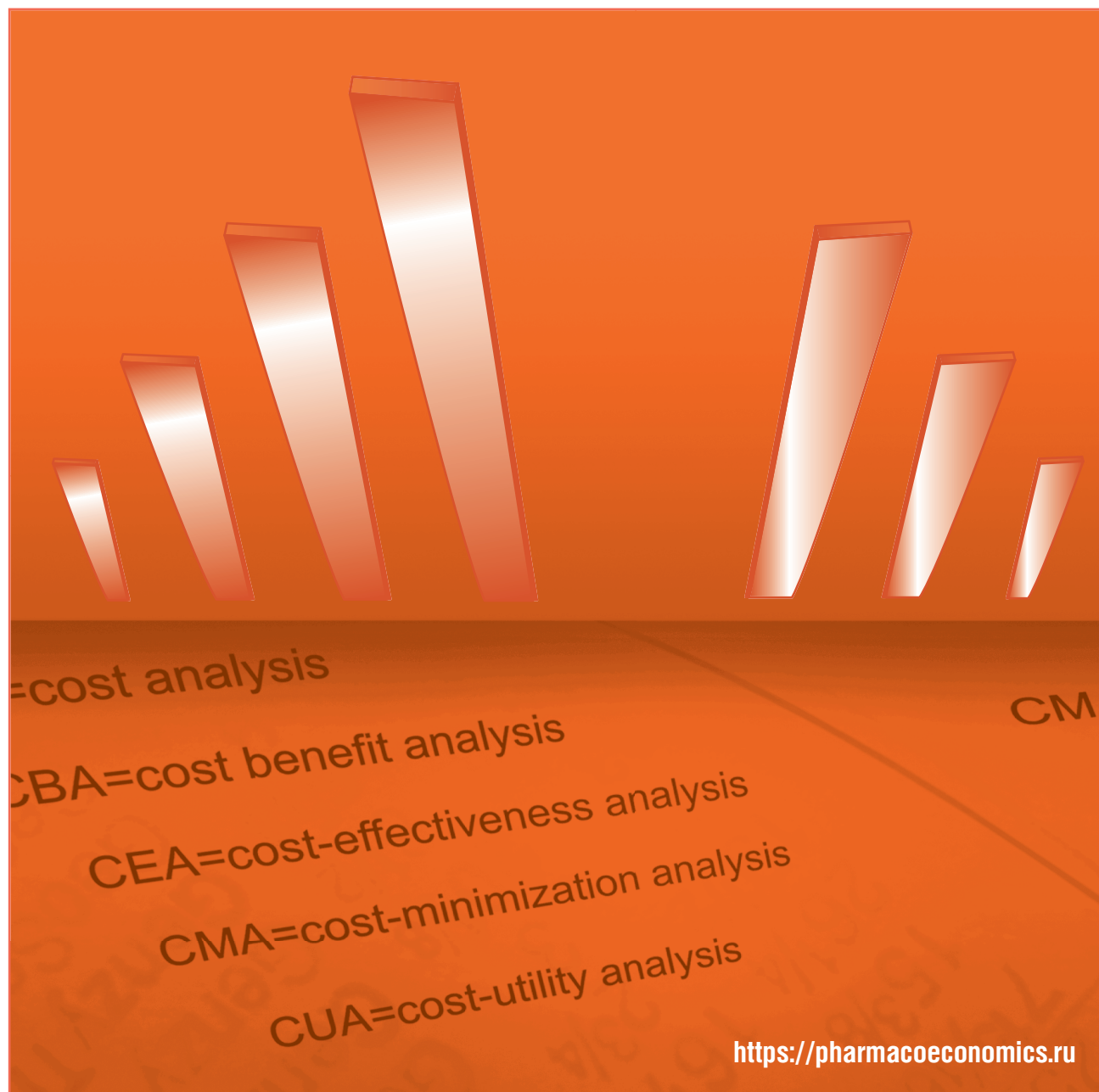


Фармакоэкономика

Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология

ISSN 2070-4909 (print)
ISSN 2070-4933 (online)



FARMAKOEKONOMIKA
Modern Pharmacoeconomics and Pharmacoepidemiology

2024 Vol. 17 No. 3

№3

Том 17

2024

Данная интернет-версия статьи была скачана с сайта <https://www.pharmacoeconomics.ru>. Не предназначено для использования в коммерческих целях.
Информацию о подписке и рекламе можно получить в редакции. Тел.: +7 (495) 649-54-95; эл. почта: info@irbis-1.ru.



<https://doi.org/10.17749/2070-4909/farmakoeconomika.2024.267>

ISSN 2070-4909 (print)

ISSN 2070-4933 (online)

Искусственный интеллект: основные термины и понятия, применение в здравоохранении и клинической медицине

А.И. Ламоткин^{1,2}, Д.И. Корабельников¹, И.А. Ламоткин^{3,4}

¹ Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Московский медико-социальный институт им. Ф.П. Гааза» (2-я Брестская ул., д. 5, Москва 123056, Россия)

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ул. Добролюбова, д. 11, Москва 127254, Россия)

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный военный клинический госпиталь им. академика Н.Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации (Госпитальная пл., д. 3, Москва 105094, Россия)

⁴ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» (Волоколамское ш., д. 11, Москва 125080, Россия)

Для контактов: Игорь Анатольевич Ламоткин, e-mail: ilamotkin@mail.ru

РЕЗЮМЕ

Цель: изучить возможности применения искусственного интеллекта (ИИ) в клинической медицине и здравоохранении, а также определить перспективы его внедрения для улучшения диагностики, лечения и управления медицинскими данными.

Материал и методы. Проведен анализ литературы по основным терминам и понятиям ИИ, его классификации по области применения, технологиям и методологиям. Рассмотрены методы обучения, такие как обучение «с учителем», «без учителя» и с подкреплением, а также примеры использования ИИ в различных областях медицины, включая диагностику заболеваний и персонализированную медицину.

Результаты. ИИ демонстрирует значительный потенциал в улучшении диагностики, оптимизации лечебных процессов и управлении ресурсами здравоохранения. Основные области применения связаны с анализом медицинских изображений, разработкой индивидуализированных планов лечения и управлением здравоохранением. Однако применение ИИ сталкивается с такими проблемами, как доступность и предвзятость данных, фрагментация систем и сложность интерпретации алгоритмов.

Заключение. Несмотря на существующие сложности, внедрение ИИ в медицину имеет большие перспективы, включая улучшение точности диагностики, сокращение времени на выполнение задач и развитие персонализированной медицины. Важно учитывать этические аспекты и необходимость дальнейшего изучения применения ИИ в медицине для достижения наилучших результатов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Искусственный интеллект, ИИ, нейронные сети, здравоохранение, клиническая медицина, диагностика, лечение.

Для цитирования

Ламоткин А.И., Корабельников Д.И., Ламоткин И.А. Искусственный интеллект: основные термины и понятия, применение в здравоохранении и клинической медицине. *ФАРМАКОЭКОНОМИКА. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология*. 2024; 17 (3): 409–415. <https://doi.org/10.17749/2070-4909/farmakoeconomika.2024.267>.

Artificial intelligence: basic terms and concepts, the application in healthcare and clinical medicine

A.I. Lamotkin^{1,2}, D.I. Korabelnikov¹, I.A. Lamotkin^{3,4}

¹ Moscow Haass Medical and Social Institute (5 2nd Brestskaya Str., Moscow 123056, Russian Federation)

² Central Research Institute of Organization and Informatization of Healthcare (11 Dobrolyubov Str., Moscow 127254, Russia)

³ Burdenko Main Military Clinical Hospital (3 Gospitalnaya Sq., Moscow 105229, Russia)

⁴ Russian Biotechnological University (11 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125080, Russia)

Corresponding author: Igor A. Lamotkin, e-mail: ilamotkin@mail.ru

SUMMARY

Objective: to explore the potential and challenges of artificial intelligence (AI) in clinical medicine and healthcare, and to determine the prospects for its implementation to improve diagnosis, treatment, and medical data management.

Material and methods. A literature review on the main terms and concepts of AI, its classification by application area, technologies, and methodologies was carried out. The learning methods such as supervised, unsupervised, and reinforcement learning were considered, as well as examples of AI application in various areas of medicine, including disease diagnosis and personalized medicine.

Results. AI shows significant potential in improving diagnosis, optimizing treatment processes, and managing healthcare resources. Main application areas are related to medical image analysis, developing individualized treatment plans, and healthcare management. However, using AI faces challenges such as data availability and bias, fragmentation of systems, and complexity of algorithm interpretation.

Conclusion. Despite the existing challenges, the implementation of AI in medicine has great prospects, including improved diagnostic accuracy, reduced task completion time, and development of personalized medicine. It is important to consider the ethical aspects and the demand for further study of AI application in medicine to achieve the best results.

KEYWORDS

Artificial intelligence, AI, neural networks, healthcare, medicine, clinical practice, diagnostics, treatment.

For citation

Lamotkin A.I., Korabelnikov D.I., Lamotkin I.A. Artificial intelligence: basic terms and concepts, the application in healthcare and clinical medicine. *FARMAKOEKONOMIKA. Sovremennaya farmakoeconomika i farmakoepidemiologiya* / *FARMAKOEKONOMIKA. Modern Pharmacoeconomics and Pharmacoepidemiology*. 2024; 17 (3): 409–415 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2070-4909/farmakoeconomika.2024.267>.

Основные моменты

Что уже известно об этой теме?

- ▶ Использование искусственного интеллекта (ИИ) в здравоохранении уже показывает свою эффективность в снижении ошибок и повышении точности диагностики
- ▶ ИИ широко применяется для диагностики и прогнозирования заболеваний, таких как рак и сердечно-сосудистые патологии
- ▶ Различные подходы к обучению ИИ, включая машинное обучение и глубокое обучение, используются для последующего анализа медицинских данных

Что нового дает статья?

- ▶ Представлены актуальные достижения ИИ в улучшении качества диагностики и лечения различных заболеваний
- ▶ Рассмотрены проблемы доступности данных, предвзятости и интерпретируемости моделей, влияющие на эффективность ИИ

Как это может повлиять на клиническую практику в обозримом будущем?

- ▶ Внедрение ИИ может значительно повысить точность диагностики и сократить время на обработку медицинских данных
- ▶ Автоматизация рутинных задач позволит врачам сосредоточиться на более сложных и критически важных аспектах лечения
- ▶ ИИ может помочь в разработке индивидуальных планов терапии, основанных на результатах обследования пациентов, что улучшит результаты лечения

Highlights

What is already known about the subject?

- ▶ The application of artificial intelligence (AI) in healthcare is already proving its efficacy in reducing errors and improving diagnostic accuracy
- ▶ AI is widely used to diagnose and predict diseases such as cancer and cardiovascular pathologies
- ▶ Various approaches to AI learning, including machine learning and deep learning, are applied for subsequent medical data analysis

What are the new findings?

- ▶ The current achievements of AI in improving the quality of diagnosis and treatment of various diseases were presented
- ▶ The issues of data availability, bias and model interpretability which affect the AI efficacy were discussed

How might it impact the clinical practice in the foreseeable future?

- ▶ The implementation of AI can significantly improve the diagnostic accuracy and reduce the time for processing medical data
- ▶ Automating routine tasks will allow physicians to focus on more complex and critical aspects of treatment
- ▶ AI can help in developing personalized therapy plans based on the results of patient examination that will improve treatment outcomes

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Искусственный интеллект (ИИ) — это широкое понятие, описывающее способность компьютерных систем выполнять задачи, которые обычно требуют участия интеллекта человека. ИИ используется в автономных машинах, роботах, самоуправляемых автомобилях, а также в приложениях офисного и личного применения, таких как персонализированная реклама и поиск в интернете. Разработки в области ИИ обеспечивают более высокий уровень принятия решений, точности и способности решать задачи [1].

Современные технологии становятся неотъемлемой частью медицинской деятельности. В клинической практике появляются

новые алгоритмы, программы и устройства, способные сделать диагностику и лечение больных более эффективными и точными. Анализ баз данных научных статей показал рост числа публикаций, посвященных применению ИИ в клинической медицине и здравоохранении [2–5]. Наиболее часто ИИ используется в диагностике кожных болезней, заболеваний сердца, диагностике и контроле лечения сахарного диабета, описании рентгеновских изображений [4].

Исследования ИИ в клинической медицине все чаще привлекают внимание медицинских учреждений, инвесторов и общественности [5]. ИИ оказывает значительное влияние на здравоохранение, трансформируя подходы к диагностике, лечению и управлению медицинскими данными.

КЛАССИФИКАЦИИ ИИ В МЕДИЦИНЕ / AI CLASSIFICATIONS IN MEDICINE

Существует несколько классификаций ИИ в медицине, основанных на различных критериях, таких как область применения, технологии и методологии.

Классификация по области применения / Classification by application area

ИИ в медицине можно разделить на несколько ключевых областей применения:

- диагностика – использование ИИ для анализа медицинских изображений и данных пациентов (включает в себя компьютерное зрение и машинное обучение, которые помогают в выявлении заболеваний на ранних стадиях, например в радиологии и дерматологии) [6, 7];
- персонализированная медицина – ИИ позволяет обрабатывать большие объемы данных для разработки индивидуализированных планов лечения, основанных на генетической информации и других биомаркерах [8];
- управление здравоохранением – ИИ применяется для оптимизации процессов в здравоохранении, включая управление ресурсами, планирование и мониторинг пациентов, что помогает улучшить качество обслуживания и сократить затраты [9].

Классификация по технологиям / Classification by technology

С точки зрения технологий можно выделить следующие варианты:

- машинное обучение – один из наиболее распространенных методов, который включает в себя алгоритмы, способные обучаться на основе данных и делать прогнозы (в здравоохранении машинное обучение используется для анализа данных о пациентах и прогнозирования результатов лечения) [9];
- глубокое обучение – подкатегория машинного обучения, использующая нейронные сети с множеством слоев (глубокое обучение показало отличные результаты в обработке изображений и анализе больших объемов данных, таких как медицинские снимки) [7];
- обработка естественного языка (англ. natural language processing, NLP) – технология позволяет ИИ обрабатывать и анализировать текстовую информацию, что полезно для извлечения данных из медицинских записей [10].

Классификация по методологии / Classification by methodology

Методы ИИ в медицине могут быть разделены на следующие группы:

- предиктивная аналитика – использует исторические данные для предсказания будущих событий, таких как риск развития заболеваний или исходы лечения [6];
- рекомендательные системы – помогают врачам в принятии решений, предлагая оптимальные варианты лечения на основе данных о пациентах и лучших практиках [9].

ВИДЫ ОБУЧЕНИЯ И ПОДХОДЫ К НЕМУ / TYPES OF LEARNING AND APPROACHES

Виды обучения / Types of learning

В настоящее время выделяют два вида обучения ИИ: машинное и глубокое обучение.

Машинное обучение

Машинное обучение (англ. machine learning) – это подраздел ИИ, который фокусируется на разработке алгоритмов и методов, позволяющих решать задачи без явного программирования [11],

что дает возможность компьютерам извлекать знания из данных и делать предсказания на их основе. В машинном обучении компьютер обучается на основе набора данных, чтобы делать выводы или принимать решения без дополнительного программирования.

Глубокое обучение

Глубокое обучение (англ. deep learning) – подраздел машинного обучения, который использует нейронные сети с большим количеством слоев для анализа данных. Глубокое обучение позволяет компьютерам автоматически изучать представления данных с различными уровнями абстракции. Это более сложная форма машинного обучения, использующая многоуровневые нейронные сети для повышения точности и специфичности при сниженной интерпретируемости [12].

Подходы к обучению / Approaches to learning

Существуют разные типы подходов к обучению при применении машинного и глубокого обучения в здравоохранении, каждый из которых имеет свои особенности и применения. Учитывая различные факторы, такие как количество функций, размер выборки и распределение данных, необходимо определить наиболее подходящий метод для конкретной программы электронно-вычислительных машин (ЭВМ) или приложения для смартфона.

Обучение «с учителем»

Обучение «с учителем» (англ. supervised learning) используется для классификации и прогнозирования на основе имеющихся предыдущих данных. В медицине и здравоохранении подход на основе обучения «с учителем» широко применяется для прогнозирования заболеваний [13], определения исходов госпитализации [14] и распознавания изображений [15]. Приведем примеры методов данного типа подхода к обучению.

Дерево решений (англ. decision tree, DT) служит инструментом поддержки принятия решений. Алгоритм дерева решений начинается с одного узла и определяет возможные результаты данного решения. Дерево продолжается с учетом этих результатов и последующих решений, пока не будет достигнут конечный продукт [16].

Машины опорных векторов (англ. support vector machines, SVM) являются алгоритмами классификации, применяющими контролируемое обучение для разделения объектов на две группы. Они находят гиперплоскость с максимальным зазором между данными для оптимальной их классификации [17].

Метод случайного леса (англ. random forest, RF) – это алгоритм машинного обучения, который использует ансамбль деревьев решений. Он применяется для классификации, регрессии и кластеризации. Суть метода заключается в использовании большого количества деревьев решений, каждое из которых имеет невысокое качество классификации, но в совокупности они обеспечивают хороший результат [18].

Искусственные нейронные сети (англ. artificial neural networks, ANNs) состоят из входного слоя, одного или нескольких скрытых слоев и выходного слоя. Функциональные единицы в каждом слое соединены с нейронами в предыдущем и последующем слоях [18]. Сверточная нейронная сеть (англ. convolutional neural network, CNN) – это многослойная сеть, которая используется для распознавания и идентификации объектов, обнаружения аномалий, распознавания изображений и идентификации [19].

Многослойный перцептрон (англ. multilayered perceptron, MLP) – классическая архитектура нейронных сетей, состоящая из не-

скольких слоев нейронов, включая входной слой, скрытые слои и выходной слой. Региональная сверточная нейронная сеть (англ. region-based convolutional neural network, R-CNN) – метод для обнаружения объектов в изображениях. Эти модели обучаются на размеченных данных, где каждое изображение имеет метки, указывающие на наличие и положение объектов в кадре.

Обучение «без учителя»

Обучение «без учителя» (англ. unsupervised learning) применяется для анализа данных и кластеризации. Примерами методов данного типа подхода к обучению являются следующие.

Алгоритм кластеризации k-средних – один из наиболее распространенных методов обучения «без учителя», который используется для определения среднего значения между группами в неразмеченных данных [20].

Сеть глубокого доверия (англ. deep belief network, DBN) представляет собой многоуровневую сеть с внутриуровневыми соединениями, которая применяется для поиска данных и обнаружения признаков. Она обычно использует неконтролируемое обучение и имеет множество скрытых уровней для нахождения корреляций в данных [21].

Алгоритм автоматического обнаружения на основе глубокого обучения (англ. deep learning-based anomaly detection, DLAD) – это метод глубокого обучения, специально разработанный для обнаружения аномалий в данных. DLAD может быть использован для выявления нетипичных, выбивающихся из общего паттерна данных.

Обучение с подкреплением

Обучение с подкреплением (англ. reinforcement learning) зависит от последовательности вознаграждений и направлено на формирование стратегии действий.

Широко используемая рекуррентная нейронная сеть (англ. recurrent neural network, RNN) применяет обучение с подкреплением. В RNN все искусственные нейроны соединены между собой, что позволяет передавать входные данные с временной задержкой и повторно использовать выходные данные предыдущих этапов как входные данные для последующих этапов. Эта технология полезна для прогнозирования временных рядов, машинного перевода, распознавания речи, анализа ритма и создания музыки [19].

Несмотря на ограничения в применении обучения с подкреплением в области здравоохранения из-за сложности структуры, разнообразия данных, определения вознаграждений и требований к вычислительным ресурсам, у этой технологии по-прежнему есть значительный потенциал для достижения успехов в медицинской сфере.

Ключевые термины в обучении нейронных сетей / Main terms in neural network learning

Для описания процесса обучения модели нейронной сети и оценки ее эффективности используются следующие понятия: валидационный набор данных (внутренняя и внешняя валидация), обучающий набор данных и остаточное обучение.

Валидационный набор данных (англ. validation set) – это данные, используемые для оценки качества модели. Они делятся на внутреннюю и внешнюю валидацию.

Внутренняя валидация (англ. internal validation) – оценка модели на основе данных, которые были использованы в процессе обучения. Обычно это делается с помощью таких методов, как кросс-валидация (англ. cross-validation), где исходный набор дан-

ных делится на несколько подмножеств (англ. folds) и модель обучается и проверяется на каждом из них поочередно. Внутренняя валидация помогает оценить, насколько модель обобщает данные, и определить наилучшие гиперпараметры модели.

Внешняя валидация (англ. external validation) – процесс оценки модели на данных, которые не были использованы ни для обучения, ни для валидации модели (тестовый набор данных – англ. test set). Внешняя валидация важна для оценки того, как модель будет работать на совершенно новых данных, и позволяет более объективно определить ее обобщающую способность.

Обучающий набор данных (англ. training set) – это часть данных, которая используется непосредственно для обучения модели. Модель анализирует эти данные, выявляет закономерности и формирует свои параметры, чтобы минимизировать ошибку на обучающих данных. Обучающий набор данных обычно составляет наибольшую часть исходного набора данных.

Остаточное обучение (англ. residual training) – это обучение моделей, направленное на улучшение их качества путем изучения и корректировки остаточных ошибок (англ. residuals), которые модель совершает на обучающих данных. Остатки представляют собой разницы между предсказанными и фактическими значениями модели. В контексте глубокого обучения это часто связано с использованием остаточных блоков (англ. residual blocks) в архитектуре нейронных сетей, таких как ResNet, где остаточные связи помогают улучшить обучение глубоких моделей, облегчая прохождение градиента через сеть.

ПРИМЕНЕНИЕ ИИ В КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ / AI APPLICATION IN CLINICAL MEDICINE

От общей практики до узких областей / From general practice to narrow areas

Преимуществами применения ИИ в клинической медицине являются: уменьшение количества ошибок, предоставление данных в режиме реального времени, экономия времени и ресурсов, помощь в клинических исследованиях, снижение стресса у врача, повышение взаимодействия врача и пациента и др. [22]. Однако к настоящему времени эффективность ИИ при диагностике и лечении различных заболеваний недостаточно изучена, в зарубежной и отечественной литературе еще мало публикаций на эту тему.

Врачи терапевтических специальностей и общей практики (семейные врачи) стали все чаще использовать ИИ для диагностики различных заболеваний и состояний. Например, разработаны мобильные приложения, которые помогают проводить анализ электрокардиограммы на смартфоне, что позволяет ускорить заключение и постановку правильного диагноза по сравнению с традиционными методами диагностики [20]. ИИ используется в обнаружении фибрилляции предсердий [23, 24]. В России также применяются нейронные сети для диагностики синусового ритма и его нарушений [25, 26].

В эндокринологии для управления лечением сахарного диабета (СД) используются следующие стратегии ИИ: прогнозирование уровня глюкозы в крови, выявление гипергликемии, определение вариабельности гликемии и терапия с помощью контроллера инсулина. ИИ применяется для непрерывного мониторинга уровня глюкозы, что является принципиально значимым и важным для пациентов с СД. Например, система Guardian (Medtronic, США) позволяет врачу и пациенту отслеживать уровень глюкозы в реальном времени и получать достоверную информацию о его изменениях на мобильные устройства, что дает возможность предотвращать эпизоды гипогликемии путем коррекции терапии и диеты [27, 28].

К настоящему времени и в России также начали использовать ИИ для профилактики, мониторинга и лечения СД [29].

В гастроэнтерологии с успехом применяются CNN и другие модели глубокого обучения для анализа изображений, полученных при проведении эндоскопии и ультразвуковых исследований [30]. Это позволяет обнаруживать такие аномалии в желудочно-кишечном тракте, как, например, полипы толстой кишки [10].

При осмотре кожного покрова пациентов врачи общей практики и терапевты могут быть насторожены наличием у обследуемых поражений кожи, особенно в виде пигментных образований. В настоящее время отмечается рост числа программ ЭВМ для смартфонов с использованием ИИ для интерпретации новообразований кожи, например программы для дифференциальной диагностики злокачественных и доброкачественных образований кожи, а также верификации меланом кожи¹. Эти простые в использовании программы могут помочь врачам общей практики правильно выбрать маршрутизацию пациентов с опухолями кожи: к врачу-онкологу со злокачественными или к врачу-дерматовенерологу с доброкачественными поражениями кожного покрова.

Проблемы и ограничения / Challenges and limitations

Применение ИИ в медицине сталкивается с рядом проблем. Одна из главных – доступность данных: для обучения ИИ требуется большое количество качественных данных, однако конфиденциальность пациентов ограничивает доступ к ним, что снижает потенциал моделей.

Также существует проблема предвзятости данных. Если данные, используемые для обучения, предвзяты (например, ориентированы на определенную группу), модель также будет предвзятой. Этого можно избежать путем тщательной предварительной обработки данных, хотя и здесь возможны ошибки. Таким образом, пользователь может лучше интерпретировать выходные данные модели и решать, как их использовать. Например, существует множество показателей, которые можно применять для оценки эффективности модели, таких как точность, чувствительность, специфичность, F1-метрика и метрика площади под кривой (англ. area under curve, AUC) [31]. Выбор модели – критичный этап: некорректный выбор алгоритма может привести к упрощенным и недостоверным результатам. Пользователи систем ИИ должны понимать принципы работы моделей, чтобы адекватно интерпретировать их результаты и выбирать подходящие показатели производительности.

Еще одно ограничение – фрагментированные данные. Модели, разработанные одной организацией, часто не могут быть использованы в других без перенастройки, а обмен данными между медицинскими учреждениями ограничен.

Наконец, системы ИИ остаются «черными ящиками», т.к. их алгоритмы сложны для понимания, что требует дальнейшей работы над улучшением интерпретируемости моделей. В этом направлении недавно была предпринята попытка применить механистическую интерпретируемость (обратное проектирование нейронных сетей для лучшего понимания их работы) и методы атрибуции (например, LIME и SHAP²), что может помочь объяснить решения моделей путем выделения ключевых входных признаков [32]. Но несмотря на это, еще многое предстоит сделать.

Перспективы / Prospects

ИИ в медицине имеет множество перспектив, которые активно развиваются в последние годы. Перечислим основные из них.

Улучшение диагностики

ИИ уже внедряется в различные области медицины, включая радиологию и патологоанатомию. Например, алгоритмы ИИ помогают в интерпретации медицинских изображений, таких как рентгеновские снимки и снимки сетчатки, что позволяет повысить точность диагностики и снизить вероятность человеческой ошибки [33].

Применение LLM в медицине

LLM может помочь в клинической диагностике, исследовательской деятельности и образовании медицинских работников. Однако использование таких инструментов также вызывает опасения по поводу соблюдения правовых норм и прозрачности контента. Основное внимание уделяется необходимости тщательного подхода к этическим аспектам и ограничениям, связанным с внедрением ИИ в медицинскую практику [34].

Персонализированная медицина

ИИ помогает разрабатывать индивидуализированные планы лечения на основе анализа генетических данных и медицинской истории [35].

Сокращение времени выполнения задач

Использование ИИ позволяет медицинским работникам сосредоточиться на более продуктивных и приоритетных задачах, оптимизируя их рабочие процессы [34].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

ИИ становится важным инструментом в сфере медицины, предлагая новые подходы к диагностике, лечению и управлению медицинскими данными. Применение ИИ способствует повышению точности диагностики, персонализированному подходу к лечению и оптимизации медицинских процессов. Однако внедрение ИИ также сталкивается с определенными вызовами, включая вопросы конфиденциальности данных, предвзятости алгоритмов и сложностей в интерпретации результатов.

Несмотря на эти препятствия, потенциал применения ИИ в медицине огромен. Использование алгоритмов для анализа медицинских изображений, диагностики и прогнозирования заболеваний, разработки индивидуализированных планов лечения открывает новые горизонты для повышения качества медицинской помощи. С дальнейшим развитием технологий и углублением научных исследований в этой области ИИ сможет внести значимый вклад в улучшение диагностики и лечения заболеваний, а также в повышение эффективности деятельности медицинских работников, медицинских организаций и отрасли в целом. Работа по устранению существующих проблем для максимального использования преимуществ ИИ в здравоохранении и клинической медицине обеспечит эффективность, безопасность и этичность его применения.

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024668565 РФ «Программа для визуальной идентификации меланомы кожи "Melanoma check"»; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024668566 РФ «Программа для визуальной идентификации злокачественных и доброкачественных опухолей кожи "Derma Onko Check"».

² LIME (англ. Local Interpretable Model-agnostic Explanations) – локальные интерпретируемые модельно-независимые объяснения; SHAP (англ. SHapley Additive exPlanations) – аддитивные объяснения Шепли.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	ARTICLE INFORMATION
Поступила: 22.08.2024 В доработанном виде: 10.09.2024 Принята к печати: 24.09.2024 Опубликована: 30.09.2024	Received: 22.08.2024 Revision received: 10.09.2024 Accepted: 24.09.2024 Published: 30.09.2024
Вклад авторов	Authors' contribution
Все авторы принимали равное участие в сборе, анализе и интерпретации данных. Все авторы прочитали и утвердили окончательный вариант рукописи	All authors participated equally in the collection, analysis and interpretation of the data. All authors have read and approved the final version of the manuscript
Конфликт интересов	Conflict of interests
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interests
Финансирование	Funding
Авторы заявляют об отсутствии финансовой поддержки	The authors declare no funding
Этические аспекты	Ethics declarations
Неприменимо	Not applicable
Комментарий издателя	Publisher's note
Содержащиеся в этой публикации утверждения, мнения и данные были созданы ее авторами, а не издательством ИРБИС (ООО «ИРБИС»). Издательство ИРБИС снимает с себя ответственность за любой ущерб, нанесенный людям или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или препаратов, упомянутых в публикации	The statements, opinions, and data contained in this publication were generated by the authors and not by IRBIS Publishing (IRBIS LLC). IRBIS Publishing disclaims any responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred in the content
Права и полномочия	Rights and permissions
ООО «ИРБИС» обладает исключительными правами на эту статью по Договору с автором (авторами) или другим правообладателем (правообладателями). Использование статьи регулируется исключительно условиями Договора и действующим законодательством	IRBIS LLC holds exclusive rights to this paper under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s). Usage of this paper is solely governed by the terms of the publishing agreement and applicable law

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Miotto R., Wang F., Wang S., et al. Deep learning for healthcare: review, opportunities and challenges. *Brief Bioinform.* 2018; 19 (6): 1236–46. <https://doi.org/10.1093/bib/bbx044>.

2. Куракова Н.Г., Цветкова Л.А., Черченко О.В. Технологии искусственного интеллекта в медицине и здравоохранении: позиции России на глобальном патентном и публикационном ландшафте. *Врач и информационные технологии.* 2020; 2: 81–100. <https://doi.org/10.37690/1811-0193-2020-2-81-100>.
[Kurakova N.G., Tsvetkova L.A., Cherchenko O.V. Artificial intelligence technologies in medicine and healthcare: Russia's position on the global patent and publication landscape. *Medical Doctor and IT.* 2020; 2: 81–100 (in Russ.). <https://doi.org/10.37690/1811-0193-2020-2-81-100>.]

3. Jimma B.L. Artificial intelligence in healthcare: a bibliometric analysis. *Telemat Inform Rep.* 2023; 9 (Suppl. 1): 100041. <https://doi.org/10.1016/j.teler.2023.100041>.

4. Guo Y., Hao Z., Zhao S., et al. Artificial intelligence in health care: bibliometric analysis. *J Med Internet Res.* 2020; 22 (7): e18228. <https://doi.org/10.2196/18228>.

5. Ламоткин А.И., Корабельников Д.И., Ламоткин И.А. и др. Искусственный интеллект в здравоохранении и медицине: история ключевых событий, его значимость для врачей, уровень развития в разных странах. *ФАРМАКОЭКОНОМИКА. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология.* 2024; 17 (2): 243–50. <https://doi.org/10.17749/2070-4909/farmakoeconomika.2024.254>.
[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. Sovremennaya farmakoeconomika i farmakoepidemiologiya / FARMAKOEKONOMIKA. Modern Pharmacoeconomics and Pharmacoepidemiology.* 2024; 17 (2): 243–50. <https://doi.org/10.17749/2070-4909/farmakoeconomika.2024.254>.]

6. Hirani R., Noruzi K., Khuram H., et al. Artificial intelligence and healthcare: a journey through history, present innovations, and future possibilities. *Life.* 2024; 14 (5): 557. <https://doi.org/10.3390/life14050557>.

7. Kitsios F., Kamariotou M., Syngelakis A.I., Talias M.A. Recent advances of artificial intelligence in healthcare: a systematic literature review. *Appl Sci.* 2023; 13 (13): 7479. <https://doi.org/10.3390/app13137479>.

8. Jiang F., Jiang Y., Zhi H., et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke Vasc Neurol.* 2017; 2 (4): 230–3. <https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101>.

9. Grus J. Data science from Scratch: first principles with Python. 1st ed. O'Reilly Media; 2015: 330 pp.

10. Fernández-Esparrach G., Bernal J., López-Cerón M., et al. Exploring the clinical potential of an automatic colonic polyp detection method based on the creation of energy maps. *Endoscopy.* 2016; 48: 837–42. <https://doi.org/10.1055/s-0042-108434>.

11. Samuel A.L. Some studies in machine learning using the game of checkers. *IBM J Res Develop.* 2000; 44 (1–2): 207–19. <https://doi.org/10.1147/rd.441.0206>.

12. Bhattacharjee B., Boag S., Doshi C., et al. IBM deep learning service. arXiv:1709.05871. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1709.05871>.

13. Liang Z., Zhang G., Huang J.X., Hu Q.V. Deep learning for healthcare decision making with EMRs. 2014 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM). Belfast, UK; 2014: 556–9. <https://doi.org/10.1109/BIBM.2014.6999219>.

14. Roth M. COVID-19: Oregon hospitals share data, create real-time bed capacity system. *Health Leaders.* 2020. Available at: <https://www.healthleadersmedia.com/innovation/covid-19-oregon-hospitals-share-data-create-real-time-bed-capacity-system> (accessed 01.07.2024).

15. Patel M.J., Andreescu C., Price J.C., et al. Machine learning approaches for integrating clinical and imaging features in late-life depression classification and response prediction. *Int J Geriatr Psychiatr.* 2015; 30 (10): 1056–67. <https://doi.org/10.1002/gps.4262>.

16. Kamiński B., Jakubczyk M., Szufel P. A framework for sensitivity

- analysis of decision trees. *Cent Eur J Oper Res*. 2018; 26 (1): 135–59. <https://doi.org/10.1007/s10100-017-0479-6>.
17. Gaonkar B., Davatzikos C. Analytic estimation of statistical significance maps for support vector machine based multi-variate image analysis and classification. *Neuroimage*. 2013; 78: 270–83. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.03.066>.
18. Liaw A., Wiener M. Classification and regression by random forest. *R News*. 2002; 2-3: 18–22.
19. Leijnen S., van Veen F. The neural network zoo. *Proceedings*. 2020; 47 (1): 9. <https://doi.org/10.3390/proceedings2020047009>.
20. Alloghani M., Al-Jumeily D., Mustafina J., et al. A systematic review on supervised and unsupervised machine learning algorithms for data science. In: Berry M., Mohamed A., Yap B. (Eds.) *Supervised and unsupervised learning for data science*. Springer: 2020: 3–21.
21. Coates A., Lee H., Ng A.Y. An analysis of single-layer networks in unsupervised feature learning. Available at: <https://proceedings.mlr.press/v15/coates11a.html> (accessed 01.07.2024).
22. Srivastava R. Applications of artificial intelligence in medicine. *Explore Res Hypothesis Med*. 2024; 9 (2): 138–46. <https://doi.org/10.14218/ERHM.2023.00048>.
23. Halcox J.P.J., Wareham K., Cardew A., et al. Assessment of remote heart rhythm sampling using the alivecor heart monitor to screen for atrial fibrillation: the REHEARSE-AF study. *Circulation*. 2017; 136 (19): 1784–94. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.030583>.
24. Manetas-Stavarakakis N., Sotiropoulou I.M., Paraskevas T., et al. Accuracy of artificial intelligence-based technologies for the diagnosis of atrial fibrillation: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. 2023; 12 (20): 6576. <https://doi.org/10.3390/jcm12206576>.
25. Ярославская Е.И., Дьячков С.М., Горбатенко Е.А. Применение аппарата искусственных нейронных сетей в прогнозировании фибрилляции предсердий у мужчин с ишемической болезнью сердца. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2020; 35 (4): 119–27. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-4-119-127>. [Yaroslavskaya E.I., Dyachkov S.M., Gorbatenko E.A. Artificial neural networks in prediction of atrial fibrillation in men with coronary artery disease. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2020; 35 (4): 119–27 (in Russ.). <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2020-35-4-119-127>.]
26. Родионов Д.М., Карчков Д.А., Москаленко В.А. и др. Диагностика синусового ритма и мерцательной аритмии средствами искусственного интеллекта. *Проблемы информатики*. 2022; 1: 77–88. <https://doi.org/10.24412/2073-0667-2022-1-77-88>.
- [Rodionov D.M., Karachakov D.A., Moskalenko V.A., et al. Diagnosis of sinus rhythm and atrial fibrillation using artificial intelligence. *Problems of Informatics*. 2022; 1: 77–88 (in Russ.). <https://doi.org/10.24412/2073-0667-2022-1-77-88>.]
27. Christiansen M.P., Garg S.K., Brazg R., et al. Accuracy of a fourth-generation subcutaneous continuous glucose sensor. *Diabet Technol Therapeut*. 2017; 19: 446–56. <https://doi.org/10.1089/dia.2017.0087>.
28. Tahir F., Farhan M. Exploring the progress of artificial intelligence in managing type 2 diabetes mellitus: a comprehensive review of present innovations and anticipated challenges ahead. *Front Clin Diabetes Healthc*. 2023; 4: 1316111. <https://doi.org/10.3389/fcdhc.2023.1316111>.
29. Климонтов В.В., Бериков В.Б., Сайк О.В. Искусственный интеллект в диабетологии. *Сахарный диабет*. 2021; 24 (2): 156–66. <https://doi.org/10.14341/DM12665>.
- [Klimontov V.V., Berikov V.B., Saik O.V. Artificial intelligence in diabetology. *Diabetes Mellitus*. 2021; 24 (2): 156–66 (in Russ.). <https://doi.org/10.14341/DM12665>.]
30. Yang Y.J., Bang C.S. Application of artificial intelligence in gastroenterology. *World J Gastroenterol*. 2019; 25: 1666–83. <https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i14.1666>.
31. Secinaro S., Calandra D., Secinaro A., et al. The role of artificial intelligence in healthcare: a structured literature review. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2021; 21 (1): 125. <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01488-9>.
32. Longo L., Brcic M., Cabitza F., et al. Explainable Artificial Intelligence (XAI) 2.0: a manifesto of open challenges and interdisciplinary research directions. *Inform Fusion*. 2024; 106: 102301. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102301>.
33. Ahmad Z., Rahim S., Zubair M., et al. Artificial intelligence (AI) in medicine, current applications and future role with special emphasis on its potential and promise in pathology: present and future impact, obstacles including costs and acceptance among pathologists, practical and philosophical considerations. A comprehensive review. *Diagn Pathol*. 2021; 16 (1): 24. <https://doi.org/10.1186/s13000-021-01085-4>.
34. Dave T., Athaluri S.A., Singh S. ChatGPT in medicine: an overview of its applications, advantages, limitations, future prospects, and ethical considerations. *Front Artif Intell*. 2023; 6: 1169595. <https://doi.org/10.3389/frai.2023.1169595>.
35. King M.R. The future of AI in medicine: a perspective from a chatbot. *Ann Biomed Eng*. 2023; 51 (2): 291–5. <https://doi.org/10.1007/s10439-022-03121-w>.

Сведения об авторах / About the authors

Ламоткин Андрей Игоревич / Andrey I. Lamotkin – ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7930-6018>. eLibrary SPIN-code: 4170-7782.

Корабельников Даниил Иванович, к.м.н., доцент / Daniil I. Korabelnikov, PhD, Assoc. Prof. – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0459-0488>. eLibrary SPIN-code: 7380-7790.

Ламоткин Игорь Анатольевич, д.м.н., проф. / Igor A. Lamotkin, Dr. Sci. Med., Prof. – ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7707-441X>. eLibrary SPIN-code: 7153-3703. E-mail: ilamotkin@mail.ru.