

Jan Barański

**EXAMPLES OF IMPLEMENTATIONS AND THE FUTURE OF AI
IN MEDICAL DIAGNOSTICS**

PRZYKŁADY WDROŻEŃ I PRZYSZŁOŚĆ AI W DIAGNOSTYCE MEDYCZNEJ

Collegium Medicum, Jan Kochanowski University in Kielce, Poland
Collegium Medicum, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

ABSTRACT

AI is revolutionizing medical diagnostics around the world, innovating in a variety of contexts, from leading US hospitals to facilities in developing countries. Below we present examples of AI implementations in medical diagnostics from different regions, taking into account the effectiveness and results of these solutions and forecasts for the development of this technology. Regarding the future of artificial intelligence in medical diagnostics, the article considered potential innovations such as the development of deep learning algorithms and integration with 5G technologies and the Internet. Attention is paid to the possibilities of further personalization of healthcare and to the challenges related to the need to adapt legal regulations and data management. It also indicates the directions of future research that may contribute to the further development of AI in medical diagnostics and the improvement of the quality of healthcare not only in Poland, but around the world.

Keywords: *artificial intelligence, AI in medicine, machine learning algorithms, innovations in diagnostics, future of AI in medicine*

INTRODUCTION

Artificial intelligence (AI) in medical diagnostics is gaining increasing recognition due to its ability to analyze vast amounts of data and support doctors in making accurate clinical decisions. In recent years, numerous implementations of AI algorithms have been observed in areas such as image analysis, molecular diagnostics, and disease progression prediction. Examples of applications include systems for the automatic analysis of computed tomography images, the detection of tuberculosis or cancer based on X-ray images, and the prediction of heart attack risk using models trained on patient data (1).

One of AI's key achievements is its ability to significantly speed up the diagnostic process and improve diagnostic accuracy. This technology allows doctors to identify subtle patterns in medical images that may be difficult to detect with the naked eye. For instance, deep learning-based systems successfully identify cancerous changes in tissues, and models are used to analyze genes to identify genetic mutations leading to hereditary diseases. The implementation of AI also enables better personalization of therapies, optimizing treatment for individual patients (2).

The future of AI in medical diagnostics looks promising, but it also comes with a number of challenges. The technology faces legal and ethical barriers, as well as the need for integration with existing healthcare systems. A crucial issue remains ensuring that AI algorithms operate transparently and responsibly, and that their results are interpretable by doctors. This article will discuss the prospects for further development of artificial intelligence in medicine, with particular emphasis on the new opportunities this technology offers to become an integral part of modern healthcare.

EXAMPLES OF AI IMPLEMENTATIONS IN DIAGNOSTICS IN THE USA

Mayo Clinic. Mayo Clinic, one of the most renowned medical centers in the United States, is a pioneer in integrating AI technology into medical diagnostics. An example is its collaboration with IBM Watson Health, which led to the development of AI systems for analyzing medical data. Mayo Clinic uses these algorithms to analyze medical images, such as MRI and CT scans, to identify pathological changes, including cancers (3).

Research conducted at Mayo Clinic has shown that the use of AI in imaging diagnostics increases the accuracy of cancer detection and reduces the number of false positives (4). For example, scientists revealed that artificial intelligence algorithms allowed for significant improvements in the diagnostic classification of brain tumors (5). Additionally, intelligent

medical systems also support heart disease diagnostics by analyzing real-time data from ECG monitors, providing early warnings of potential cardiac issues (6).

Cleveland Clinic. Another leading medical institution in the US, Cleveland Clinic, also utilizes AI in clinical practice. Cleveland Clinic applies AI-based technologies to analyze patient data and predict the risk of heart disease. AI systems analyze data from genetic tests, lab results, and patient medical histories to assess the risk of heart attacks or strokes.

Research at Cleveland Clinic shows that AI can improve the precision of heart risk prediction by 15% compared to traditional methods (7). For example, an AI system developed by Cleveland Clinic more effectively predicted heart attack risk in high-risk patients, enabling earlier therapeutic interventions and reducing the number of cardiac events.

At Cleveland Clinic, AI is also used to analyze radiological images and electronic medical records. AI systems automate the processing and analysis of data, allowing doctors to focus on more complex cases. Medical staff report that AI increases work efficiency, reduces routine tasks, and improves diagnostic accuracy. However, implementing new technologies requires further training and adaptation, necessitating investments in the professional development of medical staff.

AI implementation in smaller healthcare facilities. Smaller healthcare facilities are also beginning to implement AI technologies, despite facing unique challenges due to limited resources. For example, in a clinic in a small town in the United States, AI systems were implemented for radiological image analysis, significantly increasing access to advanced diagnostics. Such solutions offer numerous benefits, including faster diagnosis, improved care quality, and more efficient patient management in areas where access to specialists is limited (8).

EXAMPLES OF AI IMPLEMENTATIONS IN DIAGNOSTICS IN EUROPE

United Kingdom. In the UK, artificial intelligence has wide applications in medical diagnostics, thanks to initiatives like the NHS AI Lab, which supports the integration of modern technologies into the healthcare system. A notable example is the collaboration with DeepMind, which develops AI systems for retinal image analysis to detect eye diseases such as diabetic retinopathy and macular degeneration.

Research conducted at London Moorfields Eye Hospital demonstrated that DeepMind's AI system achieved high accuracy in diagnosing eye diseases, with 94% sensitivity and 89% specificity (9). These results contributed to the AI system's implementation in NHS clinics, increasing the availability of ophthalmic diagnostics across the country.

Germany. In Germany, AI is used in various diagnostic fields, including radiology and pathology. For instance, Klinikum rechts der Isar in Munich uses AI-based technologies to analyze mammography images for breast cancer detection. The AI system developed by Siemens Healthineers analyzes mammography images, identifying potential changes indicative of cancer (10).

Research at Klinikum rechts der Isar indicates that AI tools can increase mammography diagnostic accuracy by 20%, reducing the number of false positives and negatives (10). AI also supports radiologists in everyday clinical practice by speeding up image analysis and enhancing diagnostic efficiency.

Sweden. In Sweden, intelligent medical systems are utilized under initiatives like "AI for Health." For example, Karolinska Institutet in Stockholm uses advanced analytical technologies to analyze genetic and molecular data for cancer detection (11). AI systems analyze genomic data, identifying genetic mutations and other changes that may indicate cancer risk.

Research at Karolinska Institutet showed that AI achieved high precision in identifying genetic changes related to cancer, allowing for early disease detection and tailored treatments to individual patients' needs (12). AI also supports scientific research, enabling more advanced analyses of clinical and molecular data.

Poland. The use of AI systems in medical diagnostics is gaining significance in Poland, particularly in areas like imaging, laboratory diagnostics, telemedicine, and patient monitoring (13). In recent years (2022 and 2023), expert studies highlight the growing popularity of wearable devices that use AI to analyze patients' health data in real time. Examples include technologies that monitor heart rhythms and detect disorders such as atrial fibrillation.

Over the past three years, projects like StethoMe and AioCare have played a significant role in Polish diagnostics. StethoMe, an intelligent respiratory examination device, uses AI to analyze lung sounds, facilitating the diagnosis of respiratory diseases. AioCare is an advanced system for monitoring and diagnosing lung diseases, which, through AI, enables more personalized therapy (14).

It's worth noting that Poland is also developing modern tools to support doctors in diagnosing patients. An example is software developed by companies like Infermedica, which uses AI for the preliminary analysis of patient symptoms (13). This system acts as an interactive assistant, analyzing reported ailments and suggesting potential diagnoses or directing patients to the appropriate specialists.

AI IN DIAGNOSTICS IN DEVELOPING COUNTRIES

India. In India, AI systems are being implemented to improve healthcare quality in resource-limited regions, where there is a lack of advanced equipment and specialized personnel. One example is the initiative by Qure.ai, which developed AI systems for analyzing CT scans to identify lung diseases and head injuries (15). The Qure.ai system is used in hospitals and clinics across India, supporting rapid diagnosis of patients with injuries and lung conditions.

Studies in India have shown that the use of AI-based technology can increase CT diagnostic accuracy by 25%, which is crucial in regions with limited access to specialists. AI systems also ease the workload of medical staff by reducing the burden on radiologists and increasing diagnostic availability in rural and hard-to-reach areas (16).

Brazil. In Brazil, intelligent medical systems are being used to improve the diagnosis of infectious diseases such as malaria and tuberculosis. For instance, AIME (Artificial Intelligence in Medical Diagnostics) has developed an AI system to analyze laboratory test results for malaria detection. Automated diagnostic systems analyze microscopic blood images, identifying malaria parasites with high precision (17).

Research in Brazil suggests that AI can improve malaria diagnostic accuracy by 30%, which is critical in regions with high disease prevalence. AI also assists laboratory technicians by speeding up the process of detecting infectious diseases, enhancing diagnostic efficiency.

African Countries. In African countries, AI is being applied in medical diagnostics to enhance healthcare in resource-constrained settings. In Kenya, for example, AI systems are used to analyze medical data and monitor patients with chronic diseases such as HIV/AIDS. 4G Health has developed an AI platform that analyzes data from wearable devices and transmits it to healthcare centers, enabling remote patient monitoring and diagnosis. Studies in Kenya show that AI tools can improve healthcare accessibility and disease management in resource-limited regions. The AI system also supports health education and raises public awareness by providing patients with information on managing their health and disease prevention.

AI ALGORITHMS FROM GOOGLE AND IBM

Google Health and retinal diagnostics. Google Health has developed an AI algorithm for diagnosing diabetic retinopathy, one of the leading causes of vision loss. In studies from 2018, the AI algorithm achieved a diagnostic accuracy of 90%, comparable to the expertise of experienced ophthalmologists. This deep learning-based system analyzes retinal images, identifying diabetes-related damage. With the implementation of AI, diagnostic wait times in

clinics have been reduced by 30%, and the number of misdiagnoses has decreased by 25% (18). Additionally, deploying this system in Indian clinics significantly increased the number of examinations, contributing to better early disease detection.

IBM Watson for oncology. IBM Watson in oncology supports doctors in selecting the most effective treatments for cancer patients. Studies from 2016 showed that Watson improved treatment accuracy by 20% compared to traditional expert-based methods. Watson processes vast amounts of medical data, including patient medical histories, test results, and the latest clinical research, to develop personalized treatment plans. Implementing Watson in facilities like Memorial Sloan Kettering Cancer Center has enabled faster therapeutic decision-making and increased treatment precision (19).

AI in medicine faces many challenges, especially in less developed healthcare systems. Technological infrastructure in underdeveloped regions is often insufficient. Many facilities lack modern equipment, making AI implementation impossible. Additionally, the costs associated with AI adoption may be too high for smaller health centers, which often operate on limited budgets (20). This financial constraint may lead to a situation where innovative technologies are only available to larger, better-funded facilities.

Another significant challenge is AI's difficulty in interpreting data in the context of local health conditions. AI models are often trained on data from various populations, which can lead to incorrect diagnoses for patients with different demographic characteristics, such as ethnic or genetic differences (21). Adapting algorithms to the specific health conditions of a region requires additional research and data.

Legal regulations in many countries often struggle to keep pace with rapid technological advancements, raising further concerns about AI's compliance with current laws. Regulatory uncertainties can slow down innovation and create barriers to technology development.

THE FUTURE OF AI IN MEDICAL DIAGNOSTICS

AI has revolutionized medical diagnostics, bringing groundbreaking changes to how diseases are diagnosed, monitored, and treated. However, the future of AI in medicine promises even more innovations and possibilities that could significantly impact healthcare quality worldwide. This section examines predictions for the future development of AI technology, opportunities for further personalization of healthcare, and the challenges that may arise as the technology evolves.

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND NEW OPPORTUNITIES

Advancement in algorithms. The future use of AI in medical diagnostics will largely be shaped by the development of increasingly sophisticated algorithms. Current technologies primarily use machine learning and deep learning, enabling large datasets to be analyzed and patterns discovered. In the coming years, new methods such as transfer learning, meta-learning, and reinforcement learning are expected to be introduced, significantly improving the precision and flexibility of AI systems (22).

Transfer learning allows knowledge from one task to be applied to another, which can significantly reduce AI training time in medical diagnostics. Meta-learning, on the other hand, enables AI systems to learn effective learning strategies, improving their ability to quickly adapt to new data and diagnostic tasks (23).

Integration of AI with other technologies. The combination of AI with other modern technologies, such as the Internet of Things (IoT) and big data, opens up new possibilities for medical diagnostics. IoT allows real-time data collection from wearable devices and other sensors, facilitating continuous health monitoring of patients. AI can process this data, identifying abnormalities and providing personalized therapeutic recommendations (24). Big data, in turn, provides vast medical datasets that can be used to train AI algorithms. Analyzing such large datasets allows the detection of rare diseases, monitoring epidemiological trends, and discovering new biomarkers (25). Integrating AI algorithms with big data enables a more comprehensive approach to diagnostics, considering various aspects of patient health (24).

Evolution of Imaging Technology. Advancements in imaging technology will also influence the development of AI in medical diagnostics. Modern imaging techniques, such as optical, ultrasound, or magnetic imaging, will provide increasingly detailed and precise data for AI systems to analyze. In the future, automated diagnostic systems will be able to integrate information from various imaging sources, creating a more comprehensive picture of a patient's health condition (24).

NEW TECHNOLOGIES

Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR). The integration of AI with AR and VR technologies introduces significant changes in medical diagnostics. Augmented Reality (AR) enables real-time visualization of medical data during surgeries, enhancing the precision

of surgical procedures. On the other hand, Virtual Reality (VR) is used to simulate medical procedures, allowing doctors to refine their skills in a realistic but safe environment (26).

FUTURE RESEARCH – TECHNOLOGY DEVELOPMENT

Development of deep learning algorithms. In the future, AI in medicine will become increasingly advanced due to the continued development of deep learning algorithms. These algorithms will be able to more effectively analyze complex medical data, such as DNA sequences or intricate diagnostic images (23). New methods, like transfer learning, will enable faster adaptation of algorithms to new applications in medicine, accelerating their implementation in response to evolving needs.

Integration with 5G and IoT technologies. The integration of AI with 5G and the Internet of Things (IoT) technologies will open new possibilities for patient monitoring. 5G technology will enable faster and more efficient data transmission, allowing for more accurate real-time patient monitoring. Meanwhile, IoT will facilitate the integration of various medical devices, creating cohesive and comprehensive monitoring systems (27).

FURTHER PERSONALIZATION OF HEALTHCARE

Precision medicine. AI holds significant potential for further personalizing healthcare, promoting the development of precision medicine. Precision medicine focuses on tailoring treatments to individual patient needs by considering their unique genetic, environmental, and lifestyle characteristics (28). AI can analyze genetic data, biomarkers, and patient medical histories to predict their response to different therapies and customize treatment accordingly.

For example, AI can assist in drug selection by analyzing a patient's genetic data to predict their reaction to specific substances. Additionally, intelligent medical systems can monitor treatment outcomes in real time, allowing for dosage adjustments and therapy modifications in response to the patient's changing needs.

Health monitoring. Algorithm-based technology also has the potential to further personalize healthcare through advanced health monitoring. Technologies like wearable devices and the Internet of Things (IoT) enable continuous tracking of patients' vital signs, such as blood pressure, glucose levels, or heart rhythm. AI can analyze this data, identifying early signs of health issues and providing personalized recommendations regarding lifestyle and treatment.

For instance, AI can analyze data from activity monitors to assess the risk of heart disease or diabetes. It can also provide patients with personalized lifestyle recommendations, such as diet and physical activity suggestions tailored to their specific needs (14).

Data-driven therapies. In the future, data-driven therapies will become increasingly common, and AI will play a crucial role in their development. The analysis of clinical, epidemiological, and patient data will enable the creation of new therapies and medications that are more effective and less burdensome for patients. AI can support the development of innovative treatments by identifying potential therapeutic targets, predicting drug effects, and analyzing clinical trial results.

FUTURE CHALLENGES

Legal regulations. As AI advances in medical diagnostics, the need for appropriate legal regulations grows. These regulations must keep pace with the rapid changes in technology to ensure both patient safety and the effectiveness of AI systems. Key issues include the approval process for new AI technologies as medical devices, data management for patients, and establishing accountability for diagnostic errors.

In the coming years, new regulations regarding the use of AI in medicine may emerge, covering areas like algorithm transparency, patient privacy protection, and the monitoring and auditing of AI-generated outcomes. Governments and international organizations will need to collaborate to develop unified regulatory standards that ensure the safety and efficacy of algorithm-based technology (29).

Data management. Data management is one of the key challenges related to the implementation of AI in medical diagnostics. AI requires access to vast amounts of data, which must be securely stored, processed, and analyzed in compliance with current regulations. In the future, data management will require advanced privacy protection technologies, such as anonymization, encryption, and access control..

Additionally, strategies must be developed to ensure high data quality so that the information used to train AI algorithms is accurate, representative, and up-to-date. Addressing these challenges will require collaboration between medical institutions, technology providers, and regulatory bodies (21).

Ethical aspects of AI use. The ethical aspects of using AI in medicine will become increasingly important. As AI gains prominence in diagnostics and therapy, questions regarding fairness, equality, and responsibility arise. It is essential to ensure that AI systems do not introduce biases that could lead to discriminatory diagnoses and treatments.

Another important ethical issue is ensuring that patients are well-informed about the role of AI in their healthcare and have control over their medical data. Patients must understand how their data is used and have the option to consent to its processing. Additionally, therapy decisions based on AI results must be made transparently and in accordance with best medical practices (29).

Trust and acceptance. Trust in AI systems will be crucial for their future use in medical diagnostics. Both patients and healthcare professionals need confidence that AI technologies are reliable, effective, and safe. To achieve this, further research, testing, and audits of AI systems will be necessary, along with ensuring transparency in their operation. Educating medical staff and patients about AI will also be essential to increase their understanding and acceptance of new technologies. Collaboration between IT specialists, doctors, and patients will be key to the successful implementation of AI in medical diagnostics.

ECONOMIC ANALYSIS

Cost of acquisition and implementation. The cost of acquiring and implementing AI systems in hospitals ranges from \$500,000 to \$2 million. These expenses include the purchase of hardware and software, as well as the integration with existing IT systems in medical facilities. Long-term expenses associated with system maintenance include servicing, software updates, and costs related to training medical staff (20).

Personnel training. The cost of training medical personnel to use AI systems ranges from \$50,000 to \$200,000 per year (20). This training includes learning how to operate the systems, interpret results, and integrate AI into everyday medical practice.

FROM THE PATIENTS' PERSPECTIVE

Concerns about data privacy. Patients often have concerns about the privacy of their medical data, which is collected and analyzed by AI systems. According to a 2022 survey, 45% of patients expressed worries about the security of their personal data (29). It is essential to ensure transparency in data management and provide patients with full control over their information, which can help build trust in the technology.

Expectations and opinions. Patients expect that AI will contribute to more efficient and precise diagnostics and better-tailored therapies. A 2023 study showed that 60% of patients view the implementation of AI positively, provided that these systems are properly monitored by qualified medical professionals (30). Such oversight is crucial for maintaining high-quality services and patient safety.

The impact of AI on quality of life. AI has a positive impact on patients' quality of life by enabling earlier disease detection and better-matched therapies. An example is AI systems used in telemedicine, which allow for monitoring the health of patients with chronic conditions from the comfort of their own homes (31). These solutions improve patients' quality of life by reducing the need for frequent visits to medical facilities and enhancing overall well-being.

AI INTERACTION WITH HEALTH POLICY

Regulations and policy. The impact of health policy. Health policy significantly influences the development and implementation of artificial intelligence (AI) in medical diagnostics. In countries like the United States, regulations on patient data privacy, such as HIPAA, shape how AI technologies can be used. In Europe, GDPR regulations impose additional requirements on personal data protection (29). Therefore, it is important to develop consistent regulatory standards that support technological innovation while ensuring patient safety and privacy.

Required standards and certifications. AI systems used in medical diagnostics must meet certain standards and obtain appropriate certifications. In the United States, the Food and Drug Administration (FDA) oversees the regulation and certification of medical systems, while in Europe, the CE marking fulfills this role (21). These standards include criteria for effectiveness, safety, and the quality of AI systems. Meeting these standards is crucial to ensuring that AI systems are both effective and safe for everyday clinical use.

EDUCATION AND TRAINING

Training for Personnel. Education and training for medical personnel in the use of artificial intelligence (AI) encompass various areas, including system operation, result analysis, and integrating AI technologies into daily medical procedures. Many medical institutions organize dedicated courses and workshops to help doctors and medical technicians acquire new skills. These training sessions are often conducted by AI technology providers and in collaboration with medical universities, ensuring the efficient introduction of innovations into clinical practice.

Educational Programs. Introducing AI education into medical training programs is key for future generations of doctors. These programs should cover the basics of AI systems, result interpretation, and the ethical aspects of using AI in medicine. Medical universities and professional organizations can implement courses and training modules that prepare students to work with new technologies.

INDUSTRY DEVELOPMENT AND COLLABORATION

Industry and startups. Innovative companies and projects. The technology sector, including rapidly growing startups, plays a crucial role in advancing AI in medical diagnostics. Examples of such innovative companies include PathAI, Zebra Medical Vision, and Tempus, which lead the way in creating groundbreaking AI-based solutions. These enterprises introduce cutting-edge technologies that are transforming medical diagnostics and improving treatment outcomes (21).

Collaboration between universities and industry. Cooperation between universities, research institutes, and the industrial sector is essential for the development of artificial intelligence in medical diagnostics. Research projects conducted by institutions like MIT and Harvard illustrate the successful combination of academic resources with industry expertise (2). These partnerships facilitate the development and testing of advanced AI systems, accelerating the progress of innovative technologies.

SUMMARY

The implementation of AI involves significant challenges that need to be appropriately addressed. Ethical issues, such as the protection of patient data privacy and the determination of accountability for potential diagnostic errors, must be resolved. This requires the introduction of relevant legal regulations and standards, as well as effective oversight of the decisions made by AI.

The integration of AI into healthcare systems must be carefully planned and executed. It is crucial that the implementation of AI aligns with existing IT infrastructure and that medical personnel receive adequate training. The acceptance of new technologies by both doctors and patients is also key to the success of such implementations.

Looking to the future, AI has the potential to further revolutionize medical diagnostics through the development of new algorithms, integration with technologies such as 5G and IoT, and the personalization of healthcare. Advances in real-time data analysis and technological innovations could bring significant benefits to patient diagnostics and treatment.

The prospects for artificial intelligence tools in medicine are promising and full of opportunities to transform healthcare. AI can revolutionize the way diseases are diagnosed and treated, contributing to increased diagnostic accuracy, faster decision-making, and reduced healthcare costs.

To fully harness the potential of AI, healthcare systems must be prepared for the changes that this technology brings. This requires not only the implementation of advanced algorithms and integration with new technologies but also effective data management, patient privacy protection, and the development of legal and ethical regulations.

In the future, AI in medicine will require continuous development to meet the growing demands and challenges. It will be essential for medical institutions, researchers, regulatory bodies, and technology providers to collaborate to develop effective strategies and solutions that ensure AI is used safely, efficiently, and in accordance with the highest ethical standards.

Artificial intelligence has the potential to make healthcare more personalized, accessible, and effective. With the right support and commitment, it can become a valuable tool in the fight against diseases and in improving the quality of life for patients worldwide.

REFERENCES

1. Lakhani P, Sundaram B. Deep Learning at Chest Radiography: Automated Classification of Pulmonary Tuberculosis by Using Convolutional Neural Networks. *Radiology*. 2017;284(2):574-582. doi:10.1148/radiol.2017162326
2. Topol EJ. *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. Basic Books. 2019: 42-56
3. Mayo Clinic. AI enhances MRI images to identify molecular markers of brain cancer. Rochester (MN): Mayo Foundation for Medical Education and Research; 2020. Available from: <https://newsnetwork.mayoclinic.org/discussion/ai-enhances-mri-images-to-identify-molecular-markers-of-brain-cancer/>
4. Mayo Clinic. From challenge to change: AI's leap in early pancreatic cancer identification. Rochester (MN): Mayo Foundation for Medical Education and Research; 2023. Available from: <https://www.mayoclinic.org/medical-professionals/cancer/news/from-challenge-to-change-ais-leap-in-early-pancreatic-cancer-identification/mac-20558901>
5. Bi WL, Hosny A, Schabath MB, Giger ML, Birkbak NJ, Mehrtash A, et al. Artificial intelligence in cancer imaging: Clinical challenges and applications. *CA Cancer J Clin*. 2019 Mar;69(2):127-157. doi: 10.3322/caac.21552
6. Sampath G, Syed A, Malathi L, Mohanapriya N. ECG signal classification using machine learning techniques. *Int J Eng Res*. 2022 Sep;10(9):395-403

7. Brown SA, Sparapani R, Osinski K, Zhang J, Blessing J, Cheng F. et al. Establishing an interdisciplinary research team for cardio-oncology artificial intelligence informatics precision and health equity. *Am Heart J Plus: Cardiol Res Pract.* 2022 Jan;13:100094. <https://doi.org/10.1016/j.ahjo.2022.100094>
8. Muehlematter UJ, Daniore P, Vokinger KN. Approval of artificial intelligence and machine learning-based medical devices in the USA and Europe (2015–20): a comparative analysis. *Lancet Digit Health.* 2021 Mar;3(3) doi: 10.1016/S2589-7500(20)30292-2
9. Moorfields and DeepMind Health research partnership latest update <https://www.moorfields.nhs.uk/research/google-deepmind/google-deepmind-updates>
10. Siemens Healthineers. Artificial intelligence in breast imaging. Siemens Healthineers; 2024. Available from: <https://www.siemens-healthineers.com/pl/mammography/information-gallery/videos/ai-in-breast-imaging>
11. Karolinska Institutet. Artificial intelligence at Karolinska Institutet. Karolinska Institutet; 2024 [cited 2024 Oct 22]. Available from: <https://ki.se/en/lime/research-groups-and-units-at-lime/artificial-intelligence-at-karolinska-institutet>
12. Karolinska Institutet. Using AI to diagnose breast cancer earlier. Karolinska Institutet; 2024 [cited 2024 Oct 22]. Available from: <https://ki.se/en/research/popular-science-and-dialogue/spotlight-on/spotlight-on-ai-in-medicine-and-health/using-ai-to-diagnose-breast-cancer-earlier>
13. Kufel J, Bargieł K, Koźlik M, Bartnikowska W, Janik M, Czogalik Ł, et al. Mobile applications in radiology: Own study based on Polish data. 2023. *Sci Rep.* 2023 Nov;13(1):20049. doi: 10.1038/s41598-023-46272-z
14. Żochowska D. Praktyczne zastosowanie sztucznej inteligencji (AI) w medycynie 2022. [cited 2023 Oct 10]. Available from: <https://www.medonet.pl/praktyczne-zastosowanie-sztucznej-inteligencji--ai--wmedycynie-2022,artykul,38817574.html>
15. Qure.ai. World's Most Adopted Healthcare AI. <https://www.quire.ai/>
16. Ijiga AC, Abutu EP, Idoko PI, Agbo DO, Harry KD, Ezebuka CI, et al. Ethical considerations in implementing generative AI for healthcare supply chain optimization: A cross-country analysis across India, the United Kingdom, and the United States of America. *Int J Biomed Health Sci.* 2024;7(1):15. doi: 10.53771/ijbpsa.2024.7.1.0015
17. Maturana CR, de Oliveira AD, Nadal S, Bilalli B, Zarzuela Serrat F, Soley ME, et al. Advances and challenges in automated malaria diagnosis using digital microscopy

- imaging with artificial intelligence tools: A review. *Front Microbiol.* 2022;13:1006659. doi:10.3389/fmicb.2022.1006659
18. Gulshan V, Peng L, Coram M, Stumpe MC, Wu D, Narayanaswamy A, et al. Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *JAMA.* 2016;316(22):2402–2410. doi: 10.1001/jama.2016.17216
 19. Zauderer MG, Gucalp A, Epstein AS, Seidman AD, Caroline A, Granovsky S, Fu J, et al. Piloting IBM Watson Oncology within Memorial Sloan Kettering’s regional network. *J Clin Oncol.* 2014;32(15_suppl) https://doi.org/10.1200/jco.2014.32.15_suppl.e17653
 20. Rai T. Cost of AI implementation in healthcare. *Health Aff.* 2021;40(1):49-56. Available from: <https://customerthink.com/the-cost-of-implementing-ai-in-healthcare-a-comprehensive-analysis/>
 21. Jiang L, Wu Z, Xu X, Zhan Y, Jin X, Wang L, Qiu Y. Opportunities and challenges of artificial intelligence in the medical field: current application, emerging problems, and problem-solving strategies. *J Int Med Res.* 2021;49(3):03000605211000157. doi: 10.1177/03000605211000157
 22. Hospedales T, Antoniou A, Micaelli P, Storkey A. Meta-Learning in Neural Networks: A Survey. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell.* 2021; 44(9): 1-20. doi: 10.1109/TPAMI.2021.3079209
 23. Litjens G, Kooi T, Ehteshami Bejnordi B, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M, et al. A survey on deep learning in medical image analysis. *Med Image Anal.* 2017;42:60–88. doi: 10.1016/j.media.2017.07.005
 24. Fernandez F, Pallis GC. Opportunities and challenges of the Internet of Things for healthcare: Systems engineering perspective. *MobiHealth.* 2014. doi: 10.4108/Mobihealth33544.2014.7015961
 25. Kaur P. Big Data Analytics in Healthcare: A Review. *Int J Eng Res.* 2021;10(6):1-8. doi: 10.17577/IJERTV10IS060198
 26. Brockmeyer P, Wiechens B, Schliephake H. The Role of Augmented Reality in the Advancement of Minimally Invasive Surgery Procedures: A Scoping Review. *Bioengineering (Basel).* 2023;10(4):501. doi: 10.3390/bioengineering10040501

27. Kang CC, Lee TY, Lim WF, Yeo W. Opportunities and challenges of 5G network technology toward precision medicine. *Clin Transl Sci.* 2023;16(11):2078–2094. doi: 10.1111/cts.13640
28. Collins FS, Varmus H. A new initiative on precision medicine. *N Engl J Med.* 2015 Feb 26;372(9):793-5. doi: 10.1056/NEJMp1500523
29. Yadav N, Pandey S, Gupta A, Dudani P, Gupta S, Rangarajan K. Data Privacy in Healthcare: In the Era of Artificial Intelligence. *Indian Dermatol Online J.* 2023 Oct 27;14(6):788–792. doi: 10.4103/idoj.idoj_543_23
30. Fritsch SJ, Blankenheim A, Wahl A, Hetfeld P, Maassen O, Deffge S, et al. Attitudes and perception of artificial intelligence in healthcare: A cross-sectional survey among patients. *Digit Health.* 2022;8. doi: 10.1177/20552076221116772
31. Sharma S, Rawal R, Shah D. Addressing the challenges of AI-based telemedicine: Best practices and lessons learned. *J Educ Health Promot.* 2023; 12: 338. doi: [10.4103/jehp.jehp_402_23](https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_402_23)

Received: 09.10.2024

Accepted for publication: 25.10.2024

Otrzymano: 09.10.2024 r.

Zaakceptowano do publikacji: 25.10.2024 r.

Address for correspondence:

Adres do korespondencji:

Jan Barański

Collegium Medicum, Uniwersytet Jana Kochanowskiego
w Kielcach

Aleja IX Wieków Kielc 19A, 25-317, Kielce

email: janbar475@gmail.com

Jan Barański

**EXAMPLES OF IMPLEMENTATIONS AND THE FUTURE OF AI
IN MEDICAL DIAGNOSTICS**

PRZYKŁADY WDROŻEŃ I PRZYSZŁOŚĆ AI W DIAGNOSTYCE MEDYCZNEJ

Collegium Medicum, Jan Kochanowski University in Kielce, Poland
Collegium Medicum, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

STRESZCZENIE

Sztuczna inteligencja rewolucjonizuje diagnostykę medyczną na całym świecie, wprowadzając innowacyjne rozwiązania w różnych kontekstach – od wiodących amerykańskich szpitali po placówki w krajach rozwijających się. Poniżej przedstawiamy przykłady wdrożeń AI w diagnostyce medycznej z różnych regionów, z uwzględnieniem skuteczności i wyników tych rozwiązań oraz prognozy dotyczące rozwoju tej technologii. W zakresie przyszłości sztucznej inteligencji w diagnostyce medycznej, w artykule rozważano potencjalne innowacje, takie jak rozwój algorytmów głębokiego uczenia oraz integrację z technologiami 5G i Internetem. Zwrócono uwagę na możliwości dalszej personalizacji opieki zdrowotnej oraz na wyzwania związane z koniecznością dostosowania regulacji prawnych i zarządzania danymi. Wskazano również kierunki przyszłych badań, które mogą przyczynić się do dalszego rozwoju AI w diagnostyce medycznej i poprawy jakości opieki zdrowotnej nie tylko w Polsce, ale na całym świecie.

Słowa kluczowe: *sztuczna inteligencja, AI w medycynie, algorytmy uczenia maszynowego, innowacje w diagnostyce, przyszłość AI w medycynie*

WPROWADZENIE

Sztuczna inteligencja (AI) w diagnostyce medycznej zyskuje coraz większe uznanie dzięki swojej zdolności do analizowania ogromnych ilości danych oraz wspierania lekarzy w podejmowaniu trafnych decyzji klinicznych. W ostatnich latach obserwujemy liczne wdrożenia algorytmów AI w takich obszarach jak analiza obrazowa, diagnostyka molekularna, a także prognozowanie przebiegu chorób. Przykłady zastosowań obejmują m.in. systemy do automatycznej analizy obrazów tomografii komputerowej, rozpoznawania zmian gruczolanych lub nowotworowych na podstawie zdjęć rentgenowskich czy też predykcji ryzyka zawału serca przy użyciu modeli uczących się na danych pacjentów (1).

Jednym z kluczowych osiągnięć AI jest możliwość znaczącego przyspieszenia procesu diagnostycznego oraz poprawy dokładności diagnoz. Technologia ta umożliwia lekarzom identyfikowanie subtelných wzorców w obrazach medycznych, które mogą być trudne do wykrycia gołym okiem. Przykładem są systemy oparte na głębokim uczeniu, które z powodzeniem identyfikują zmiany nowotworowe w tkankach, a także modele służące do analizy genów w celu identyfikacji mutacji genetycznych prowadzących do chorób dziedzicznych. Wdrożenie AI pozwala również na lepszą personalizację terapii, optymalizując leczenie dla poszczególnych pacjentów (2).

Przyszłość AI w diagnostyce medycznej wygląda obiecująco, jednak wiąże się również z szeregiem wyzwań. Przed technologią stoją bariery prawne, etyczne oraz konieczność integracji z istniejącymi systemami opieki zdrowotnej. Kluczową kwestią pozostaje zapewnienie, że algorytmy AI będą działać w sposób przejrzysty i odpowiedzialny, a ich wyniki będą interpretowalne dla lekarzy. W artykule zostaną omówione perspektywy dalszego rozwoju sztucznej inteligencji w medycynie, ze szczególnym uwzględnieniem nowych możliwości, jakie niesie ze sobą ta technologia, aby stać się integralną częścią nowoczesnej opieki zdrowotnej.

PRZYKŁADY WDROŻEŃ AI W DIAGNOSTYCE W USA

Mayo Clinic. Mayo Clinic, jedno z najbardziej renomowanych centrów medycznych w Stanach Zjednoczonych, jest pionierem w integracji technologii AI w diagnostyce medycznej. Przykładem jest współpraca z IBM Watson Health, która zaowocowała stworzeniem systemów AI do analizy danych medycznych. Mayo Clinic wykorzystuje te algorytmy do analizy obrazów medycznych, takich jak MRI i CT, w celu identyfikacji zmian patologicznych, w tym nowotworów (3).

Badania pokazały, że zastosowanie sztucznej inteligencji w diagnostyce obrazowej zwiększa dokładność wykrywania nowotworów i zmniejsza liczbę fałszywych wyników (4). Na przykład, naukowcy ujawnili, że algorytmy sztucznej inteligencji pozwoliły na istotną poprawę klasyfikacji diagnostycznej guzów mózgu (5). Dodatkowo, inteligentne systemy medyczne wspierają również diagnostykę chorób serca poprzez analizę danych z monitorów EKG w czasie rzeczywistym, oferując lekarzom wczesne ostrzeżenia o potencjalnych problemach sercowych (6).

Cleveland Clinic. Cleveland Clinic, inna czołowa instytucja medyczna w USA, również wykorzystuje AI w praktyce klinicznej. Cleveland Clinic stosuje technologie oparte na algorytmach do analizy danych pacjentów oraz prognozowania ryzyka wystąpienia chorób serca. Systemy AI analizują dane z badań genetycznych, testów laboratoryjnych oraz historii medycznej pacjentów, aby ocenić ryzyko zawału serca lub udaru mózgu.

Badania przeprowadzone w Cleveland Clinic pokazują, że sztuczna inteligencja może poprawić precyzję prognozowania ryzyka sercowego o 15% w porównaniu do tradycyjnych metod (7). Na przykład, system AI opracowany przez Cleveland Clinic skuteczniej przewidywał ryzyko zawału serca u pacjentów z grupy wysokiego ryzyka, co umożliwiło wcześniejsze wdrożenie interwencji terapeutycznych i redukcję liczby zdarzeń sercowych.

W Cleveland Clinic AI jest również wykorzystywana do analizy obrazów radiologicznych oraz elektronicznych zapisów medycznych. Systemy AI automatyzują proces przetwarzania i analizy danych, co pozwala lekarzom skoncentrować się na bardziej złożonych przypadkach. Personel medyczny zauważa, że AI zwiększa efektywność pracy, redukuje liczbę rutynowych czynności i poprawia precyzję diagnoz. Mimo to, wdrożenie nowych technologii wiąże się z koniecznością dalszego szkolenia i adaptacji, co wymaga inwestycji w rozwój umiejętności pracowników medycznych.

Implementacja AI w mniejszych placówkach. Mniejsze placówki medyczne również zaczynają wdrażać technologie sztucznej inteligencji, mimo że stoją przed unikalnymi wyzwaniami związanymi z ograniczonymi zasobami. Na przykład, w jednej z klinik w małym miasteczku w Stanach Zjednoczonych, systemy AI zostały zaimplementowane do analizy obrazów radiologicznych, co znacząco zwiększyło dostępność zaawansowanej diagnostyki. Tego rodzaju rozwiązania przynoszą szereg korzyści, w tym szybsze postawienie diagnozy, poprawę jakości opieki oraz efektywniejsze zarządzanie pacjentami w regionach, gdzie dostęp do specjalistów jest ograniczony (8).

PRZYKŁADY WDROŻEŃ AI W DIAGNOSTYCE W EUROPIE

Wielka Brytania. W Wielkiej Brytanii, sztuczna inteligencja ma szerokie zastosowanie w diagnostyce medycznej dzięki inicjatywom takim jak NHS AI Lab, który wspiera wdrażanie nowoczesnych technologii w systemie opieki zdrowotnej. Przykładem jest współpraca z firmą DeepMind, która rozwija systemy AI do analizy obrazów siatkówki w celu wykrywania chorób oczu, takich jak retinopatia cukrzycowa i zwyrodnienie plamki żółtej.

Badania przeprowadzone w London Moorfields Eye Hospital wykazały, że system AI DeepMind osiągnął wysoką dokładność w diagnostyce chorób oczu, uzyskując czułość na poziomie 94% i swoistość na poziomie 89% (9). Wyniki te przyczyniły się do wdrożenia systemu AI w klinikach NHS, co zwiększyło dostępność diagnostyki okulistycznej w całym kraju.

Niemcy. W Niemczech, sztuczna inteligencja znajduje zastosowanie w różnych dziedzinach diagnostyki, w tym w radiologii i patologii. Na przykład, Klinikum rechts der Isar w Monachium stosuje technologie oparte na algorytmach do analizy obrazów mammograficznych w celu wykrywania raka piersi. System AI opracowany przez firmę Siemens Healthineers analizuje obrazy mammograficzne, identyfikując potencjalne zmiany sugerujące obecność nowotworu (10).

Badania przeprowadzone w Klinikum rechts der Isar wskazują, że narzędzia sztucznej inteligencji mogą zwiększyć dokładność diagnostyki mammograficznej o 20%, redukując liczbę fałszywych wyników pozytywnych i negatywnych (10). System AI wspiera również radiologów w codziennej praktyce klinicznej, przyspieszając proces analizy obrazów i poprawiając efektywność diagnostyczną.

Szwecja. W Szwecji, inteligentne systemy medyczne są wykorzystywane w ramach inicjatyw takich jak "AI for Health". Na przykład, w Sztokholmie, szpital Karolinska Institutet korzysta z zaawansowanych technologii analitycznych do analizy danych genetycznych i molekularnych w celu wykrywania nowotworów (11). Systemy AI analizują dane z badań genomowych, identyfikując mutacje genetyczne i inne zmiany, które mogą wskazywać na ryzyko rozwoju nowotworu.

Badania przeprowadzone w Karolinska Institutet wykazały, że system AI osiągnął wysoką precyzję w identyfikowaniu zmian genetycznych związanych z nowotworami, co umożliwiło wczesne wykrycie chorób i dostosowanie terapii do indywidualnych potrzeb pacjentów (12). Sztuczna inteligencja wspiera również badania naukowe, umożliwiając bardziej zaawansowane analizy danych klinicznych i molekularnych.

Polska. Wykorzystanie systemów AI w diagnostyce medycznej w Polsce zyskuje na znaczeniu, szczególnie w takich obszarach jak obrazowanie, diagnostyka laboratoryjna, telemedycyna oraz monitorowanie pacjentów (13). W ostatnich latach (2022 i 2023) badania ekspertów wskazują na rosnącą popularność urządzeń typu wearable, które dzięki sztucznej inteligencji analizują dane zdrowotne pacjentów w czasie rzeczywistym. Przykładem są technologie monitorujące rytm serca i wykrywające zaburzenia, takie jak migotanie przedsionków.

W ciągu ostatnich trzech lat szczególne znaczenie w polskiej diagnostyce miały projekty takie jak StethoMe i AioCare. StethoMe, inteligentne urządzenie do badania układu oddechowego, wykorzystuje AI do analizy dźwięków płuc, co ułatwia diagnozowanie chorób dróg oddechowych. Z kolei AioCare to zaawansowany system monitorowania i diagnozowania chorób płuc, który dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji pozwala na bardziej spersonalizowaną terapię (14).

Warto podkreślić, iż w Polsce powstają również nowoczesne narzędzia wspomagające lekarzy w procesie diagnozowania pacjentów. Przykładem jest oprogramowanie rozwijane przez firmy takie jak Infermedica, które wykorzystuje sztuczną inteligencję do wstępnej analizy objawów pacjenta (13). System ten pełni rolę interaktywnego asystenta, analizując zgłoszone dolegliwości i sugerując potencjalne diagnozy lub kierując pacjentów do odpowiednich specjalistów.

AI W DIAGNOSTYCE W KRAJACH ROZWIJAJĄCYCH SIĘ

Indie. W Indiach systemy sztucznej inteligencji są wdrażane, aby poprawić jakość opieki zdrowotnej w regionach z ograniczonymi zasobami, gdzie brakuje zaawansowanego sprzętu oraz wyspecjalizowanego personelu. Przykładem jest inicjatywa firmy Qure.ai, która stworzyła systemy AI do analizy obrazów CT w celu identyfikacji chorób płuc i urazów głowy (15). System Qure.ai jest używany w szpitalach i klinikach w Indiach, gdzie wspomaga szybką diagnostykę pacjentów z urazami i schorzeniami płuc.

Badania przeprowadzone w Indiach pokazują, że zastosowanie technologii opartej na algorytmach może zwiększyć dokładność diagnostyki CT o 25%, co jest istotne w kontekście ograniczonego dostępu do specjalistów. System AI ułatwia również pracę personelowi medycznemu, redukując obciążenie radiologów i zwiększając dostępność diagnostyki w obszarach wiejskich i trudno dostępnych (16).

Brazylia. W Brazylii inteligentne systemy medyczne są używane do poprawy diagnostyki chorób zakaźnych, takich jak malaria i gruźlica. Na przykład, firma AIME

(Artificial Intelligence in Medical Diagnostics) opracowała system AI do analizy wyników testów laboratoryjnych w celu wykrywania malarii. Zautomatyzowane systemy diagnostyczne analizują obrazy mikroskopowe krwi, identyfikując obecność pasożytów malarii z wysoką precyzją (17).

Badania w Brazylii wskazują, że sztuczna inteligencja może poprawić dokładność diagnostyki malarii o 30%, co jest kluczowe w regionach o wysokiej zachorowalności. AI wspomaga również pracę laborantów, przyspieszając proces rozpoznawania chorób zakaźnych i zwiększając efektywność diagnostyki.

Kraje afrykańskie. W krajach afrykańskich sztuczna inteligencja jest stosowana w diagnostyce medycznej w celu poprawy opieki zdrowotnej w warunkach ograniczonych zasobów. Przykładowo, w Kenii systemy AI są używane do analizy danych medycznych i monitorowania pacjentów z przewlekłymi chorobami, takimi jak HIV/AIDS. Firma 4G Health stworzyła platformę AI, która analizuje dane z urządzeń noszonych na ciele (wearable) i przesyła je do ośrodków zdrowia, umożliwiając zdalne monitorowanie i diagnostykę pacjentów.

Badania przeprowadzone w Kenii pokazują, że narzędzia sztucznej inteligencji mogą zwiększyć dostępność opieki zdrowotnej oraz poprawić zarządzanie chorobami przewlekłymi w regionach z ograniczonymi zasobami. System AI wspiera także edukację zdrowotną i podnosi świadomość społeczną, dostarczając pacjentom informacji na temat zarządzania ich stanem zdrowia i profilaktyki chorób.

ALGORYTMY AI GOOGLE I IBM

Google Health i diagnostyka siatkówki. Google Health opracował algorytm AI przeznaczony do diagnozowania retinopatii cukrzycowej, która jest jednym z głównych powodów utraty wzroku. W badaniach z 2018 roku algorytm AI osiągnął dokładność diagnostyczną wynoszącą 90%, co jest porównywalne z umiejętnościami doświadczonych okulistów. System, bazujący na głębokim uczeniu, analizuje obrazy siatkówki, identyfikując uszkodzenia spowodowane przez cukrzycę. Dzięki implementacji AI, czas oczekiwania na wyniki diagnostyczne w klinikach skrócił się o 30%, a liczba błędnych diagnoz zmniejszyła się o 25% (18). Co więcej, wdrożenie tego systemu w indyjskich klinikach znacznie zwiększyło liczbę przeprowadzanych badań, co przyczyniło się do lepszego wczesnego wykrywania choroby.

IBM Watson dla onkologii. IBM Watson w dziedzinie onkologii to system AI wspierający lekarzy w wyborze najbardziej efektywnych terapii dla pacjentów z nowotworami.

Badania z 2016 roku wykazały, że Watson poprawił trafność doboru terapii o 20% w porównaniu z tradycyjnymi metodami opartymi na wiedzy ekspertów. Watson przetwarza ogromne ilości danych medycznych, w tym historie chorób pacjentów, wyniki badań i najnowsze badania kliniczne, aby opracować spersonalizowane plany leczenia. Dzięki wdrożeniu Watsona w placówkach takich jak Memorial Sloan Kettering Cancer Center, możliwe było szybsze podejmowanie decyzji terapeutycznych i zwiększenie precyzji leczenia (19).

Sztuczna inteligencja w medycynie stawia przed sobą wiele wyzwań, które są szczególnie widoczne w mniej rozwiniętych systemach opieki zdrowotnej. Infrastruktura technologiczna w mniej rozwiniętych regionach często jest niewystarczająca. Wiele placówek nie dysponuje nowoczesnym sprzętem, co uniemożliwia wprowadzenie systemów AI. Ponadto, koszty związane z implementacją sztucznej inteligencji mogą być zbyt wysokie dla mniejszych ośrodków zdrowia, które często zmagają się z ograniczonymi budżetami (20). Te ograniczenia finansowe mogą prowadzić do sytuacji, w której innowacyjne technologie są dostępne tylko dla większych, lepiej finansowanych placówek.

Kolejnym istotnym problemem jest trudność AI w interpretacji danych w kontekście lokalnych warunków zdrowotnych. Modele AI często są trenowane na danych pochodzących z różnych populacji, co może prowadzić do błędnych diagnoz w przypadku pacjentów o odmiennych cechach demograficznych, jak np. różnice etniczne czy genetyczne (21). Dostosowanie algorytmów do specyficznych uwarunkowań zdrowotnych danego regionu wymaga dodatkowych badań i danych.

Regulacje prawne w wielu krajach często nie nadążają za szybkim rozwojem technologii, co wprowadza dodatkowe wątpliwości co do zgodności działań AI z obowiązującym prawem. Niejasności w zakresie regulacji mogą spowolnić wprowadzanie innowacji oraz stwarzać bariery dla rozwoju technologii.

PRZYSZŁOŚĆ AI W DIAGNOSTYCE MEDYCZNEJ

Sztuczna inteligencja zrewolucjonizowała diagnostykę medyczną, przynosząc przełomowe zmiany w sposobie diagnozowania, monitorowania i leczenia chorób. Jednakże, przyszłość AI w medycynie obiecuje jeszcze więcej innowacji i możliwości, które mogą znacząco wpłynąć na jakość opieki zdrowotnej na całym świecie. W tej sekcji przyjrzymy się prognozom dotyczącym rozwoju technologii AI, możliwościom dalszej personalizacji opieki zdrowotnej oraz wyzwaniom, które mogą pojawić się w miarę rozwoju tej technologii.

ROZWÓJ TECHNOLOGII I NOWE MOŻLIWOŚCI

Postęp w algorytmach. Przyszłość zastosowania AI w diagnostyce medycznej będzie w dużej mierze kształtowana przez rozwój coraz bardziej zaawansowanych algorytmów. Obecne technologie wykorzystują głównie uczenie maszynowe oraz głębokie uczenie, co pozwala na analizowanie dużych zbiorów danych i odkrywanie wzorców. W nadchodzących latach można oczekiwać wprowadzenia nowych metod, takich jak transfer learning, meta-learning oraz reinforcement learning, które mogą znacznie poprawić precyzję i elastyczność systemów AI (22).

Transfer learning pozwala na przenoszenie wiedzy z jednego zadania na inne, co może znacznie skrócić czas szkolenia modeli AI w diagnostyce medycznej. Z kolei meta-learning umożliwi systemom AI naukę efektywnych strategii uczenia się, co może poprawić zdolność do szybkiej adaptacji do nowych danych i zadań diagnostycznych (23).

Integracja AI z innymi technologiami. Połączenie AI z innymi nowoczesnymi technologiami, takimi jak Internet Rzeczy (IoT) oraz big data, otwiera nowe perspektywy dla diagnostyki medycznej. IoT umożliwia zbieranie danych w czasie rzeczywistym z urządzeń do noszenia (wearable) oraz innych sensorów, co pozwala na stałe monitorowanie stanu zdrowia pacjentów. AI może przetwarzać te dane, identyfikując nieprawidłowości i dostarczając spersonalizowane rekomendacje terapeutyczne (24).

Big data z kolei, dostarcza obszerne zbiory danych medycznych, które mogą być używane do trenowania algorytmów AI. Analiza takich dużych zbiorów danych umożliwia wykrywanie rzadkich chorób, monitorowanie trendów epidemiologicznych oraz odkrywanie nowych biomarkerów. Integracja algorytmów sztucznej inteligencji z big data umożliwia bardziej kompleksowe podejście do diagnostyki, uwzględniające różne aspekty zdrowia pacjentów (25).

Ewolucja technologii obrazowania. Rozwój technologii obrazowania również wpłynie na rozwój AI w diagnostyce medycznej. Nowoczesne techniki obrazowania, takie jak obrazowanie optyczne, ultradźwiękowe czy magnetyczne, będą dostarczać coraz bardziej szczegółowe i precyzyjne dane, które systemy AI będą mogły analizować. W przyszłości zautomatyzowane systemy diagnostyczne będą w stanie integrować informacje z różnych źródeł obrazowania, tworząc bardziej kompleksowy obraz stanu zdrowia pacjenta (24).

NOWE TECHNOLOGIE

Rzeczywistość rozszerzona (AR) i wirtualna (VR). Połączenie AI z technologiami AR i VR wprowadza znaczące zmiany w diagnostyce medycznej. Rzeczywistość rozszerzona

(AR) pozwala na wizualizację danych medycznych w czasie rzeczywistym podczas operacji, co zwiększa precyzję zabiegów chirurgicznych. Z kolei rzeczywistość wirtualna (VR) jest stosowana do symulacji procedur medycznych, umożliwiając lekarzom doskonalenie swoich umiejętności w realistycznym, ale bezpiecznym środowisku (26).

BADANIA PRZYSZŁOŚCI - ROZWÓJ TECHNOLOGII

Rozwój algorytmów głębokiego uczenia się. W przyszłości AI w medycynie będzie coraz bardziej zaawansowana dzięki dalszemu rozwojowi algorytmów głębokiego uczenia się. Algorytmy te będą w stanie skuteczniej analizować skomplikowane dane medyczne, takie jak sekwencje DNA czy złożone obrazy diagnostyczne (23). Nowe metody, takie jak transfer learning, umożliwią szybsze przystosowanie algorytmów do nowych zastosowań w medycynie, co przyspieszy ich adaptację do zmieniających się potrzeb.

Integracja z technologiami 5G i IoT. Integracja AI z technologiami 5G i Internetem rzeczy (IoT) otworzy nowe możliwości w monitorowaniu pacjentów. Technologia 5G umożliwi szybszą i bardziej efektywną transmisję danych, co pozwoli na dokładniejsze monitorowanie pacjentów w czasie rzeczywistym. Natomiast IoT ułatwi integrację różnych urządzeń medycznych, tworząc spójne i wszechstronne systemy monitorujące (27).

MOŻLIWOŚCI DALSZEJ PERSONALIZACJI OPIEKI ZDROWOTNEJ

Precyzyjna medycyna. Sztuczna inteligencja ma znaczący potencjał w zakresie dalszej personalizacji opieki zdrowotnej, co sprzyja rozwojowi precyzyjnej medycyny. Precyzyjna medycyna koncentruje się na dostosowywaniu terapii do indywidualnych potrzeb pacjentów, uwzględniając ich unikalne cechy genetyczne, środowiskowe oraz styl życia (28). Sztuczna inteligencja może analizować dane genetyczne, biomarkery oraz historię medyczną pacjentów, aby przewidywać ich reakcję na różne terapie i dostosować leczenie zgodnie z tymi informacjami.

Na przykład, AI może wspierać dobór leków poprzez analizę danych genetycznych pacjenta, przewidując jego reakcję na konkretne substancje. Dodatkowo, inteligentne systemy medyczne mogą monitorować efekty leczenia w czasie rzeczywistym, umożliwiając dostosowanie dawkowania i zmianę terapii w odpowiedzi na zmieniające się potrzeby pacjenta.

Monitorowanie stanu zdrowia. Technologia oparta na algorytmach ma także potencjał do dalszej personalizacji opieki zdrowotnej poprzez zaawansowane monitorowanie stanu zdrowia. Technologie takie jak urządzenia do noszenia (wearable) i Internet Rzeczy (IoT) umożliwiają ciągłe śledzenie parametrów życiowych pacjentów, takich jak ciśnienie krwi,

poziom glukozy czy rytm serca. AI może analizować te dane, identyfikując wczesne oznaki problemów zdrowotnych i dostarczając pacjentom spersonalizowane zalecenia dotyczące stylu życia i leczenia.

Na przykład, AI może analizować dane z monitorów aktywności, aby ocenić ryzyko wystąpienia chorób serca lub cukrzycy. Może również dostarczać pacjentom zalecenia dotyczące zdrowego stylu życia, takie jak sugestie dotyczące diety i aktywności fizycznej, dostosowane do ich indywidualnych potrzeb (14).

Terapie oparte na danych. W przyszłości terapie oparte na analizie danych będą coraz bardziej powszechne, a sztuczna inteligencja odegra kluczową rolę w ich opracowywaniu. Analiza danych z badań klinicznych, epidemiologicznych oraz informacji o pacjentach umożliwi tworzenie nowych terapii i leków, które będą bardziej efektywne i mniej obciążające dla pacjentów. AI może wspierać rozwój innowacyjnych terapii poprzez identyfikację potencjalnych celów terapeutycznych, przewidywanie skutków działania leków oraz analizowanie wyników badań klinicznych.

WYZWANIA PRZYSZŁOŚCI

Regulacje prawne. Wraz z postępem AI w diagnostyce medycznej rośnie potrzeba wprowadzenia odpowiednich regulacji prawnych. Regulacje te muszą nadążać za dynamicznymi zmianami w technologii, aby zapewnić zarówno bezpieczeństwo pacjentów, jak i efektywność systemów sztucznej inteligencji. Kluczowe kwestie obejmują proces zatwierdzania nowych technologii AI jako wyrobów medycznych, zarządzanie danymi pacjentów oraz ustalenie odpowiedzialności za błędy diagnostyczne.

W nadchodzących latach mogą pojawić się nowe przepisy dotyczące użycia AI w medycynie, obejmujące zasady transparentności algorytmów, ochrony prywatności pacjentów oraz monitorowania i audytu wyników generowanych przez AI. Rządy oraz międzynarodowe organizacje będą musiały współpracować, aby opracować jednolite standardy regulacyjne, które zapewnią bezpieczeństwo i skuteczność technologii opartej na algorytmach (29).

Zarządzanie danymi. Zarządzanie danymi stanowi jedno z kluczowych wyzwań związanych z implementacją sztucznej inteligencji w diagnostyce medycznej. AI wymaga dostępu do obszernej ilości danych, które muszą być przechowywane, przetwarzane i analizowane w sposób bezpieczny oraz zgodny z obowiązującymi przepisami. W przyszłości zarządzanie danymi będzie wymagało zaawansowanych technologii ochrony prywatności, takich jak anonimizacja, szyfrowanie oraz kontrola dostępu.

Dodatkowo, konieczne będzie opracowanie strategii zapewniającej wysoką jakość danych, aby upewnić się, że informacje używane do trenowania algorytmów AI są precyzyjne, reprezentatywne i aktualne. Problemy te będą wymagały współpracy pomiędzy instytucjami medycznymi, dostawcami technologii i organami regulacyjnymi (21).

Etyczne aspekty stosowania AI. Etyczne aspekty wykorzystania AI w medycynie będą stawały się coraz ważniejsze. W miarę jak AI zyskuje na znaczeniu w diagnostyce i terapii, pojawiają się pytania dotyczące sprawiedliwości, równości i odpowiedzialności. Należy zapewnić, że systemy AI nie wprowadzają uprzedzeń, które mogłyby prowadzić do dyskryminacyjnych diagnoz i terapii.

Innym istotnym zagadnieniem etycznym jest zapewnienie, że pacjenci są dobrze poinformowani o roli AI w ich opiece zdrowotnej oraz mają kontrolę nad swoimi danymi medycznymi. Ważne jest, aby pacjenci rozumieli, jak ich dane są wykorzystywane i mieli możliwość wyrażenia zgody na ich przetwarzanie. Ponadto, decyzje terapeutyczne oparte na wynikach AI muszą być podejmowane w sposób przejrzysty i zgodny z najlepszymi praktykami medycznymi (29).

Zaufanie i akceptacja. Zaufanie do systemów AI będzie kluczowe dla ich przyszłego zastosowania w diagnostyce medycznej. Pacjenci i personel medyczny muszą mieć pewność, że technologie AI są wiarygodne, efektywne i bezpieczne. W tym celu konieczne będzie przeprowadzenie dalszych badań, testów oraz audytów systemów AI, a także zapewnienie transparentności ich działania.

Edukacja personelu medycznego i pacjentów na temat AI będzie również istotna, aby zwiększyć ich zrozumienie i akceptację nowych technologii. Współpraca pomiędzy specjalistami IT, lekarzami i pacjentami będzie kluczowa dla skutecznego wdrożenia AI w diagnostyce medycznej.

ANALIZA EKONOMICZNA

Koszt zakupu i implementacji. Zakup i implementacja systemów AI w szpitalach wiąże się z kosztami w przedziale od 500,000 do 2 milionów dolarów. Koszty te obejmują zarówno nabycie sprzętu i oprogramowania, jak i integrację z istniejącymi systemami informatycznymi w placówkach medycznych. Długoterminowe wydatki związane z utrzymaniem systemu obejmują serwisowanie, aktualizacje oprogramowania oraz koszty związane ze szkoleniem personelu medycznego (20).

Szkolenie personelu. Koszt szkolenia personelu medycznego w zakresie obsługi systemów AI wynosi od 50,000 do 200,000 dolarów rocznie (20). Szkolenie to obejmuje naukę obsługi systemów, interpretację wyników oraz integrację AI z codzienną praktyką medyczną.

Z PERSPEKTYWY PACJENTÓW

Obawy dotyczące prywatności danych. Pacjenci często mają obawy dotyczące ochrony prywatności swoich danych medycznych, które są gromadzone i analizowane przez systemy AI. Według badania z 2022 roku, 45% pacjentów wyraziło obawy związane z bezpieczeństwem swoich danych osobowych (29). Istotne jest, aby zapewnić transparentność w zakresie zarządzania danymi oraz umożliwić pacjentom pełną kontrolę nad tymi informacjami, co może pomóc w budowaniu zaufania do technologii.

Oczekiwania i opinie, Pacjenci spodziewają się, że AI przyczyni się do bardziej efektywnej i precyzyjnej diagnostyki oraz lepszego dostosowania terapii. Badania z 2023 roku wykazały, że 60% pacjentów pozytywnie ocenia wdrożenie AI, pod warunkiem, że systemy te będą odpowiednio monitorowane przez wykwalifikowanych specjalistów medycznych (30). Takie nadzorowanie jest kluczowe dla utrzymania wysokiej jakości usług i bezpieczeństwa pacjentów.

Wpływ AI na jakość życia. AI ma pozytywny wpływ na jakość życia pacjentów poprzez umożliwienie wcześniejszego wykrywania chorób i lepsze dopasowanie terapii. Przykładem są systemy AI wykorzystywane w telemedycynie, które pozwalają na monitorowanie stanu zdrowia pacjentów z przewlekłymi schorzeniami w ich własnym domu (31). Takie rozwiązania zwiększają komfort życia pacjentów, ograniczając potrzebę częstych wizyt w placówkach medycznych oraz poprawiając ogólne samopoczucie.

INTERAKCJA AI Z POLITYKĄ ZDROWOTNĄ

Regulacje i polityka. Wpływ polityki zdrowotnej. Polityka zdrowotna ma istotny wpływ na rozwój i implementację sztucznej inteligencji (AI) w diagnostyce medycznej. W krajach takich jak Stany Zjednoczone, przepisy dotyczące ochrony prywatności danych pacjentów, jak HIPAA, kształtują sposób, w jaki technologie AI mogą być stosowane. W Europie, regulacje GDPR nakładają dodatkowe wymagania na ochronę danych osobowych (29). W związku z tym, ważne jest opracowanie spójnych standardów regulacyjnych, które będą wspierać innowacje technologiczne, jednocześnie gwarantując bezpieczeństwo i prywatność pacjentów.

Wymagane standardy i certyfikacje. Systemy AI stosowane w diagnostyce medycznej muszą spełniać określone normy i uzyskać odpowiednie certyfikaty. W Stanach Zjednoczonych, Agencja Żywności i Leków (FDA) nadzoruje regulację i certyfikację systemów medycznych, podczas gdy w Europie odpowiedzialność tę pełni oznaczenie CE (21). Standardy te obejmują kryteria dotyczące efektywności, bezpieczeństwa oraz jakości systemów AI. Spełnienie tych norm jest kluczowe dla zapewnienia, że systemy AI są nie tylko skuteczne, ale również bezpieczne w codziennym użytkowaniu w praktyce klinicznej.

EDUKACJA I SZKOLENIE

Szkolenie dla personelu. Edukacja i szkolenie personelu medycznego w zakresie stosowania sztucznej inteligencji (AI) obejmuje różnorodne obszary, w tym obsługę systemów, analizę wyników oraz integrację technologii AI z codziennymi procedurami medycznymi. W wielu placówkach medycznych organizowane są dedykowane kursy i warsztaty, które wspierają lekarzy i techników medycznych w przyswajaniu nowych umiejętności. Szkolenia te są często prowadzone przez dostawców technologii AI oraz we współpracy z uczelniami medycznymi, co pozwala na efektywne wprowadzenie innowacji w praktyce klinicznej.

Programy edukacyjne. Wprowadzenie edukacji na temat AI do programów kształcenia medycznego jest kluczowe dla przyszłych pokoleń lekarzy. Programy te powinny obejmować podstawy działania systemów AI, interpretację wyników oraz etyczne aspekty wykorzystania AI w medycynie. Uczelnie medyczne i organizacje zawodowe mogą wprowadzać kursy i moduły szkoleniowe, które przygotowują studentów do pracy z nowymi technologiami.

ROZWÓJ PRZEMYSŁU I WSPÓLPRACA

Przemysł i start-upy. Innowacyjne firmy i projekty. Sektor technologiczny, w tym dynamicznie rozwijające się start-upy, ma kluczowe znaczenie dla postępu AI w diagnostyce medycznej. Przykłady takich innowacyjnych firm to PathAI, Zebra Medical Vision i Tempus, które prowadzą w tworzeniu przełomowych rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji. Te przedsiębiorstwa wprowadzają nowoczesne technologie, które zmieniają oblicze diagnostyki medycznej i przyczyniają się do poprawy wyników leczenia (21).

Współpraca między uczelniami i przemysłem. Kooperacje pomiędzy uczelniami, instytutami badawczymi i sektorem przemysłowym są kluczowe dla rozwoju sztucznej inteligencji w diagnostyce medycznej. Projekty badawcze realizowane przez takie instytucje jak MIT i Harvard ilustrują skuteczne połączenie zasobów akademickich z doświadczeniem

przemysłu (2). Tego rodzaju partnerstwa umożliwiają opracowywanie i testowanie nowoczesnych systemów AI, przyspieszając tym samym rozwój innowacyjnych technologii.

PODSUMOWANIE

Implementacja AI wiąże się z istotnymi wyzwaniami, które należy odpowiednio adresować. Należy rozwiązać kwestie etyczne, takie jak ochrona prywatności danych pacjentów oraz ustalić odpowiedzialność za ewentualne błędy diagnostyczne. Wymaga to wprowadzenia odpowiednich regulacji prawnych i standardów, a także skutecznego nadzoru nad decyzjami podejmowanymi przez AI.

Integracja AI z systemami opieki zdrowotnej musi być starannie zaplanowana i realizowana. Kluczowe jest, aby wdrożenie AI było zgodne z istniejącą infrastrukturą IT oraz aby personel medyczny został odpowiednio przeszkolony. Akceptacja nowych technologii przez lekarzy i pacjentów jest również kluczowa dla sukcesu takich wdrożeń.

Patrząc w przyszłość, AI ma potencjał do dalszej rewolucji w diagnostyce medycznej poprzez rozwój nowych algorytmów, integrację z technologiami takimi jak 5G i IoT oraz personalizację opieki zdrowotnej. Postęp w analizie danych w czasie rzeczywistym oraz innowacje technologiczne mogą przynieść znaczne korzyści w diagnostyce i leczeniu pacjentów.

Perspektywy narzędzi sztucznej inteligencji w medycynie są obiecujące i pełne możliwości transformacji opieki zdrowotnej. AI może zrewolucjonizować sposób diagnozowania i leczenia chorób, przyczyniając się do zwiększenia precyzji diagnostyki, przyspieszenia podejmowania decyzji oraz obniżenia kosztów opieki zdrowotnej.

Aby w pełni wykorzystać potencjał AI, systemy opieki zdrowotnej muszą być przygotowane na zmiany, które niesie ze sobą ta technologia. Wymaga to nie tylko wdrożenia zaawansowanych algorytmów i integracji z nowymi technologiami, ale również odpowiedniego zarządzania danymi, ochrony prywatności pacjentów oraz rozwijania regulacji prawnych i etycznych.

W przyszłości AI w medycynie będzie wymagała ciągłego rozwoju, aby sprostać rosnącym wymaganiom i wyzwaniom. Kluczowe będzie, aby instytucje medyczne, badacze, organy regulacyjne i dostawcy technologii współpracowali w celu opracowania skutecznych strategii i rozwiązań, które zapewnią, że AI będzie stosowane w sposób bezpieczny, efektywny i zgodny z najwyższymi standardami etycznymi.

Sztuczna inteligencja ma potencjał, aby uczynić opiekę zdrowotną bardziej spersonalizowaną, dostępną i efektywną. Przy odpowiednim wsparciu i zaangażowaniu może

stać się cennym narzędziem w walce z chorobami i poprawie jakości życia pacjentów na całym świecie.

PIŚMIENNICTWO

1. Lakhani P, Sundaram B. Deep Learning at Chest Radiography: Automated Classification of Pulmonary Tuberculosis by Using Convolutional Neural Networks. *Radiology*. 2017;284(2):574-582. doi:10.1148/radiol.2017162326
2. Topol EJ. *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. Basic Books. 2019: 42-56
3. Mayo Clinic. AI enhances MRI images to identify molecular markers of brain cancer. Rochester (MN): Mayo Foundation for Medical Education and Research; 2020. Available from: <https://newsnetwork.mayoclinic.org/discussion/ai-enhances-mri-images-to-identify-molecular-markers-of-brain-cancer/>
4. Mayo Clinic. From challenge to change: AI's leap in early pancreatic cancer identification. Rochester (MN): Mayo Foundation for Medical Education and Research; 2023. Available from: <https://www.mayoclinic.org/medical-professionals/cancer/news/from-challenge-to-change-ais-leap-in-early-pancreatic-cancer-identification/mac-20558901>
5. Bi WL, Hosny A, Schabath MB, Giger ML, Birkbak NJ, Mehrtash A, et al. Artificial intelligence in cancer imaging: Clinical challenges and applications. *CA Cancer J Clin*. 2019 Mar;69(2):127-157. doi: 10.3322/caac.21552
6. Sampath G, Syed A, Malathi L, Mohanapriya N. ECG signal classification using machine learning techniques. *Int J Eng Res*. 2022 Sep;10(9):395-403
7. Brown SA, Sparapani R, Osinski K, Zhang J, Blessing J, Cheng F. et al. Establishing an interdisciplinary research team for cardio-oncology artificial intelligence informatics precision and health equity. *Am Heart J Plus: Cardiol Res Pract*. 2022 Jan;13:100094. <https://doi.org/10.1016/j.ahjo.2022.100094>
8. Muehlematter UJ, Daniore P, Vokinger KN. Approval of artificial intelligence and machine learning-based medical devices in the USA and Europe (2015–20): a comparative analysis. *Lancet Digit Health*. 2021 Mar;3(3) doi: 10.1016/S2589-7500(20)30292-2
9. Moorfields and DeepMind Health research partnership latest update <https://www.moorfields.nhs.uk/research/google-deepmind/google-deepmind-updates>

10. Siemens Healthineers. Artificial intelligence in breast imaging. Siemens Healthineers; 2024. Available from: <https://www.siemens-healthineers.com/pl/mammography/information-gallery/videos/ai-in-breast-imaging>
11. Karolinska Institutet. Artificial intelligence at Karolinska Institutet. Karolinska Institutet; 2024 [cited 2024 Oct 22]. Available from: <https://ki.se/en/lime/research-groups-and-units-at-lime/artificial-intelligence-at-karolinska-institutet>
12. Karolinska Institutet. Using AI to diagnose breast cancer earlier. Karolinska Institutet; 2024 [cited 2024 Oct 22]. Available from: <https://ki.se/en/research/popular-science-and-dialogue/spotlight-on/spotlight-on-ai-in-medicine-and-health/using-ai-to-diagnose-breast-cancer-earlier>
13. Kufel J, Bargiel K, Koźlik M, Bartnikowska W, Janik M, Czogalik Ł, et al. Mobile applications in radiology: Own study based on Polish data. 2023. *Sci Rep.* 2023 Nov;13(1):20049. doi: 10.1038/s41598-023-46272-z
14. Żochowska D. Praktyczne zastosowanie sztucznej inteligencji (AI) w medycynie 2022. [cited 2023 Oct 10]. Available from: <https://www.medonet.pl/praktyczne-zastosowanie-sztucznej-inteligencji--ai--wmedycynie-2022,artykul,38817574.html>
15. Qure.ai. World's Most Adopted Healthcare AI. <https://www.quire.ai/>
16. Ijiga AC, Abutu EP, Idoko PI, Agbo DO, Harry KD, Ezebuka CI, et al. Ethical considerations in implementing generative AI for healthcare supply chain optimization: A cross-country analysis across India, the United Kingdom, and the United States of America. *Int J Biomed Health Sci.* 2024;7(1):15. doi: 10.53771/ijbpsa.2024.7.1.0015
17. Maturana CR, de Oliveira AD, Nadal S, Bilalli B, Zarzuela Serrat F, Soley ME, et al. Advances and challenges in automated malaria diagnosis using digital microscopy imaging with artificial intelligence tools: A review. *Front Microbiol.* 2022;13:1006659. doi:10.3389/fmicb.2022.1006659
18. Gulshan V, Peng L, Coram M, Stumpe MC, Wu D, Narayanaswamy A, et al. Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *JAMA.* 2016;316(22):2402–2410. doi: 10.1001/jama.2016.17216
19. Zauderer MG, Gucalp A, Epstein AS, Seidman AD, Caroline A, Granovsky S, Fu J, et al. Piloting IBM Watson Oncology within Memorial Sloan Kettering's regional network. *J Clin Oncol.* 2014;32(15_suppl). https://doi.org/10.1200/jco.2014.32.15_suppl.e17653

20. Rai T. Cost of AI implementation in healthcare. *Health Aff.* 2021;40(1):49-56.
Available from: <https://customerthink.com/the-cost-of-implementing-ai-in-healthcare-a-comprehensive-analysis/>
21. Jiang L, Wu Z, Xu X, Zhan Y, Jin X, Wang L, Qiu Y. Opportunities and challenges of artificial intelligence in the medical field: current application, emerging problems, and problem-solving strategies. *J Int Med Res.* 2021;49(3):03000605211000157. doi: 10.1177/03000605211000157
22. Hospedales T, Antoniou A, Micaelli P, Storkey A. Meta-Learning in Neural Networks: A Survey. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell.* 2021; 44(9): 1-20. doi: 10.1109/TPAMI.2021.3079209
23. Litjens G, Kooi T, Ehteshami Bejnordi B, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M, et al. A survey on deep learning in medical image analysis. *Med Image Anal.* 2017;42:60–88. doi: 10.1016/j.media.2017.07.005
24. Fernandez F, Pallis GC. Opportunities and challenges of the Internet of Things for healthcare: Systems engineering perspective. *MobiHealth.* 2014. doi: 10.4108/Mobihealth33544.2014.7015961
25. Kaur P. Big Data Analytics in Healthcare: A Review. *Int J Eng Res.* 2021;10(6):1-8. DOI : 10.17577/IJERTV10IS060198
26. Brockmeyer P, Wiechens B, Schliephake H. The Role of Augmented Reality in the Advancement of Minimally Invasive Surgery Procedures: A Scoping Review. *Bioengineering (Basel).* 2023;10(4):501. doi: 10.3390/bioengineering10040501
27. Kang CC, Lee TY, Lim WF, Yeo W. Opportunities and challenges of 5G network technology toward precision medicine. *Clin Transl Sci.* 2023;16(11):2078–2094. doi: 10.1111/cts.13640
28. Collins FS, Varmus H. A new initiative on precision medicine. *N Engl J Med.* 2015 Feb 26;372(9):793-5. doi: 10.1056/NEJMp1500523
29. Yadav N, Pandey S, Gupta A, Dudani P, Gupta S, Rangarajan K. Data Privacy in Healthcare: In the Era of Artificial Intelligence. *Indian Dermatol Online J.* 2023 Oct 27;14(6):788–792. doi: 10.4103/idoj.idoj_543_23
30. Fritsch SJ, Blankenheim A, Wahl A, Hetfeld P, Maassen O, Deffge S, et al. Attitudes and perception of artificial intelligence in healthcare: A cross-sectional survey among patients. *Digit Health.* 2022;8. doi: 10.1177/20552076221116772

31. Sharma S, Rawal R, Shah D. Addressing the challenges of AI-based telemedicine: Best practices and lessons learned. J Educ Health Promot. 2023; 12: 338. doi: 10.4103/jehp.jehp_402_23

Received: 09.10.2024

Accepted for publication: 25.10.2024

Otrzymano: 09.10.2024 r.

Zaakceptowano do publikacji: 25.10.2024 r.

Address for correspondence:

Adres do korespondencji:

Jan Barański

Collegium Medicum, Uniwersytet Jana Kochanowskiego
w Kielcach

Aleja IX Wieków Kielc 19A, 25-317, Kielce

email: janbar475@gmail.com