

DOI: 10.56871/MTP.2023.77.51.049

УДК 616.833-005-085.2/.3-073.585+004.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДИАГНОСТИКЕ ОСТРЫХ НАРУШЕНИЙ МОЗГОВОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

© Лариса Васильевна Щеглова^{1, 4}, Алина Валерьевна Савинова¹,
Ирина Григорьевна Камышанская^{1, 3}, Никита Юльевич Харитонов²,
Ольга Валерьевна Рублева¹

¹ Городская Мариинская больница. 191014, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56

² Александровская больница. 193312, Российская Федерация, Санкт-Петербург, пр. Солидарности, д. 4

³ Санкт-Петербургский государственный университет. 199034, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9

⁴ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2

Контактная информация: Алина Валерьевна Савинова — врач-невролог палаты реанимации и интенсивной терапии 2-го неврологического отделения для пациентов с ОНМК.
E-mail: alina.v.savi@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-7036-5326 SPIN: 4202-7599

Для цитирования: Щеглова Л.В., Савинова А.В., Камышанская И.Г., Харитонов Н.Ю., Рублева О.В. Использование искусственного интеллекта в диагностике острых нарушений мозгового кровообращения (обзор литературы) // Медицина: теория и практика. 2023. Т. 8. № 4. С. 272–278. DOI: <https://doi.org/10.56871/MTP.2023.77.51.049>

Поступила: 22.08.2023

Одобрена: 23.09.2023

Принята к печати: 09.11.2023

РЕЗЮМЕ: Своевременная диагностика и выбор оптимальной стратегии лечения острых нарушений мозгового кровообращения (ОНМК) остается актуальной задачей для системы здравоохранения. В мире исследуются возможности применения искусственного интеллекта (ИИ) в диагностике множества заболеваний, в том числе ОНМК. Цель данного обзора — анализ современных представлений об использовании ИИ в диагностике острого нарушения мозгового кровообращения по компьютерно-томографическим изображениям головного мозга. Проведён анализ доступных публикаций за последние 5 лет по ключевым словам: ишемический инсульт, ОНМК, терапевтическое окно, искусственный интеллект, машинное обучение, лучевая диагностика в русскоязычной литературе (e-library) и англоязычных базах данных (PubMed, Scopus, Web of Science).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ишемический инсульт, ОНМК, терапевтическое окно, искусственный интеллект, лучевая диагностика.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIAGNOSIS OF ACUTE CEREBRAL CIRCULATION DISORDERS (LITERATURE REVIEW)

© Larisa V. Shcheglova^{1, 4}, Alina V. Savinova¹, Irina G. Kamyshanskaya^{1, 3},
Nicita Yu. Kharitonov², Olga V. Rubleva¹

¹ City Mariinsky Hospital. 191014, Russian Federation, Saint Petersburg, Liteiny pr., 56

² Alexandrovskaya Hospital. 193312, Russian Federation, Saint Petersburg, Solidarnosty pr., 4

³ Saint Petersburg State University. 199034, Russian Federation, Saint Petersburg, Universitetskaya embankment, 7–9

⁴ Saint Petersburg State Pediatric Medical University. 194100, Russian Federation, Saint Petersburg, Lithuania, 2

Contact information: Alina V. Savinova — neurologist of the intensive care unit of the 2nd neurological department for patients with stroke. E-mail: alina.v.savi@gmail.com ORCID: 0000-0002-7036-5326 SPIN: 4202-7599

For citation: Shcheglova LV, Savinova AV, Kamyshanskaya IG, Kharitonov NYu, Rubleva OV. Use of artificial intelligence in the diagnosis of acute cerebral circulation disorders (literature review). *Medicine: theory and practice* (St. Petersburg). 2023;8(4):272–278. DOI: <https://doi.org/10.56871/MTP.2023.77.51.049>

Received: 22.08.2023

Revised: 23.09.2023

Accepted: 09.11.2023

ABSTRACT: Timely diagnosis and selection of the optimal treatment strategy for acute cerebrovascular accidents (ACVA) remains an urgent task for the healthcare system. The world is exploring the possibilities of using artificial intelligence (AI) in the diagnosis of many diseases, including stroke. The purpose of this review was to analyze modern ideas about the use of AI in the diagnosis of acute cerebrovascular accident using computed tomography images of the brain. An analysis of available publications over the past 5 years was carried out using keywords — ischemic stroke, stroke, therapeutic window, artificial intelligence, machine learning, radiation diagnostics) in Russian-language literature (e-library) and English-language databases (PubMed, Scopus, Web of Science).

KEY WORDS: ischemic stroke, ACVA, therapeutic window, artificial intelligence, radiology diagnostics.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остро стоит проблема своевременной диагностики и выбора оптимальной стратегии лечения острых нарушений мозгового кровообращения (ОНМК). Согласно федеральной службе государственной статистики [1], в 2020 году зарегистрировано 6408,0 тысяч случаев заболевания цереброваскулярными болезнями, из них 1004,0 тысяч было зарегистрировано впервые. Больничная летальность от ОНМК в 2023 году составила 17,7% [3].

Мероприятия по борьбе за снижение числа случаев ОНМК входят в федеральный проект «Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями». В рамках этого проекта только в 2022 году на современное медицинское оборудование для диагностики и лечения инсультов (ангиографические установки, компьютерные и магнитно-резонансные томографы) было выделено 14 812,08 миллионов рублей [4].

Высокий уровень заболеваемости, даже в сочетании с современной техникой, является большой нагрузкой на персонал медицинских учреждений. Каждый случай требует своевременного оказания медицинской помощи, что подразумевает осмотр неврологом — не позднее 10 минут от поступления пациента в стационар, выполнение КТ- или МРТ-исследования

— не позднее 40 минут от поступления, проведение тромболизиса — не позднее 40 минут от постановки диагноза «ишемический инсульт» [2].

Одним из новейших способов борьбы за скорость и эффективность в диагностике и определении тактики лечения пациентов с ОНМК является использование искусственного интеллекта (включая глубокое и машинное обучение).

ЦЕЛЬ

Целью данного обзора явился анализ современных представлений о возможностях использования искусственного интеллекта на основе нейронных сетей в выявлении острого нарушения мозгового кровообращения по КТ-изображениям головного мозга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен анализ доступных публикаций за последние 5 лет по ключевым словам: ишемический инсульт, ОНМК, терапевтическое окно, искусственный интеллект, машинное обучение, лучевая диагностика, как в русскоязычной литературе (e-library), так и в англоязычных базах данных (PubMed, Scopus, Web of Science).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Впервые искусственный интеллект (ИИ) был описан ещё в 1950 году и представлял собой серию «если, то». До 1970 года основным приложением ИИ к медицине было создание библиографических баз медицинских статей, таких как Medical Literature Analysis and Retrieval System (MEDLARS) и PubMed. Одним из первых опытов использования ИИ в медицинских целях было создание в 1976 году системы CASNET, позволявшей консультировать пациентов с глаукомой. В это время были созданы такие диагностические системы, как MYCIN [8], программа, основанная на данных пациента, предлагающая лист возможных бактериальных патогенов и антибактериальных средств для лечения, и система DXplain [7], проводящая дифференциальную диагностику на основе введённых симптомов. Эти программы положили начало эпохе активного использования ИИ в медицине.

Спустя десятилетия ИИ оперирует куда более сложными алгоритмами, подобно работе мозга человека [10].

В перспективе ИИ сможет увеличить точность диагностики, в том числе лучевой, повысив эффективность работы врача. Благодаря сложным алгоритмам на больших объёмах медицинских данных ИИ учат выполнять конкретные диагностические задачи, например по детекции и стратификации патологии, таким образом выступая помощником врача в медицинской практике.

В литературе термины «искусственный интеллект», «машинное» и «глубокое обучение» используются как синонимы. Тем не менее стоит понимать, что глубокое обучение является областью машинного обучения, которое в свою очередь является разделом искусственного интеллекта [15].

Под искусственным интеллектом понимают использование компьютера для решения задач способами, повторяющими поведение и мышление человека. Машинное обучение является разделом науки об искусственном интеллекте, в котором используются различные алгоритмы, помогающие компьютеру обучаться без непосредственных инструкций. У машинного обучения есть ряд преимуществ, к которым относятся объективная количественная оценка, работа с большими объёмами структурированных и неструктурированных данных, возможность распознавания трудноуловимых паттернов, а также сокращение скорости выполнения работы. Глубокое обучение подразумевает ра-

боту компьютера аналогично многослойной нейронной сети [9]. В такой работе отсутствует необходимость во введении каких-либо алгоритмов, компьютер работает на основании искусственных нейросетей разной архитектуры.

Глубокое обучение лежит в основе использования ИИ для анализа лучевых изображений. Первой системой на основе глубокого обучения, которую одобрило FDA, стала система CardioAI. Изначально этот продукт анализировал МРТ сердца за несколько секунд, но сейчас он также может анализировать изображения легких, печени, костей, мышц [10].

Технологии ИИ, применяемые для анализа КТ- и МРТ-изображений пациентов с инсультами, фокусируются на автоматической оценке данных по шкале ASPECTS, автоматической постановке диагноза, автоматической сегментации поражений и определении прогноза пациента [14].

За рубежом уже доступны платные программы ИИ, облегчающие лучевую диагностику ОНМК. К наиболее известным программным продуктам этого типа относятся Aidoc, Avicenna.AI, Brainomix, RapidAI и Viz.ai (табл. 1) [15].

Как видно из таблицы 1, системы ИИ различных разработчиков по обработке КТ-перфузионного исследования головного мозга при ишемическом инсульте конкурируют по множеству параметров. В современных реалиях в России наиболее перспективным для использования, обслуживания, продления подписки на программное обеспечение (ПО) является система АрхиМед PRO Chronos.

Большинство ПО работает с КТ-изображениями, а в основе их работы лежит глубокое обучение. Эти программы предоставляют такие возможности, как установление внутричерепных кровоизлияний и окклюзии магистральных сосудов, это оценка по шкале ASPECTS, картирование коллатеральных сосудов, составление карт перфузии. Несмотря на то что функции у программ ИИ разные, общим для них является нацеленность на эффективную диагностику и сортировка пациентов для получения максимальных результатов от лечения.

Функция автоматической постановки диагноза является решением проблемы отсутствия либо загруженности нейрорадиолога (рентгенолога) при диагностике пациента с подозрением на ишемический инсульт. Алгоритмы ИИ могут дифференцировать ишемизированную ткань и интактную, а также определить артериальную окклюзию. В ходе исследования архитектуры DenseNet-121 было доказано, что дан-

Таблица 1

Сравнение различного программного обеспечения с использованием моделей машинного обучения для оценки КТ-перфузионных снимков головного мозга

	Chronos	Rapid	Olea	Brainomix	Viz.ai	Biomind	icobrain cva
Страна	Россия	США	Франция	Великобритания	США	Китай	Бельгия
Подсчет объема ядра и пенумбры	+	+	+	+	+	+	+
Отчет с указанием основных триалов (DEFUSE 3, DAWN, EXTEND)	+	Частично	–	–	–	Частично	–
Автоматический подсчет ядра для проведения ТЭ у пациентов до 90 минут	+	–	–	–	–	–	–
Расчёт дополнительных параметров (таких как HIR)	+	+	–	+	+	–	–
Перфузионные карты	+	+	+	+	+	+	+
Дополнительные карты сегментации	+	+	–	+	+	–	–
Данные о качестве исследования	Движение графики AIF/VOF, расположение AIF/VOF	Движение, графики AIF/VOF	Графики AIF/VOF	Графики AIF/VOF, расположение AIF/VOF	Графики AIF/VOF	Графики AIF/VOF	Графики AIF/VOF

ная система ИИ может быть использована для диагностики окклюзии крупных сосудов по КТ (AUC 89%, специфичность 77%) [16].

Таким образом, ИИ предоставляет возможность автоматизировать рутинные, повторяющиеся диагностические задачи. Снижение нагрузки на медицинский персонал позволяет сделать его работу более эффективной и адекватной, определив приоритетность задач. Современные программы ИИ способны не только ранжировать диагностические изображения по степени тяжести проблемы, ставя приоритетные изображения в начало очереди, но и присылать уведомления [13].

Десятибалльная шкала ASPECTS — это шкала, созданная для оценки ранних изменений при ишемическом инсульте, где 10 баллам соответствует здоровый мозг, а 0 — поражение всего бассейна СМА. В ходе исследования диагностической эффективности программы искусственного интеллекта RAPID ASPECTS была отмечена её большая точность в оценке по шкале ASPECTS в сравнении с подобным анализом рентгенолога [12].

Несмотря на ряд преимуществ, использование ИИ имеет также ряд ограничений. Основным является необходимость большого объема структурированных точных данных для обучения. Стоит понимать, что ограниченные и недостаточно разнообразные датасеты имеют прямое влияние на широту использования разработанных систем ИИ. Препятствием к получению необходимых датасетов является сложность обмена данными между медицинскими организациями.

Одним из уже существующих решений данной проблемы служат общедоступные датасеты для машинного обучения. Медицинские данные в таких датасетах анонимные и обработаны таким образом, что их можно использовать для тестирования и сравнения различных алгоритмов диагностики инсультов. Датасеты RSNA, ASFNR и ISLES разработаны для испытания разных программ искусственного интеллекта [17]. Целью подобных испытаний ИИ является международное сотрудничество и создание новых алгоритмов анализа больших данных.

Стоит также отметить, что алгоритмы, используемые для анализа больших данных, являются крайне сложными для понимания, что лежит в основе феномена «чёрного ящика». Суть этого феномена заключается в непрозрачности процесса анализа больших данных для пользователя, который не понимает, как обрабатывается медицинская информация программой ИИ. На данный момент эта проблема находит решение, так как ведётся разработка программ искусственных интеллектов объясняемых и понятных, которые нивелируют феномен «чёрного ящика» [2].

К недостаткам использования ИИ также можно отнести процесс переобучения (ошибочное распознавание, связанное с недостаточной вариабельностью данных, на которых производилось обучение) [11], вследствие которого могут появляться ложноположительные результаты. Переобучение вызвано тем, что ИИ в ходе анализа данных, на которых проводится обучение, начинает распознавать часть фоновой информации (шума) как сигнал. В результате анализа ИИ новых данных такой алгоритм показывает ошибочные результаты.

Помимо описанных выше ограничений, стоит отметить, невозможность использования иностранного программного обеспечения в России. Эта проблема возникает из-за несовместимости зарубежных программ ИИ с оборудованием российских производителей, а также отсутствием технической поддержки и сервисного обслуживания на территории Российской Федерации. Наиболее важным ограничением является то, что в России сейчас ни одна иностранная программа ИИ не имеет регистрационного удостоверения.

По указанию Президента России в настоящее время активно разрабатываются и внедряются технологии ИИ в хозяйственную деятельность страны. В 2019 году был издан указ Президента «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» № 490, в пункте 22 которого описана необходимость использования ИИ для повышения качества услуг в сфере здравоохранения (включая профилактические обследования, диагностику, основанную на анализе изображений, прогнозирование возникновения и развития заболеваний, подбор оптимальных дозировок лекарственных препаратов, сокращение угроз пандемий, автоматизацию и точность хирургических вмешательств) [6]. В 2020 году был издан федеральный проект «Искусственный интеллект», в котором к 2024 году количество медицинских изделий, медицинских инфор-

мационных систем и сервисов с применением технологий ИИ, внедренных в более 60% медицинских организациях государственной и муниципальной форм собственности, должно достигнуть 20 штук [5].

Стоит отметить, что на данный момент в России проводятся испытания программы ИИ АрхиМед, основанной на модулях интеллектуального анализа AIVORY AI. Система АрхиМед PRO Chronos используется для автоматической обработки КТ-перфузионного исследования головного мозга при ишемическом инсульте. К функциям данного программного обеспечения относятся оценка зон инфаркта мозга и ишемической полутени (пенумбры), наличия областей мозга с хронической гиперперфузией или гиперперфузионным синдромом (табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В будущем программы (системы, модули) технологий искусственного интеллекта, безусловно, станут удобным и незаменимым инструментом в работе врачей разных специальностей, позволяющим повысить точность, скорость, эффективность диагностики и лечения различных заболеваний. Как бы то ни было, есть ещё множество ограничений и препятствий, которые нужно преодолеть, чтобы успешно и повсеместно внедрить интеллектуальные компьютерные системы в здравоохранение. В России активно ведутся работы по созданию программ ИИ для медицины и, в частности, для лучевой диагностики. Разработка и внедрение отечественных программ компьютерного зрения для точной лучевой диагностики ОНМК по данным КТ головного мозга, в настоящее время актуальная и социально значимая задача, решение которой уже ведется.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Здравоохранение в России. 2021: Стат.сб./Росстат. М., 3-46 2021. 171 с.
2. Клинические рекомендации «Ишемический инсульт и транзиторная ишемическая атака у взрослых 2021». Доступно по: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/171_2 (дата обращения 01.10.2023).
3. Министерство здравоохранения Российской Федерации об итогах работы Министерства здравоохранения Российской Федерации в 2022 году и задачах на 2023 год. Доступно по: <http://medinvestclub.ru/wp-content/uploads/2023/04/Об-итогах-работы.pdf> (дата обращения 01.10.2023).
4. Паспорт федерального проекта «Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями». Доступно по: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attach/000/046/710/original/FP_Bor'ba_s_serdechno-sosudistymi_zabolevaniyami.pdf?1565344425 (дата обращения 01.10.2023).
5. Паспорт федерального проекта «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (приложение № 3 к протоколу Президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 27.08.2020 № 17).
6. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». Доступно по: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201910110003> (дата обращения 01.10.2023).
7. Barnett GO, Famiglietti KT, Kim RJ, Hoffer EP, Feldman MJ. DXplain on the Internet. Proc AMIA Symp. 1998;607-11.
8. Daniel M, Hájek P, Nguyen PH. CADIAG-2 and MYCIN-like systems. Artif Intell Med. 1997 Mar;9(3):241-59. DOI: 10.1016/s0933-3657(96)00376-4.
9. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, Dong Y, Li H, Ma S, Wang Y, Dong Q, Shen H, Wang Y. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. Stroke Vasc Neurol. 2017 Jun 21;2(4):230-243. DOI: 10.1136/svn-2017-000101.

10. Kaul V, Enslin S, Gross SA. History of artificial intelligence in medicine. Gastrointest Endosc. 2020 Oct;92(4):807-812. DOI: 10.1016/j.gie.2020.06.040.
11. Kernbach J.M., Staartjes V.E. Foundations of Machine Learning-Based Clinical Prediction Modeling: Part II-Generalization and Overfitting. Acta Neurochir Suppl. 2022;134:15-21. DOI: 10.1007/978-3-030-85292-4_3.
12. Maegerlein C., Fischer J., Mönch S., Berndt M., Wunderlich S., Seifert C.L., Lehm M., Boeckh-Behrens T., Zimmer C., Friedrich B. Automated Calculation of the Alberta Stroke Program Early CT Score: Feasibility and Reliability. Radiology. 2019 Apr;291(1):141-148. DOI: 10.1148/radiol.2019181228.
13. RapidAI Artificial Intelligence-Powered Clinical Decision Support: The Value of Contextual Data in Vascular Medicine. Доступно по: <https://www.rapidai.com/ai-powered-clinical-decision-support-for-vascular-rapid-ai> (дата обращения 01.10.2023).
14. Shafaat O., Bernstock J.D., Shafaat A., Yedavalli V.S., Elsayed G., Gupta S., Sotoudeh E., Sair H.I., Yousem D.M., Sotoudeh H. Leveraging artificial intelligence in ischemic stroke imaging. J Neuroradiol. 2022 Jun;49(4):343-351. DOI: 10.1016/j.neurad.2021.05.001.
15. Soun J.E., Chow D.S., Nagamine M., Takhtawala R.S., Filippi C.G., Yu W., Chang P.D. Artificial Intelligence and Acute Stroke Imaging. AJNR Am J Neuroradiol. 2021 Jan;42(1):2-11. DOI: 10.3174/ajnr.A6883.
16. Stib M.T., Vasquez J., Dong M.P., Kim Y.H., Subzwari S.S., Triedman H.J., Wang A., Wang H.C., Yao A.D., Jayaraman M., Boxerman J.L., Eickhoff C., Cetintemel U., Baird G.L., McTaggart R.A. Detecting Large Vessel Occlusion at Multiphase CT Angiography by Using a Deep Convolutional Neural Network. Radiology. 2020 Dec;297(3):640-649. DOI: 10.1148/radiol.2020200334.
17. Sze G., Wintermark M., Law M., Mukherjee P., Hess C. Human neuroimaging and the BRAIN initiative: a joint statement from the ASNR and ASFNR, with the support of the RSNA, ACR, ARR, and ISMRM. AJNR Am J Neuroradiol. 2014 Feb;35(2):213-4. DOI: 10.3174/ajnr.A3874.

REFERENCES

1. Healthcare in Russia. 2021: Stat.sb./Rosstat. М., 3-46 2021. 171 с.
2. Clinical guidelines «Ischemic stroke and transient ischemic attack in adults 2021». URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/171_2 (date of the application 01.10.2023).
3. Ministry of Health of the Russian Federation on the results of the work of the Ministry of Health of the Russian Federation in 2022 and tasks for 2023. URL: <http://medinvestclub.ru/wp-content/uploads/2023/04/Об-итогах-работы.pdf> (date of the application 01.10.2023).
4. Passport of the federal project "Fighting Cardiovascular Diseases". URL: <https://static-0.minzdrav.gov>

- ru/system/attachments/attaches/000/046/710/original/FP_Bor'ba_s_serdechno-sosudistymi_zabolevaniyami.pdf?1565344425 (date of the application 01.10.2023).
5. Passport of the federal project "Artificial Intelligence" of the national program "Digital Economy of the Russian Federation" (Appendix No. 3 to the protocol of the Presidium of the Government Commission on Digital Development, the use of information technologies to improve the quality of life and conditions for doing business, dated August 27, 2020 No. 17). URL: <https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/046/710> (date of the application 01.10.2023).
 6. Decree of the President of the Russian Federation dated October 10, 2019 No. 490 "On the development of artificial intelligence in the Russian Federation." URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201910110003> (date of the application 01.10.2023).
 7. Barnett GO, Famiglietti KT, Kim RJ, Hoffer EP, Feldman MJ. DXplain on the Internet. Proc AMIA Symp. 1998;607-11.
 8. Daniel M, Hájek P, Nguyen PH. CADIAG-2 and MYCIN-like systems. Artif Intell Med. 1997 Mar;9(3):241-59. DOI: 10.1016/s0933-3657(96)00376-4.
 9. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, Dong Y, Li H, Ma S, Wang Y, Dong Q, Shen H, Wang Y. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. Stroke Vasc Neurol. 2017 Jun 21;2(4):230-243. DOI: 10.1136/svn-2017-000101.
 10. Kaul V, Enslin S, Gross SA. History of artificial intelligence in medicine. Gastrointest Endosc. 2020 Oct;92(4):807-812. DOI: 10.1016/j.gie.2020.06.040.
 11. Kernbach J.M., Staartjes V.E. Foundations of Machine Learning-Based Clinical Prediction Modeling: Part II-Generalization and Overfitting. Acta Neurochir Suppl. 2022;134:15-21. DOI: 10.1007/978-3-030-85292-4_3.
 12. Maegerlein C., Fischer J., Mönch S., Berndt M., Wunderlich S., Seifert C.L., Lehm M., Boeckh-Behrens T., Zimmer C., Friedrich B. Automated Calculation of the Alberta Stroke Program Early CT Score: Feasibility and Reliability. Radiology. 2019 Apr;291(1):141-148. DOI: 10.1148/radiol.2019181228.
 13. RapidAI Artificial Intelligence-Powered Clinical Decision Support: The Value of Contextual Data in Vascular Medicine. URL: <https://www.rapidai.com/ai-powered-clinical-decision-support-for-vascular-rapidai> (date of the application 01.10.2023).
 14. Shafaat O., Bernstock J.D., Shafaat A., Yedavalli V.S., Elsayed G., Gupta S., Sotoudeh E., Sair H.I., Yousem D.M., Sotoudeh H. Leveraging artificial intelligence in ischemic stroke imaging. J Neuroradiol. 2022 Jun;49(4):343-351. DOI: 10.1016/j.neurad.2021.05.001.
 15. Soun J.E., Chow D.S., Nagamine M., Takhtawala R.S., Filippi C.G., Yu W., Chang P.D. Artificial Intelligence and Acute Stroke Imaging. AJNR Am J Neuroradiol. 2021 Jan;42(1):2-11. DOI: 10.3174/ajnr.A6883.
 16. Stib M.T., Vasquez J., Dong M.P., Kim Y.H., Subzwari S.S., Friedman H.J., Wang A., Wang H.C., Yao A.D., Jayaraman M., Boxerman J.L., Eickhoff C., Cetintemel U., Baird G.L., McTaggart R.A. Detecting Large Vessel Occlusion at Multiphase CT Angiography by Using a Deep Convolutional Neural Network. Radiology. 2020 Dec;297(3):640-649. DOI: 10.1148/radiol.2020200334.
 17. Sze G., Wintermark M., Law M., Mukherjee P., Hess C. Human neuroimaging and the BRAIN initiative: a joint statement from the ASNR and ASFNR, with the support of the RSNA, ACR, ARR, and ISMRM. AJNR Am J Neuroradiol. 2014 Feb;35(2):213-4. DOI: 10.3174/ajnr.A3874.