

Применение нейросетевых методов для анализа визуализационных исследований сердца: краткий обзор литературы

А.А. Сергиенко¹, О.Ю. Позднячкина¹, В.А. Косов¹, У.А. Данькова¹, А.И. Тухов²,
О.К. Зенин¹

¹ Пензенский государственный университет
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40

² Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова Министерства обороны РФ
194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6, литера Ж

Резюме

Сердечно-сосудистые заболевания остаются ведущей причиной инвалидизации и смертности населения. ВОЗ считает их основной причиной смерти во всем мире. В последние годы стремительно развиваются искусственный интеллект и нейронные сети, которые успешно применяются в кардиологии. Глубокое обучение становится ключевым инструментом в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний, позволяя выявлять сложные закономерности и зависимости в данных, автоматизировать процессы сегментации интересующих участков. Методы глубокого обучения способствуют точной и ранней диагностике с использованием эхокардиографии, МРТ и компьютерной томографии (КТ), что может снизить затраты системы здравоохранения. Цель работы – определить потенциал применения искусственного интеллекта, в частности глубокого обучения, в визуализационных исследованиях сердца (КТ, МРТ сердца, эхокардиографии). **Материал и методы.** Материалом для обзора явились 35 статей, опубликованных в период с 2013 по 2024 г. Поиск осуществлялся с использованием поискового запроса «deep learning AND (cardiac imaging OR CT OR cardiac MRI OR echocardiography)» в международных базах данных Scopus, PubMed и Web of Science. **Результаты.** Одним из главных лимитирующих факторов для применения визуализационных исследований с последующим нейросетевым анализом является сегментация, требующая четкого определения интересующего участка ткани. Ручной подход к сегментации имеет недостатки, такие как трудоемкость и значительная вариабельность между исследователями. Чтобы преодолеть эти ограничения, разработаны модели глубокого обучения для автоматизации процесса сегментации. Они включают обучение различных архитектур нейронных сетей на наборах данных изображений, что позволяет выполнять автоматическую сегментацию с высокой точностью и анализировать состояние миокарда. МРТ сердца дает возможность получить ценную информацию о состоянии миокарда, включая анатомию, объемы камер сердца, наличие фиброза и воспаления. Автоматическая сегментация отдельных тканей, в том числе фиброзной, позволяет более точно оценить степень выраженности и тяжести фиброза, что необходимо для стратификации риска и планирования лечения. **Заключение.** Применение глубокого обучения в анализе визуализационных исследований сердца имеет огромный потенциал для улучшения ранней диагностики и ведения заболеваний сердечно-сосудистой системы. Нейросетевые модели на основе глубокого обучения могут быть использованы как скрининговый метод для автоматизированной диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: кардиология, глубокое обучение, МРТ, компьютерная томография, эхокардиография.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Автор для переписки. Зенин О.К., e-mail: zen.olegz@gmail.com

Для цитирования. Сергиенко А.А., Позднячкина О.Ю., Косов В.А., Данькова У.А., Тухов А.И., Зенин О.К. Применение нейросетевых методов для анализа визуализационных исследований сердца: краткий обзор литературы. *Сиб. науч. мед. ж.* 2025;45(5):141–146. doi: 10.18699/SSMJ20250511

Application of artificial intelligence for cardiac imaging studies: a brief literature review

A.A. Sergienko¹, O.Yu. Pozdnyachkina¹, V.A. Kosov¹, U.A. Dankova¹, A.I. Tukhov²,
O.K. Zenin¹

¹ Penza State University

440026, Penza, Krasnaya st., 40

² Kirov Military Medical Academy of Ministry of Defense of Russia

194044, Saint-Petersburg, Academician Lebedev st., 6G

Abstract

Cardiovascular diseases remain the leading cause of disability and mortality. The WHO considers them the main cause of death worldwide. In recent years, artificial intelligence and neural networks have been rapidly developing and are successfully applied in cardiology. Deep learning has become a key tool in the diagnosis of cardiovascular diseases, allowing the identification of complex patterns and relationships in data, automating the segmentation of regions of interest. Deep learning methods contribute to accurate diagnosis using echocardiography, magnetic resonance imaging (MRI), and computed tomography (CT), which can alter the natural course of the disease and reduce healthcare costs. The aim of this work is to review the application of artificial intelligence, particularly deep learning, in cardiac imaging studies (CT, cardiac MRI, echocardiography). **Material and methods.** The material for the review consisted of 35 articles published between 2013 and 2024. The search was carried out using the search query “deep learning AND (cardiac imaging OR CT OR cardiac MRI OR echocardiography)” in the international databases Scopus, PubMed, and Web of Science. **Results.** One of the main limiting factors for the application of imaging studies with subsequent neural network analysis is segmentation, which requires a clear definition of the tissue region of interest. The manual approach to segmentation has drawbacks, such as labor intensity and significant variability between researchers. To overcome these limitations, deep learning models have been developed to automate the segmentation process. It involves training various neural network architectures on image datasets, which allows for automatic segmentation with high accuracy and analysis of myocardial status. Cardiac MRI provides valuable information about the state of the myocardium, including anatomy, heart chamber volumes, the presence of fibrosis and inflammation. Automatic segmentation of individual tissues, such as fibrous tissue, allows for a more accurate assessment of the extent and severity of fibrosis, which is necessary for risk stratification and treatment planning. **Conclusions.** The application of deep learning in the analysis of cardiac imaging studies has enormous potential for improving the early diagnosis and management of cardiovascular diseases. Deep learning-based neural network models can be used as a screening method for the automated diagnosis of cardiovascular diseases.

Key words: cardiology, deep learning, magnetic resonance imaging, computed tomography, echocardiography.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Correspondence author. Zenin O.K., e-mail: zen.olegz@gmail.com

Citation. Sergienko A.A., Pozdnyachkina O.Yu., Kosov V.A., Dankova U.A., Tukhov A.I., Zenin O.K. Application of artificial intelligence for cardiac imaging studies: a brief literature review. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal* = *Siberian Scientific Medical Journal*. 2025;45(5):141–146. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20250511

Введение

Сердечно-сосудистая патология остается ведущей причиной инвалидизации и смертности населения [1, 2]. ВОЗ считает сердечно-сосудистые заболевания основной причиной смерти во всем мире. Высокая частота встречаемости и особая тяжесть этих заболеваний требует разработки новых и улучшения существующих подходов к диагностике. В последние несколько лет стремительно развиваются искусственный интеллект и нейронные сети, которые успешно применяются в кардиологии [3, 4]. В последние годы глубокое обучение (deep learning) (ГО) стало ключевым инструментом в различных областях науки и техники, включая кардиологию, где оно способствует значительным достижениям в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний [5]. ГО представляет собой одну из наиболее передовых

технологий в области искусственного интеллекта. Оно основано на использовании нейронных сетей, которые имитируют работу человеческого мозга, позволяя компьютерам обучаться и принимать решения на основе анализа больших объемов данных. Основным принцип ГО заключается в создании многослойных нейронных сетей, где каждый слой обрабатывает информацию и передает ее следующему. Эти сети способны выявлять сложные закономерности и зависимости в данных, что делает их особенно полезными для задач, требующих высокой точности и адаптивности, таких как распознавание изображений, обработка естественного языка и диагностика заболеваний.

Методы ГО позволяют выявлять детализированные фенотипические профили ткани миокарда, что способствует точной диагностике с

использованием эхокардиографии, МРТ, компьютерной томографии (КТ). Применение таких технологий может способствовать созданию системы помощи в принятии решений, быстрой диагностике и началу лечения и тем самым изменить естественное течение болезни. Это крайне важно не только для определения прогноза заболевания и улучшения качества их жизни, но и для снижения затрат системы здравоохранения на госпитализацию [6]. Вычислительные методы могут быть использованы как для диагностики заболеваний миокарда, так и для мониторинга их прогрессирования или регрессии. Выявление признаков, изменяющихся в зависимости от тяжести заболевания, позволяет проводить точный мониторинг и индивидуализированное лечение в соответствии с реакцией пациента на проводимое лечение [7].

Цель работы – определить потенциал применения искусственного интеллекта, в частности ГО, в визуализационных исследованиях сердца (КТ, МРТ сердца, эхокардиография).

Материал и методы

Материалом для обзора явились 35 статей, опубликованных в период с 2013 по 2024 г. Поиск осуществлялся с использованием поискового запроса «deep learning AND (cardiac imaging OR CT OR cardiac MRI OR echocardiography)» в международных базах данных Scopus, PubMed и Web of Science.

Результаты и их обсуждение

Один из главных лимитирующих факторов для применения визуализационных исследований с последующим нейросетевым анализом – это сегментация, так как анализ требует четкого определения интересующего участка ткани. Ручной подход к сегментации имеет несколько весомых недостатков, к которым относятся трудоемкость, зависимость от исследователя/оператора, что неизбежно приводит к значительной вариативности между различными исследователями, а также между разными изображениями, анализируемыми одним исследователем, что снижает точность и воспроизводимость сегментации [8–10]. Таким образом, ручной подход к сегментации не является эффективным методом. Для преодоления этих ограничений были разработаны модели ГО для автоматизации процесса сегментации.

ГО включает в себя обучение различных архитектур нейронных сетей, обычно глубоких сверточных нейронных сетей, на наборах данных изображений. В контексте сегментации миокарда эти сети обучаются на вручную сегменти-

рованных изображениях, например, КТ сердца [11–13]. КТ является предпочтительным методом для скрининговых исследований населения на наличие основных заболеваний миокарда, прежде всего из-за своей низкой стоимости, широкой доступности и короткой продолжительности. Разработаны различные модели ГО сегментации миокарда левого желудочка по данным КТ. Эти модели обучены распознавать паттерны и структуры миокарда, что позволяет им выполнять автоматическую сегментацию с высокой точностью и анализировать состояние миокарда и обеспечивает применимость в различных клинических сценариях [14, 15].

Изображения, полученные с помощью МРТ сердца, широко используются при разработке алгоритмов автоматической сегментации. МРТ сердца позволяет получить ценную информацию об анатомии и объемах камер сердца, наличии интерстициального фиброза, инфильтрации веществ, отека, воспаления, а также рубцевания миокарда [16, 17]. Сегментация камер сердца с помощью МРТ дает возможность оценить глобальную функцию сердца и провести комплексную оценку его работы путем анализа объема, движения и фракции выброса камер сердца [18–20]. Способность метода оценивать региональную функцию позволяет выявить конкретные участки миокарда, которые могут быть поражены, что расширяет диагностические возможности МРТ [20–22]. Помимо определения границ всего миокарда, также может проводиться автоматическая сегментация отдельных тканей, в том числе фиброзной. Выявление наличия и сегментация фиброзной ткани миокарда представляют особый интерес, поскольку специфические паттерны фиброза связаны с кардиомиопатиями, аритмиями и ишемией миокарда [23, 24]. Точная сегментация позволяет оценить степень выраженности и тяжести фиброза, что необходимо для стратификации риска, планирования лечения и мониторинга прогрессирования или регресса заболевания [25, 26].

Благодаря анализу интерстициального фиброза можно получить информацию об этиологии заболеваний миокарда. Использование ГО значительно повышает точность и эффективность количественной оценки интерстициального фиброза миокарда. В исследовании с участием 41 505 участников UK Biobank исследователи использовали модель машинного обучения для измерения исходных значений T1 миокарда [27]. Показатель T1 (myocardial native T1) представляет собой параметр, измеряемый с помощью МРТ без использования контрастного вещества, который отражает время продольной релаксации ткани миокарда

и используется для количественной оценки его характеристик [28]. ГО позволило не только облегчить обработку больших объемов данных, но и улучшить выявление незначительных изменений, которые могут указывать на различную степень фиброза. Более высокие исходные значения T1 также были связаны с повышенным риском фибрилляции предсердий, сердечной недостаточности и смертности от всех причин [29].

Другая нейросетевая модель, применяющая ГО на данных UK Biobank, позволила обеспечить сегментацию камер сердца и полностью автоматизированный алгоритм для количественной оценки функции левого и правого желудочков примерно по 20 000 МРТ-изображениям [30]. При изучении на основе данных UK Biobank трабекул левого желудочка и их связи с сердечно-сосудистыми факторами риска, включая гипертонию, высокий индекс массы тела и низкую степень физической активности, установлено, что данные факторы способствуют увеличению трабекулярной массы [31, 32]. Модели, использующие автоматическую сегментацию на снимках МРТ сердца, улучшают сегментацию трабекулярного миокарда, обеспечивая стандартизацию и воспроизводимость измерений. Автоматизированные методы также способны выявлять незначительные изменения, что делает их бесценными для мониторинга пациентов с течением времени [31].

В анализе данных эхокардиографии применение ГО может повысить объективность и диагностическую точность метода [33]. Разработаны нейросетевые модели, позволяющие идентифицировать структуры сердца, оценивать сократительную функцию сердца и прогнозировать фенотипы на основе эхокардиографических исследований. Кроме того, модели ГО могут точно идентифицировать наличие электродов кардиостимулятора, увеличение левого предсердия, гипертрофию левого желудочка, гипертрофическую кардиомиопатию, дилатационную кардиомиопатию и перенесенный инфаркт миокарда [34, 35].

Заключение

Применение ГО в анализе визуализационных исследований сердца имеет огромный потенциал в кардиологии для улучшения ранней диагностики и ведения заболеваний сердечно-сосудистой системы. В рамках данного обзора показана применимость нейросетевых моделей в анализе изображений, в том числе сегментации и характеристики ткани. Способность алгоритмов ГО к переобучению способствует дальнейшему совершенствованию моделей, повышая их точность и

надежность. Нейросетевые модели на основе ГО могут быть использованы как скрининговый метод для автоматизированной диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы.

Список литературы / References

1. Myers L., Mendis S. Cardiovascular disease research output in WHO priority areas between 2002 and 2011. *J. Epidemiol. Glob. Health.* 2013;4(1):23–28. doi: 10.1016/j.jegh.2013.09.007
2. Wong N.D. Epidemiological studies of CHD and the evolution of preventive cardiology. *Nat. Rev. Cardiol.* 2014;11(5):276–289. doi: 10.1038/nrcardio.2014.26
3. Alqezweeni M.M., Gorbachenko V.I., Zenin O.K., Gribkov D.N., Potapov V.V., Milykh I. Early diagnoses of chronic heart failure using neural network classifier of tensiometric blood test results. In: *2022 International Conference on Data Science and Intelligent Computing (ICDSIC)*. IEEE, 2022. P. 181–185. doi: 10.1109/ICDSIC56987.2022.10076007
4. Alqezweeni M.M., Gribkov D.N., Gorbachenko V.I., Potapov V.V., Milykh I., Zenin O. Machine learning approach to the classification of tensiometric blood test results for chronic heart failure diagnosis. In: *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. IOS Press, 2024. P. 299–305. doi: 10.3233/FAIA240165
5. Athanasiou L., Nezami F.R., Edelman E.R. Computational Cardiology. *IEEE J. Biomed. Health Inform.* 2019;23(1):4–11. doi: 10.1109/JBHI.2018.2877044
6. Tsigkas G., Apostolos A., Aznaouridis K., Despotopoulos S., Chrysohoou C., Naka K.K., Davlouros P. Real-world implementation of guidelines for heart failure management: A systematic review and meta-analysis. *Hellenic J. Cardiol.* 2022;66:72–79. doi: 10.1016/j.hjc.2022.04.006
7. Chen Y., Zhang N., Gao Y., Zhou Z., Gao X., Liu J., Gao Z., Zhang H., Wen Z., Xu L. A coronary CT angiography-derived myocardial radiomics model for predicting adverse outcomes in chronic myocardial infarction. *Int. J. Cardiol.* 2024;411:132265. doi: 10.1016/j.ijcard.2024.132265
8. Guo Y., Bi L., Zhu Z., Feng D.D., Zhang R., Wang Q., Kim J. Automatic left ventricular cavity segmentation via deep spatial sequential network in 4D computed tomography. *Comput. Med. Imaging. Graph.* 2021;91:101952. doi: 10.1016/j.compmedimag.2021.101952
9. Peng P., Lekadir K., Gooya A., Shao L., Petersen S.E., Frangi A.F. A review of heart chamber segmentation for structural and functional analysis using cardiac magnetic resonance imaging. *Magn. Reson. Mater. Phys. Biol. Med.* 2016;29(2):155–195. doi: 10.1007/s10334-015-0521-4
10. Yepes-Calderon F., McComb J.G. Eliminating the need for manual segmentation to determine size and

volume from MRI. A proof of concept on segmenting the lateral ventricles. *PLoS One*. 2023;18(5):e0285414. doi: 10.1371/journal.pone.0285414

11. Li M., Zeng D., Xie Q., Xu R., Wang Y., Ma D., Shi Y., Xu X., Huang M., Fei H. A deep learning approach with temporal consistency for automatic myocardial segmentation of quantitative myocardial contrast echocardiography. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2021;37(6):1967–1978. doi: 10.1007/s10554-021-02181-8

12. Jun Guo B., He X., Lei Y., Harms J., Wang T., Curran W.J., Liu T., Jiang Zhang L., Yang X. Automated left ventricular myocardium segmentation using 3D deeply supervised attention U-net for coronary computed tomography angiography; CT myocardium segmentation. *Med. Phys.* 2020;47(4):1775–1785. doi: 10.1002/mp.14066

13. Chen C., Qin C., Qiu H., Tarroni G., Duan J., Bai W., Rueckert D. Deep learning for cardiac image segmentation: a review. *Front. Cardiovasc. Med.* 2020;7:25. doi: 10.3389/fcvm.2020.00025

14. Antonopoulos A., Tsampras T., Kalykakis G., Karamanidou T., Stavropoulos T.G., Stavropoulos C. Automatic segmentation of the left ventricular myocardium in cardiac CT Scans using AI. In: *2024 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*. Athens, 2024. P. 1–4. doi: 10.1109/ISBI56570.2024.10635185

15. Shoaib M.A., Lai K.W., Chuah J.H., Hum Y.C., Ali R., Dhanalakshmi S., Wang H., Wu X. Comparative studies of deep learning segmentation models for left ventricle segmentation. *Front. Public Health*. 2022;10:981019. doi: 10.3389/fpubh.2022.981019

16. Karamitsos T.D., Arvanitaki A., Karvounis H., Neubauer S., Ferreira V.M. Myocardial tissue characterization and fibrosis by imaging. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2020;13(5):1221–1234. doi: 10.1016/j.jcmg.2019.06.030

17. Lewis A.J.M., Burrage M.K., Ferreira V.M. Cardiovascular magnetic resonance imaging for inflammatory heart diseases. *Cardiovasc. Diagn. Ther.* 2020;10(3):598–609. doi: 10.21037/cdt.2019.12.09

18. Sun X., Cheng L.H., Plein S., Garg P., van der Geest R.J. Deep learning based automated left ventricle segmentation and flow quantification in 4D flow cardiac MRI. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2024;26(1):100003. doi: 10.1016/j.jocmr.2023.100003

19. Budai A., Suhai F.I., Csorba K., Toth A., Szabo L., Vago H., Merkely B. Fully automatic segmentation of right and left ventricle on short-axis cardiac MRI images. *Comput. Med. Imaging. Graph.* 2020;85:101786. doi: 10.1016/j.compmedimag.2020.101786

20. Shaaf Z.F., Jamil M.M.A., Ambar R., Alattab A.A., Yahya A.A., Asiri Y. Automatic left ventricle segmentation from short-axis cardiac MRI images based on fully convolutional neural network. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(2):414. doi: 10.3390/diagnostics12020414

21. Chertsias A., Papanastasiou G., Wang C., Semple S., Newby D.E., Dharmakumar R., Tsafaris S.A. Disentangle, align and fuse for multimodal and semi-supervised image segmentation. *IEEE Trans. Med. Imaging*. 2021;40(3):781–792. doi: 10.1109/TMI.2020.3036584

22. Chertsias A., Papanastasiou G., Wang C., Stirrat C., Semple S., Newby D., Dharmakumar R., Tsafaris S.A. Multimodal cardiac segmentation using disentangled representation learning. In: *Statistical Atlases and Computational Models of the Heart. Multi-Sequence CMR Segmentation, CRT-EPiggy and LV Full Quantification Challenges*. Springer International Publishing, 2020. P. 128–137. doi: 10.1007/978-3-030-39074-7_14

23. Nakamori S., Amyar A., Fahmy A.S., Ngo L.H., Ishida M., Nakamura S., Omori T., Moriwaiki K., Fujimoto N., Imanaka-Yoshida K., ... Nezafat R. Cardiovascular magnetic resonance radiomics to identify components of the extracellular matrix in dilated cardiomyopathy. *Circulation*. 2024;150(1):7–18. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.123.067107

24. Qin L., Chen C., Gu S., Zhou M., Xu Z., Ge Y., Yan F., Yang W. A radiomic approach to predict myocardial fibrosis on coronary CT angiography in hypertrophic cardiomyopathy. *Int. J. Cardiol.* 2021;337:113–118. doi: 10.1016/j.ijcard.2021.04.060

25. Wu Z.H., Sun L.P., Liu Y.L., Dong D.D., Tong L., Deng D.D., He Y., Wang H., Sun Y.B., Dong J.Z., Xia L. Fully automatic scar segmentation for late gadolinium enhancement MRI images in left ventricle with myocardial infarction. *Curr. Med. Sci.* 2021;41(2):398–404. doi: 10.1007/s11596-021-2360-z

26. Zabihollahy F., Rajan S., Ukwatta E. Machine learning-based segmentation of left ventricular myocardial fibrosis from magnetic resonance imaging. *Curr. Cardiol. Rep.* 2020;22(8):65. doi: 10.1007/s11886-020-01321-1

27. Nauffal V., Di Achille P., Klarqvist M.D.R., Cunningham J.W., Hill M.C., Pirruccello J.P., Weng L.C., Morrill V.N., Choi S.H., Khurshid S., ... Lubitz S.A. Genetics of myocardial interstitial fibrosis in the human heart and association with disease. *Nat. Genet.* 2023;55(5):777–786. doi: 10.1038/s41588-023-01371-5

28. Treiber J., Hausmann C.S., Wolter J.S., Fischer-Rasokat U., Kriechbaum S.D., Hamm C.W., Nagel E., Puntmann V.O., Rolf A. Native T1 is predictive of cardiovascular death/heart failure events and all-cause mortality irrespective of the patient's volume status. *Front. Cardiovasc. Med.* 2023;10:1091334. doi: 10.3389/fcvm.2023.1091334

29. Raisi-Estabragh Z., McCracken C., Hann E., Condurache D.G., Harvey N.C., Munroe P.B., Ferreira V.M., Neubauer S., Piechnik S.K., Petersen S.E. Incident clinical and mortality associations of myocardial native T1 in the UK Biobank. *JACC Cardio-*

vasc. Imaging. 2023;16(4):450–460. doi: 10.1016/j.jcmg.2022.06.011

30. Raisi-Estabragh Z., Harvey N.C., Neubauer S., Petersen S.E. Cardiovascular magnetic resonance imaging in the UK Biobank: a major international health research resource. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2021;22(3):251–258. doi: 10.1093/ehjci/jeaa297

31. Aung N., Bartoli A., Rausedo E., Cortaredona S., Sanghvi M.M., Fournel J., Ghattas B., Khanji M.Y., Petersen S.E., Jacquier A. Left ventricular trabeculations at cardiac mri: reference ranges and association with cardiovascular risk factors in UK Biobank. *Radiology.* 2024;311(1):e232455. doi: 10.1148/radiol.232455

32. Woodbridge S.P., Aung N., Paiva J.M., Sanghvi M.M., Zemrak F., Fung K., Petersen S.E. Physical activity and left ventricular trabeculation in the UK Biobank community-based cohort

study. *Heart.* 2019;105(13):990–998. doi: 10.1136/heartjnl-2018-314155

33. Kwan A.C., Chang E.W., Jain I., Theurer J., Tang X., Francisco N., Haddad F., Liang D., Fábíán A., Ferencz A., ... Ouyang D. Deep learning-derived myocardial strain. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2024;17(7):715–725. doi: 10.1016/j.jcmg.2024.01.011

34. Liu B., Chang H., Yang D., Yang F., Wang Q., Deng Y., Li L., Lv W., Zhang B., Yu L., Burkhoff D., He K. A deep learning framework assisted echocardiography with diagnosis, lesion localization, phenogrouping heterogeneous disease, and anomaly detection. *Sci. Rep.* 2023;13(1):3. doi: 10.1038/s41598-022-27211-w

35. Ghorbani A., Ouyang D., Abid A., He B., Chen J.H., Harrington R.A., Liang D.H., Ashley E.A., Zou J.Y. Deep learning interpretation of echocardiograms. *NPJ Digit. Med.* 2020;3(1):10. doi: 10.1038/s41746-019-0216-8

Сведения об авторах:

Сергиенко Анна Альбертовна, ORCID: 0009-0005-1380-8767, e-mail: anya.gurieva00@mail.ru

Позднячкина Ольга Юрьевна, ORCID: 0009-0001-2851-1836, e-mail: olapozdnyachkina@mail.ru

Косов Владимир Александрович, ORCID: 0009-0006-5003-6388, e-mail: kosov-va@mail.ru

Данькова Ульяна Алексеевна, ORCID: 0009-0008-6288-1719, e-mail: dannnkova@gmail.com

Тухов Андрей Игоревич, ORCID: 0009-0005-3433-8119, e-mail: rgss2@mail.ru

Зенин Олег Константинович, д.м.н., проф., ORCID: 0000-0002-5447-1989, e-mail: zen.olegz@gmail.com

Information about the authors:

Anna A. Sergienko, ORCID: 0009-0005-1380-8767, e-mail: anya.gurieva00@mail.ru

Olga Yu. Pozdnyachkina, ORCID: 0009-0001-2851-1836, e-mail: olapozdnyachkina@mail.ru

Vladimir A. Kosov, ORCID: 0009-0006-5003-6388, e-mail: kosov-va@mail.ru

Uliana A. Dankova, ORCID: 0009-0008-6288-1719, e-mail: dannnkova@gmail.com

Andrei I. Tukhov, ORCID: 0009-0005-3433-8119, e-mail: rgss2@mail.ru

Oleg K. Zenin, doctor of medical sciences, professor, ORCID: 0000-0002-5447-1989, e-mail: zen.olegz@gmail.com

Поступила в редакцию 25.04.2025

Принята к публикации 03.09.2025

Received 25.04.2025

Accepted 03.09.2025