russian National Research Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0009-0000-6894-7426

**Tsogoeva Dzerassa A.**, student, 6<sup>th</sup> year, Faculty of General Medicine, North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz, Russian Federation; **ORCID** 0009-0003-1199-141X

**Tsagaraev Alan B.**, student, 6<sup>th</sup> year, Faculty of General Medicine, North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz, Russian Federation; **ORCID** 0009-0004-3604-0992

**Yuzbasheva Victoria E.**, student, 6<sup>th</sup> year, Faculty of Pediatrics, Stavropol State Medical University, Stavropol, Russian Federation; **ORCID** 0009-0008-2074-0555

**Valieva Lana A.**, student, 6<sup>th</sup> year, Faculty of General Medicine, North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz, Russian Federation; **ORCID** 0009-0005-7057-4450

**Egamova Kamila A.**, student, 6<sup>th</sup> year, Faculty of General Medicine, Kazan Federal University,

государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0000-4610-2203

**Николаенко София Андреевна**, студент 6 курса института клинической медицины Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0005-8321-1325

**Гришина Анастасия Сергеевна**, студент федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Владивосток, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0002-2617-4589

Kazan, Russian Federation; **ORCID** 0009-0000-4610-2203

**Nikolaenko Sofia A.**, student, 6<sup>th</sup> year, Institute of Maternal and Child Health, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “N.I. Pirogov Russian National Research Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0009-0005-8321-1325

**Grishina Anastasia S.**, student, Pacific State Medical University, Vladivostok, Russian Federation; **ORCID** 0009-0002-2617-4589

#### **Вклад авторов**

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

**КОГ** – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

**ЧМА** – вклад в концепцию исследования, анализ данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

**ТМВ** – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

**ГИВ** – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

**ЗНГ** – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за

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

**KOG** – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

**ChMA** – contribution to the concept of the study, data analysis, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

**TMV** – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

**GVG** – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

**ZNG** – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

содержание

**БАА** – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

**ЦДА** – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

**ЦАБ** – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

**ЮВЭ** – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

**ВЛА** – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

**ЕКА** – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

**БАА** – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

**TsDA** – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

**TsAB** – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

**YuVE** – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

**VLA** – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

**EKA** – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

### Список литературы

1. Samorodskaya I.V., Starinskaya M.A., Boytsov S.A. Changes of regional mortality rates from cardiovascular diseases and cognitive disorders in Russia over 2019-2021. Russian Journal of Cardiology. 2023;28(4):5256. (In Russ.) doi:10.15829/1560-4071-2023-5256
2. Vaduganathan M, Mensah GA, Turco JV, et al. The Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk: A Compass for Future Health. J Am Coll Cardiol. 2022;80(25):2361-2371. doi: 10.1016/j.jacc.2022.11.005.
3. Koulaouzidis G, Jadczyk T, Iakovidis DK, et al. Artificial Intelligence in Cardiology-A Narrative Review of Current Status. J Clin Med. 2022;11(13):3910. doi: 10.3390/jcm11133910.
4. Johnson KW, Torres Soto J, Glicksberg BS, et al. Artificial Intelligence in Cardiology. J Am Coll Cardiol. 2018;71(23):2668-2679. doi: 10.1016/j.jacc.2018.03.521.
5. Lehmann DH, Gomes B, Vetter N, et al. Prediction of diagnosis and diastolic filling pressure by AI-enhanced cardiac MRI: a modelling study of hospital data. Lancet Digit Health. 2024;6(6):e407-e417. doi: 10.1016/S2589-7500(24)00063-3.
6. Krittanawong C, Rogers AJ, Aydar M, et al. Integrating blockchain technology with artificial

- intelligence for cardiovascular medicine. *Nat Rev Cardiol.* 2020;17(1):1-3. doi: 10.1038/s41569-019-0294-y.
7. van de Leur RR, Bos MN, Taha K, et al. Improving explainability of deep neural network-based electrocardiogram interpretation using variational auto-encoders. *Eur Heart J Digit Health.* 2022;3(3):390-404. doi: 10.1093/ehjdh/ztac038
  8. Attia ZI, Noseworthy PA, Lopez-Jimenez F, et al. An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction. *Lancet.* 2019;394(10201):861-867. doi: 10.1016/S0140-6736(19)31721-0.
  9. Ko WY, Siontis KC, Attia ZI, et al. Detection of Hypertrophic Cardiomyopathy Using a Convolutional Neural Network-Enabled Electrocardiogram. *J Am Coll Cardiol.* 2020;75(7):722-733. doi: 10.1016/j.jacc.2019.12.030.
  10. Goto S, Mahara K, Beussink-Nelson L, et al. Artificial intelligence-enabled fully automated detection of cardiac amyloidosis using electrocardiograms and echocardiograms. *Nat Commun.* 2021;12(1):2726. doi: 10.1038/s41467-021-22877-8.
  11. Galloway CD, Valys AV, Shreibati JB, et al. Development and Validation of a Deep-Learning Model to Screen for Hyperkalemia From the Electrocardiogram. *JAMA Cardiol.* 2019;4(5):428-436. doi: 10.1001/jamacardio.2019.0640.
  12. Soloviev I.A. I.A., Kurochkina O.N. Artificial intelligence applications in cardiology: a review. *Russian Journal of Cardiology.* 2024;29(11S):5673. (In Russ.) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-5673>
  13. Attia ZI, Kapa S, Lopez-Jimenez F, et al. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram. *Nat Med.* 2019;25(1):70-74. doi: 10.1038/s41591-018-0240-2.
  14. Hughes A, Shandhi MMH, Master H, et al. Wearable devices in cardiovascular medicine. *Circ Res.* 2023;132(5):652-670. doi:10.1161/CIRCRESAHA.122.322389.
  15. Mannhart D, Lefebvre B, Gardella C, et al. Clinical validation of an artificial intelligence algorithm offering cross-platform detection of atrial fibrillation using smart device electrocardiograms. *Arch Cardiovasc Dis.* 2023;116(4):249-257. doi:10.1016/j.acvd.2023.04.003.
  16. Maksakova A.Yu., Kim S.A., Ashurova M.A., et al. Identification of atrial fibrillation predictors on an electrocardiogram using a neural network. *Russian Journal of Cardiology.* 2024;29(11S):5907. (In Russ.) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-5907>
  17. Hannun AY, Rajpurkar P, Haghpanahi M, et al. Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network. *Nat Med.* 2019;25(1):65-69. doi:10.1038/s41591-018-0268-3.
  18. Levy J, Álvarez D, Del Campo F, et al. Deep learning for obstructive sleep apnea diagnosis based on single channel oximetry. *Nat Commun.* 2023;14:4881. doi:10.1038/s41467-023-40604-3.
  19. Shahar E, Whitney CW, Redline S, et al. Sleep-disordered breathing and cardiovascular disease: cross-sectional results of the Sleep Heart Health Study. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001;163(1):19-25. doi:10.1164/ajrccm.163.1.2001008.
  20. Hatib F, Jian Z, Buddi S, et al. Machine-learning algorithm to predict hypotension based on high-fidelity arterial pressure waveform analysis. *Anesthesiology.* 2018;129(4):663-674. doi:10.1097/ALN.0000000000002300.
  21. Isaeva AV, Demkina AE, Vladzimirskyy AV, et al. Remote monitoring of patients with chronic heart failure: A prospective randomized study. *Digital Diagnostics.* 2024;5(2):203-218. (In Russ.). doi: 10.17816/DD568897
  22. Garcia R, Gras D, Mansourati J, et al. Pre-emptive treatment of heart failure exacerbations in patients managed with the HeartLogic™ algorithm. *ESC Heart Fail.* 2024;11(4):1228-1235. doi:10.1002/ehf2.14624.
-

23. Brugts JJ, Radhoe SP, Clephas PRD, et al. Remote haemodynamic monitoring of pulmonary artery pressures in patients with chronic heart failure (MONITOR-HF): a randomised clinical trial. *Lancet*. 2023;401(10391):2113-2123. doi:10.1016/S0140-6736(23)00923-6.
24. Narang A, Bae R, Hong H, et al. Utility of a deep-learning algorithm to guide novices to acquire echocardiograms for limited diagnostic use. *JAMA Cardiol*. 2021;6(6):624-632. doi:10.1001/jamacardio.2021.0185.
25. Howard JP, Fisher L, Shun-Shin MJ, et al. Cardiac rhythm device identification using neural networks. *JACC Clin Electrophysiol*. 2019;5(5):576-586. doi:10.1016/j.jacep.2019.02.003.
26. Betancur J, Commandeur F, Motlagh M, et al. Deep learning for prediction of obstructive disease from fast myocardial perfusion SPECT: a multicenter study. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2018;11(11):1654-1663. doi:10.1016/j.jcmg.2018.01.020.
27. Juarez-Orozco LE, Martinez-Manzanera O, van der Zant FM, et al. Deep learning in quantitative PET myocardial perfusion imaging: a study on cardiovascular event prediction. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020;13(1 Pt 1):180-182. doi:10.1016/j.jcmg.2019.08.009.
28. Gherardini M, Mazomenos E, Menciassi A, et al. Catheter segmentation in X-ray fluoroscopy using synthetic data and transfer learning with light U-nets. *Comput Methods Programs Biomed*. 2020;192:105420. doi:10.1016/j.cmpb.2020.105420.
29. Seetharam K, Brito D, Farjo PD, et al. The role of artificial intelligence in cardiovascular imaging: state of the art review. *Front Cardiovasc Med*. 2020;7:618849. doi:10.3389/fcvm.2020.618849.
30. Nolan MT, Thavendiranathan P. Automated quantification in echocardiography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12(6):1073-1092. doi:10.1016/j.jcmg.2018.11.038.
31. Zhang J, Gajjala S, Agrawal P, et al. Fully automated echocardiogram interpretation in clinical practice. *Circulation*. 2018;138(16):1623-1635. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.118.034338.
32. Weikert T, Francone M, Abbara S, et al. Machine learning in cardiovascular radiology: ESCR position statement on design requirements, quality assessment, current applications, opportunities, and challenges. *Eur Radiol*. 2021;31(6):3909-3922. doi:10.1007/s00330-020-07417-0.
33. Schneider M, Bartko P, Geller W, et al. A machine learning algorithm supports ultrasound-naïve novices in the acquisition of diagnostic echocardiography loops and provides accurate estimation of LVEF. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2021;37(2):577-586. doi:10.1007/s10554-020-02046-6.
34. Brown K, Roshanibrizi P, Rwebembera J, et al. Using artificial intelligence for rheumatic heart disease detection by echocardiography: focus on mitral regurgitation. *J Am Heart Assoc*. 2024;13(9):e031257. doi:10.1161/JAHA.123.031257.
35. Dey D, Slomka PJ, Leeson P, et al. Artificial intelligence in cardiovascular imaging: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol*. 2019;73(11):1317-1335. doi:10.1016/j.jacc.2018.12.054.
36. Prakosa A, Arevalo HJ, Deng D, et al. Personalized virtual-heart technology for guiding the ablation of infarct-related ventricular tachycardia. *Nat Biomed Eng*. 2018;2(10):732-740. doi:10.1038/s41551-018-0282-2.
37. Williams MC, Kwiecinski J, Doris M, et al. Low-attenuation noncalcified plaque on coronary computed tomography angiography predicts myocardial infarction: results from the Multicenter SCOT-HEART Trial. *Circulation*. 2020;141(18):1452-1462. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044720.
38. Zhang L, Sun J, Jiang B, et al. Development of artificial intelligence in epicardial and pericoronary adipose tissue imaging: a systematic review. *Eur J Hybrid Imaging*. 2021;5:14. doi:10.1186/s41824-021-00107-0.
39. Tzolos E, Williams MC, McElhinney P, et al. Pericoronary adipose tissue attenuation, low-attenuation plaque burden, and 5-year risk of myocardial infarction. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2022;15(6):1078-1088. doi:10.1016/j.jcmg.2022.02.004.

40. Chan K, Wahome E, Tsiachristas A, et al. Inflammatory risk and cardiovascular events in patients without obstructive coronary artery disease: the ORFAN multicentre, longitudinal cohort study. *Lancet*. 2024;403(10398):2606-2618. doi:10.1016/S0140-6736(24)00596-8.
41. Chen Q, Pan T, Wang YN, et al. A coronary CT angiography radiomics model to identify vulnerable plaque and predict cardiovascular events. *Radiology*. 2023;307(3):e221693. doi:10.1148/radiol.221693.
42. Xu P, Xue Y, Schoepf UJ, et al. Radiomics: the next frontier of cardiac computed tomography. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2021;14(1):e011747. doi:10.1161/CIRCIMAGING.120.011747.
43. Lamotkin A.I., Korabelnikov D.I., Lamotkin I.A., et al. Artificial intelligence in healthcare and medicine: the history of key events, its significance for doctors, the level of development in different countries. *FARMAKOEKONOMIKA. Modern Pharmacoconomics and Pharmacoepidemiology*. 2024;17(2):243-250. (In Russ.) <https://doi.org/10.17749/2070-4909/farmakoekonomika.2024.254>
44. Khera AV, Chaffin M, Aragam KG, et al. Genome-wide polygenic scores for common diseases identify individuals with risk equivalent to monogenic mutations. *Nat Genet*. 2018;50(9):1219-1224. doi:10.1038/s41588-018-0183-z.
45. Singh M, Kumar A, Khanna NN, et al. Artificial intelligence for cardiovascular disease risk assessment in personalised framework: a scoping review. *eClinicalMedicine*. 2024;73:102660. doi:10.1016/j.eclinm.2024.102660.
46. Mustafa A, Wei C, Grovu R, et al. Using novel machine learning tools to predict optimal discharge following transcatheter aortic valve replacement. *Arch Cardiovasc Dis*. 2025;118(1):26-34. doi:10.1016/j.acvd.2024.08.008.
47. Friedrich S, Groß S, König IR, et al. Applications of artificial intelligence/machine learning approaches in cardiovascular medicine: a systematic review with recommendations. *Eur Heart J Digit Health*. 2021;2(4):424-436. doi:10.1093/ehjdh/ztab054.
48. Shangina AM, Benimetskaya KS, Efremova YuE, et al. Personalized approach to treatment choice using a digital profile of patient with cardiovascular diseases: the features of clinical decision-making support service. *Russian Cardiology Bulletin*. 2024;19(4-2):105-112. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/Cardiobulletin202419042105>
49. Jalepalli SK, Gupta P, Dekker ALAJ, et al. Development and validation of multicentre study on novel Artificial Intelligence-based Cardiovascular Risk Score (AICVD). *Fam Med Community Health*. 2024;12:e002340. doi:10.1136/fmch-2023-002340.
50. Mamedov M.N., Savchuk E.A., Karimov A.K. Artificial intelligence in cardiology. *International Journal of Heart and Vascular Diseases*. 2024. 12(43): 5-11. (In Russ.). Doi: 10.24412/2311-1623-2024-43-5-11
51. Olawade DB, Aderinto N, Olatunji G, et al. Advancements and applications of artificial intelligence in cardiology: current trends and future prospects. *J Med Surg Public Health*. 2024;3:100109. doi:10.1016/j.glmedi.2024.100109.
52. Ning Y, Teixayavong S, Shang Y, et al. Generative artificial intelligence and ethical considerations in health care: a scoping review and ethics checklist. *Lancet Digit Health*. 2024;6(8):e598-e611. doi:10.1016/S2589-7500(24)00143-2.
53. Bajwa J, Munir U, Nori A, et al. Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine. *Future Healthc J*. 2021;8(3):e188. doi:10.7861/fhj.2021-0095.
54. Khera R, Oikonomou EK, Nadkarni GN, et al. Transforming cardiovascular care with artificial intelligence: from discovery to practice. *J Am Coll Cardiol*. 2024;84(2):97-114. doi:10.1016/j.jacc.2024.05.003.

55. Aroundas AA, Narayan SM, Arnett DK, et al. Use of artificial intelligence in improving outcomes in heart disease: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2024;149(11):e1028-e1050. doi:10.1161/CIR.0000000000001201.
56. Glover B, Badawi A. Development of an AI co-pilot for decision support in oral anticoagulation management for atrial fibrillation using simulated patients. *Heart*. 2024;110(Suppl 1):A30. doi:10.1136/heartjnl-2024-ICS.31.
57. Thangaraj PM, Benson SH, Oikonomou EK, et al. Cardiovascular care with digital twin technology in the era of generative artificial intelligence. *Eur Heart J*. 2024;45(5):ehae619. doi:10.1093/eurheartj/ehae619.
58. Strange G, Stewart S, Watts A, et al. Enhanced detection of severe aortic stenosis via artificial intelligence: a clinical cohort study. *Open Heart*. 2023;10(1):e002265. doi:10.1136/openhrt-2023-002265.
59. Stamate E, Piraianu AI, Ciobotaru OR, et al. Revolutionizing cardiology through artificial intelligence—big data from proactive prevention to precise diagnostics and cutting-edge treatment: a comprehensive review of the past 5 years. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(11):1103. doi:10.3390/diagnostics14111103.
60. Engelhardt S, Dar SUH, Sharan L, et al. Artificial intelligence in cardiovascular imaging and intervention. *Herz*. 2024;49(4):327-334. doi:10.1007/s00059-024-05264-z.
61. Jain SS, Elias P, Poterucha T, et al. Artificial intelligence in cardiovascular care—part 2: applications: JACC Review Topic of the Week. *J Am Coll Cardiol*. 2024;83(21):2487-2496. doi:10.1016/j.jacc.2024.03.401.
62. Angoulvant D, Granjeon-Noriot S, Amarenco P, et al. In-silico trial emulation to predict the cardiovascular protection of new lipid-lowering drugs: an illustration through the design of the SIRIUS programme. *Eur J Prev Cardiol*. 2024;31(15):1820-1830. doi:10.1093/eurjpc/zwae254.
63. Sardar P, Abbott JD, Kundu A, et al. Impact of artificial intelligence on interventional cardiology: from decision-making aid to advanced interventional procedure assistance. *JACC Cardiovasc Interv*. 2019;12(13):1293-1303. doi:10.1016/j.jcin.2019.04.048.
64. Danilov A, Aronow WS. Artificial intelligence in cardiology: applications and obstacles. *Curr Probl Cardiol*. 2023;48:101750. doi:10.1016/j.cpcardiol.2023.101750.
65. Nedadur R, Wang B, Tsang W. Artificial intelligence for the echocardiographic assessment of valvular heart disease. *Heart*. 2022;108(20):1592-1599. doi:10.1136/heartjnl-2021-319725.
66. Al'Aref SJ, Anchouche K, Singh G, et al. Clinical applications of machine learning in cardiovascular disease and its relevance to cardiac imaging. *Eur Heart J*. 2019;40(24):1975-1986. doi:10.1093/eurheartj/ehy404.
67. Burnam M, Develle R, Polosajian L, et al. Safety and efficacy of adaptive atrial pacing regulated by blood pressure during low-level exercise: a proof-of-concept study. *ESC Heart Fail*. 2024;11(11):2460-2463. doi:10.1002/ehf2.14854.
68. Gala D, Makaryus AN. The utility of language models in cardiology: a narrative review of the benefits and concerns of ChatGPT-4. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(15):6438. doi:10.3390/ijerph20156438.
69. Madaudo C, Parlati ALM, Di Lisi D, et al. Artificial intelligence in cardiology: a peek at the future and the role of ChatGPT in cardiology practice. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*. 2024;25(10):766-771. doi:10.2459/JCM.0000000000001664.
70. Elias P, Jain SS, Poterucha T, et al. Artificial intelligence for cardiovascular care—part 1: advances: JACC Review Topic of the Week. *J Am Coll Cardiol*. 2024;83(21):2472-2486. doi:10.1016/j.jacc.2024.03.400.
71. Aliferis C, Simon G. Overfitting, underfitting and general model overconfidence and under-performance pitfalls and best practices in machine learning and AI. In: Simon GJ, Aliferis C, eds.

Artificial Intelligence and Machine Learning in Health Care and Medical Sciences: Best Practices and Pitfalls. Springer; 2024.

72. Genç M, Çelik M. Assessment of ChatGPT's compliance with ESC acute coronary syndrome management guidelines at 30-day intervals. *Life (Basel)*. 2024;14(10):1235. doi:10.3390/life14101235.
73. Hatem R, Simmons B, Thornton JE. A call to address AI "hallucinations" and how healthcare professionals can mitigate their risks. *Cureus*. 2023;15(8):e44720. doi:10.7759/cureus.44720.
74. Makimoto H, Kohro T. Adopting artificial intelligence in cardiovascular medicine: a scoping review. *Hypertens Res*. 2024;47(7):685-699. doi:10.1038/s41440-023-01469-7.
75. Scholte NTB, van der Boon RMA. Eco-conscious healthcare: merging clinical efficacy with sustainability. *Eur Heart J Digit Health*. 2025;6(3):313-314. doi:10.1093/ehjdh/ztaf017.
76. Babu SV, Ramya P, Gracewell J. Revolutionizing heart disease prediction with quantum-enhanced machine learning. *Sci Rep*. 2024;14:7453. doi:10.1038/s41598-024-55991-w.
77. Itchhaporla D. Artificial intelligence in cardiology. *Trends Cardiovasc Med*. 2022;32(1):34-41. doi:10.1016/j.tcm.2020.11.007.
78. Quer G, Arnaout R, Henne M, et al. Machine learning and the future of cardiovascular care: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol*. 2021;77(3):300-313. doi:10.1016/j.jacc.2020.11.030.

*Для цитирования:* Соболева М.А., Каргаев О.Г., Чекуришвили М.А., Тедеева М.В., Гонанцов И.В., Закарян Н.Г., Бабаян А.А., Цогоева Д.А., Цагараев А.Б., Юзбашева В.Э., Валиева Л.А., Егамова К.А., Николаенко С.А., Гришина А.С. Роль искусственного интеллекта в диагностике, лечении и прогнозировании сердечно-сосудистых заболеваний. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2026. Опубликовано онлайн 20.04.2026

*To cite:* Soboleva M.A., Kargaev O.G., Chekurishvili M.A., Tedeeva M.V., Gopantsov I.V., Zakaryan N.G., Babayan A.A., Tsogoeva D.A., Tsagaraev A.B., Yuzbasheva V.E., Valieva L.A., Egamova K.A., Nikolaenko S.A., Grishina A.S. Artificial intelligence in the diagnosis, treatment and prognosis of cardiovascular diseases. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2026. Published Online 20 April 2026