

УДК 004.8:612.17

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КАРДИОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕГО ВНЕДРЕНИЯ

Н.А. ЛАРЧЕНКО, Е.А. КУРЛЮК, М.В. ДАВЫДОВ, Е.К. КУРЛЯНСКАЯ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Беларусь)*

Аннотация. В работе рассматриваются перспективы применения искусственного интеллекта (ИИ) в кардиологии, включая диагностику, лечение и управление сердечно-сосудистыми заболеваниями (ССЗ). ИИ уже активно используется для анализа медицинских изображений (МРТ, КТ) и электрокардиограмм, а также для разработки предиктивных моделей, прогнозирующих риски ССЗ. ИИ также используется для персонализированного лечения, учитывая индивидуальные данные пациентов. Внедрение ИИ сталкивается с вызовами, такими как качество данных и этические вопросы, однако его потенциал для повышения точности диагностики, оптимизации лечения и снижения медицинских затрат остается высоким.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, кардиология, сердечно-сосудистые заболевания, диагностика, предиктивные модели, медицинские изображения, электрокардиограмма, мониторинг пациентов, персонализированное лечение, автоматизация диагностики, медицинские устройства.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CARDIOLOGY AND PROSPECTS FOR ITS IMPLEMENTATION

N.A. LARCHENKO, E.A. KURLYUK, M.V. DAVYDOV, E.K. KURLYANSKAYA

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
(Minsk, Republic of Belarus)*

Abstract. This paper examines the prospects for the application of artificial intelligence (AI) in cardiology, including the diagnosis, treatment and management of cardiovascular disease (CVD). AI is already being actively used to analyze medical images (MRI, CT) and electrocardiograms, and to develop predictive models that forecast CVD risks. AI is also being used to personalize treatment by taking into account individual patient data. AI adoption faces challenges such as data quality and ethical issues, but its potential to improve diagnostic accuracy, optimize treatment and reduce healthcare costs remains high.

Keywords: Artificial intelligence, cardiology, cardiovascular disease, diagnosis, predictive models, medical imaging, electrocardiogram, patient monitoring, personalized treatment, diagnostic automation, medical devices.

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) стал важной частью медицины, особенно в кардиологии, помогая создавать точные инструменты для диагностики, прогнозирования рисков и разработки персонализированных стратегий лечения сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). ССЗ остаются ведущей причиной смертности, что делает ИИ незаменимым для анализа больших объемов данных, повышения точности диагностики и улучшения качества медицинской помощи.

Целью исследования является анализ текущего применения ИИ в кардиологии, оценка перспектив и разбор вызовов и ограничений при интеграции технологий в клинические процессы.

Применение ИИ в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний

Применение искусственного интеллекта (ИИ) в кардиологии приобретает все большее значение благодаря его способности анализировать большие объемы данных и выявлять

скрытые паттерны, что приводит к повышению точности диагностики и снижению ошибок. Наибольшее применение ИИ находит в обработке медицинских изображений и электрокардиографии.

ИИ играет важную роль в анализе КТ и МРТ изображений. Приложения ИИ улучшают диагностику сердечных заболеваний, ускоряют обработку изображений и повышают точность диагностики. Например, использование ИИ для анализа коронарной компьютерной томографической ангиографии (ССТА) и МРТ сердца способствует автоматическому выявлению коронарных стенозов и оценке объемов сердца, что существенно улучшает рабочие процессы радиологов [1].

ИИ разрабатывает предиктивные модели для прогнозирования сердечно-сосудистых рисков на основе биомаркеров, генетики и носимых устройств. Например, стартап *AliveCor* создал *KardiaMobile* для мониторинга аритмий с помощью ИИ. Оно позволяет пользователям получать данные ЭКГ в домашних условиях, а алгоритмы ИИ автоматически анализируют эти данные и предупреждают о возможных проблемах, таких как фибрилляция предсердий [2].

ИИ также находит применение в кардиологической электрофизиологии, улучшая диагностику аритмий и других состояний, связанных с нарушениями ритма. Например, алгоритмы машинного обучения, анализирующие данные ЭКГ, способны выявлять аритмии и другие патологии, незаметные для врача, что повышает точность диагностики и снижает количество пропущенных случаев [3].

Влияние ИИ на лечение и управление сердечно-сосудистыми заболеваниями

ИИ не только способствует повышению эффективности диагностики, но также оказывает существенное влияние на процессы лечения и управления сердечно-сосудистыми заболеваниями. Ключевыми аспектами в этом контексте выступают персонализированное лечение и мониторинг пациентов.

Персонализированная медицина — это направление, в котором ИИ может изменить подходы к лечению. Алгоритмы ИИ анализируют данные пациента и предлагают оптимальные схемы лечения на основе индивидуальных характеристик. Например, в лечении сердечной недостаточности алгоритмы ИИ могут прогнозировать эффективность терапии и предлагать оптимальные дозировки медикаментов, что улучшает результаты лечения и снижает риск осложнений [4].

ИИ помогает управлять хроническими заболеваниями, предсказывая осложнения и корректируя лечение на основе данных с носимых устройств. Мониторинг пациентов с ИИ становится ключевым в кардиологической помощи. Носимые устройства и приложения анализируют сердечный ритм и другие параметры в реальном времени. Стартап *Еко* разработал умные стетоскопы, выявляющие патологии, такие как аортальный стеноз, с помощью ИИ, что улучшает диагностику и лечение.

Текущие ограничения и вызовы при внедрении ИИ в кардиологию

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение ИИ в клиническую практику сталкивается с рядом проблем и ограничений.

Эффективность алгоритмов ИИ зависит от качества данных, на которых они обучаются. Проблемы с доступом к качественным и структурированным медицинским данным остаются одним из главных барьеров на пути к массовому внедрению ИИ. Кроме того, алгоритмы могут сталкиваться с проблемами переобучения или смещения, что может привести к некорректным выводам [5].

Использование ИИ в медицине вызывает много вопросов, связанных с этикой и конфиденциальностью данных. Например, пациенты могут быть обеспокоены тем, как их данные используются для обучения алгоритмов, и насколько надежны и объяснимы решения, принятые на основе этих алгоритмов. Для решения этих вопросов необходимо создание четких этических и правовых рамок, которые бы регулировали использование ИИ в медицинской практике [6].

Создание ИИ для расшифровки кардиограмм

Для обучения и тестирования модели был использован датасет РТВ-XL, содержащий данные об ЭКГ различных пациентов. Датасет включает широкий спектр диагнозов, таких как гипертрофия левого желудочка, предсердная тахикардия, ишемические изменения, а также более специфические аномалии, такие как атриальная фибрилляция и различные формы блокады. Для классификации данных была использована нейронная сеть на основе архитектуры ResNet-50, которая адаптирована для задачи многоуровневой классификации.

Модель разделена на три уровня классификации:

- *Первый уровень:* определяет общее состояние (например, "Нормальное" или "Аномальное").
- *Второй уровень:* классифицирует основные диагностические группы, такие как гипертрофия, ишемия и другие.
- *Третий уровень:* детализирует конкретные диагнозы, такие как фибрилляция предсердий, специфические изменения ST, блокады, и т.д.

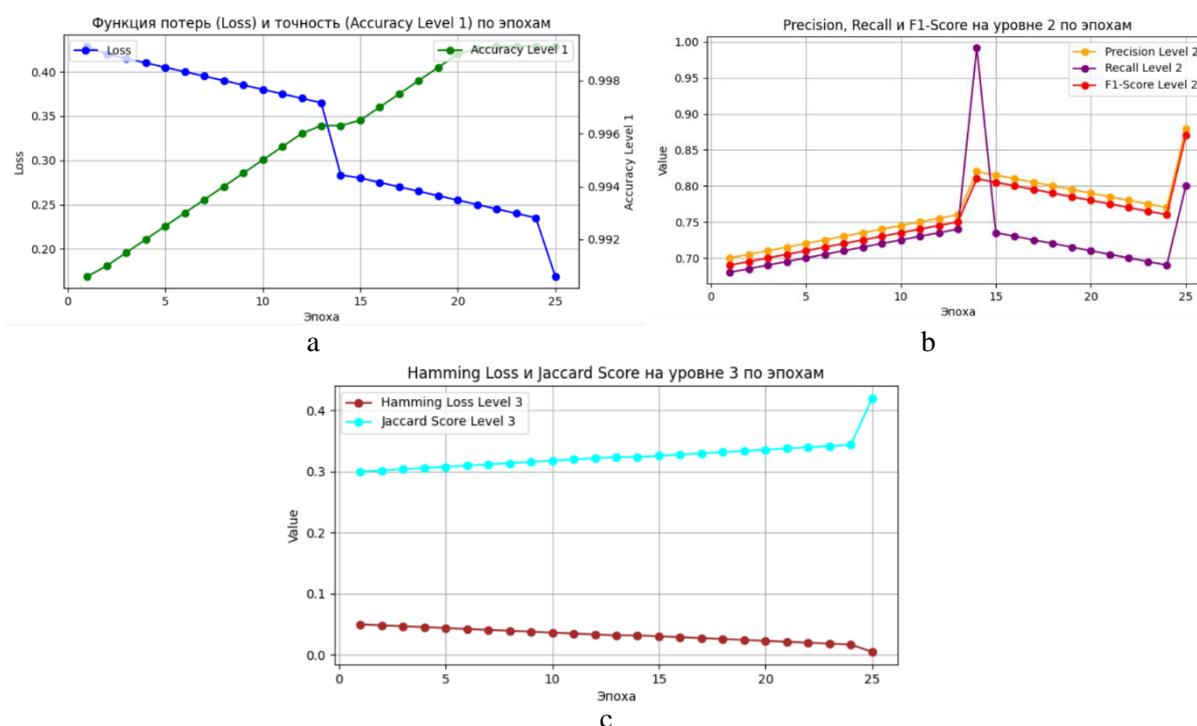


Рис. 1. Графики точностей и потерь: *a* – График функции потерь и точность по эпохам; *b* – график Precision, Recall и F1-Score на уровне 2 по эпохам; *c* – график Hamming Loss и Jaccard Score на уровне 3 по эпохам

Fig. 1. Accuracy and loss plots: *a* – Loss function plot and accuracy by epoch; *b* – Precision, Recall and F1-Score plot at level 2 by epoch; *c* – Hamming Loss and Jaccard Score plot at level 3 by epoch

Рисунок 1.а демонстрирует изменение значения функции потерь (Loss) в процессе обучения модели и показана динамика изменения точности модели на первом уровне на протяжении 25 эпох. Начальная точность составляет 99.06%, и к 25-й эпохе она достигает 99.93%. Снижение функции потерь указывает на улучшение способности модели к обобщению данных, что говорит о её повышающейся точности в предсказании диагнозов. Постепенное уменьшение Loss показывает стабильный процесс обучения.

На рисунке 1.б показаны метрики Precision, Recall и F1-Score на уровне 2 по эпохам. Precision увеличивается с 0.7000 до 0.8200, Recall растёт с 0.6800 до 0.8000, а F1-Score увеличивается с 0.6900 до 0.8100. Рост Precision означает, что модель делает меньше ложноположительных классификаций, т.е., более точно идентифицирует аномалии. Рост Recall

указывает на успешное распознавание релевантных случаев. F1-Score, как гармоническое среднее, показывает улучшение общего качества классификации на уровне 2.

Рисунок 1.с показывает изменение Hamming Loss и Jaccard Score на уровне 3 по эпохам. Снижение Hamming Loss указывает на уменьшение количества ошибок при классификации. Рост Jaccard Score свидетельствует о большей схожести между предсказанными и реальными метками, что отражает способность модели точно определять специфические диагнозы на уровне 3.

Модель была протестирована на различных ЭКГ-снимках для демонстрации её возможностей. Ниже приведён пример предсказания для конкретного случая:

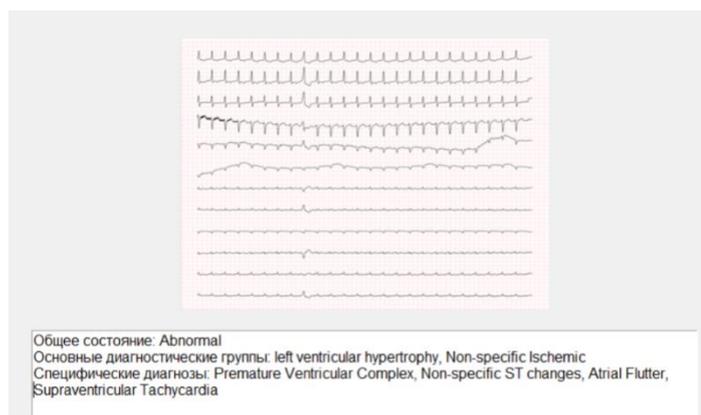


Рис. 2. Пример визуализации электрокардиограммы (ЭКГ) с выводом результатов анализа
Fig. 2. Example of electrocardiogram (ECG) visualization with analysis output

Для повышения точности предсказаний модели и улучшения её работы представляются следующие направления:

1. *Расширение набора данных:* Увеличение объема данных способствует улучшению обобщающей способности модели, что особенно важно для более точной идентификации редких диагнозов в кардиологии.

2. *Тонкая настройка параметров модели:* Дополнительные эксперименты с гиперпараметрами, такими как размер мини-батча и скорость обучения, могут повысить эффективность процесса обучения, оптимизируя работу модели на различных данных.

3. *Внедрение методов интерпретируемости (Explainable AI):* В медицинских приложениях интерпретируемость критична для понимания принципов работы модели. Реализация слоев объяснимости позволит медицинским специалистам лучше понимать и доверять прогнозам, делаемым моделью.

4. *Тестирование на реальных данных:* Проведение тестов на реальных клинических данных даст возможность объективно оценить эффективность модели в условиях практического применения.

Результаты и их обсуждение

Исследование показало, что использование искусственного интеллекта (ИИ) в кардиологии значительно ускоряет и улучшает диагностику сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). Модель на основе ResNet-50 достигла высокой точности в многоуровневой классификации патологий, что помогает выявлять сложные сердечные аномалии.

Достижения в диагностике:

- *Точность первого уровня классификации:* достигнута точность 99.93% к 25-й эпохе, демонстрируя устойчивое обучение.

- *Рост Precision, Recall и F1-Score на уровне 2:* улучшение с 0.7000 до 0.8200 (Precision), с 0.6800 до 0.8000 (Recall) и с 0.6900 до 0.8100 (F1-Score) свидетельствует о высокой общей точности и уменьшении ложных классификаций.

• *Снижение Hamming Loss и рост Jaccard Score на уровне 3*: подтверждают точность модели в выявлении специфических диагнозов.

Ограничениями остаются качество данных и соблюдение этических норм. Доступ к структурированным медицинским данным важен для улучшения моделей, а также требуется регулирование использования данных пациентов.

Заключение

ИИ играет ключевую роль в современной кардиологии, предлагая инновационные подходы к диагностике, лечению и управлению сердечно-сосудистыми заболеваниями. Эти технологии помогают формировать новые стандарты медицинской помощи, создавая точные и персонализированные рекомендации. Несмотря на вызовы, связанные с качеством данных и необходимостью регулирования, перспективы ИИ в кардиологии крайне многообещающие. Развитие ИИ повысит точность диагностики, улучшит клинические исходы и сократит затраты на здравоохранение, способствуя персонализированному и доступному подходу к лечению.

Список литературы

1. Ланзафаме, С., Биттнер, М. И., Морейра, К., Дюпуй, С., Брюле, Н., & Бароне, Д. Искусственный интеллект в кардиологической визуализации // *Intelligence in Cardiovascular Imaging*. – 2023. – Т. 1. – С. 1–6. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2075-1729/13/2/507>
2. Мартинес-Сельес, М., & Марина-Брейсс, М. Будущее искусственного интеллекта в электрокардиографии // *Journal of Electrocardiology*. – 2023. – Т. 4(1). – С. 12–20. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37103054/>
3. Хоххеггер, Б., Соуза, В. В., Лопес, А. М., Морейра, Дж., & Альтмайер, С. Искусственный интеллект в кардиоторакальной визуализации: Обзор // *Thoracic Imaging Journal*. – 2023. – Т. 11(5). – С. 52–58. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0037198X23000081>
4. Кимбер, Д. Искусственный интеллект и сердечная недостаточность: Новая граница // *Journal of Heart Failure Research*. – 2023. – Т. 6(2). – С. 14–22. – Режим доступа: <https://www.emjreviews.com/cardiology/congress-review/artificial-intelligence-and-heart-failure/>
5. Ледзиньский, П., & Гжеск, Э. Искусственный интеллект как новый инструмент для кардиологов // *Cardiology in Review*. – 2023. – Т. 12(4). – С. 54–60. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2673-9992/21/1/15>
6. Ёео, К. Искусственный интеллект в кардиологии: Приобрел ли он популярность? // *Cardiovascular Innovations and Applications*. – 2023. – Т. 15(3). – С. 102–108. – Режим доступа: <https://persmed.elpub.ru/jour/article/view/98>

Reference

1. Lanzafame, S., Bittner, M. I., Moreira, C., Dupuis, C., Brulé, N., & Barone, D. Artificial Intelligence in Cardiovascular Imaging // *Intelligence in Cardiovascular Imaging*. – 2023. – Т. 1. – С. 1–6. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2075-1729/13/2/507>
2. Martínez-Sellés, M., & Marina-Breyssse, M. Future of Artificial Intelligence in Electrocardiography // *Journal of Electrocardiology*. – 2023. – Т. 4(1). – С. 12–20. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37103054/>
3. Hochhegger, B., Souza, V. V., Lopes, A. M., Moreira, J., & Altmayer, S. Artificial Intelligence in Cardiothoracic Imaging: An Overview // *Thoracic Imaging Journal*. – 2023. – Т. 11(5). – С. 52–58. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0037198X23000081>
4. Kimber, D. Artificial Intelligence and Heart Failure: A New Frontier // *Journal of Heart Failure Research*. – 2023. – Т. 6(2). – С. 14–22. – Режим доступа: <https://www.emjreviews.com/cardiology/congress-review/artificial-intelligence-and-heart-failure/>
5. Ledziński, P., & Grzešek, E. Artificial Intelligence as an Emerging Tool for Cardiologists // *Cardiology in Review*. – 2023. – Т. 12(4). – С. 54–60. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2673-9992/21/1/15>
6. Yeo, K. Artificial Intelligence in Cardiology: Did It Take Off? // *Cardiovascular Innovations and Applications*. – 2023. – Т. 15(3). – С. 102–108. – Режим доступа: <https://persmed.elpub.ru/jour/article/view/98>