

Jan Barański

**INTELLIGENT REVOLUTION IN MEDICINE – THE APPLICATION
OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) IN MEDICINE: OVERVIEW, BENEFITS,
AND CHALLENGES**

**INTELIĞENTNA REWOLUCJA W MEDYCYNIE – ZASTOSOWANIE SZTUCZNEJ
INTELIĞENCJI (AI) W MEDYCYNIE: PRZEGLĄD, KORZYŚCI I WYZWANIA**

Collegium Medicum, Jan Kochanowski University in Kielce, Poland

Collegium Medicum, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) has the potential to revolutionize medical diagnostics by offering new opportunities for accuracy, efficiency, and accessibility in healthcare. This article examines the benefits of implementing AI in diagnostics, such as enhanced diagnostic precision, faster clinical decision-making, cost reduction, and increased access to healthcare. It also discusses the challenges associated with AI implementation, including ethical, legal, and technical issues. The future of AI in medicine may bring further technological advancements and personalized therapy, but it also requires addressing regulatory and ethical concerns.

Keywords: *Artificial Intelligence, AI in medicine, AI ethics, machine learning algorithms, innovations in diagnostics*

INTRODUCTION

Artificial Intelligence (AI) is a field of computer science that mimics human thought processes, enabling machines to perform tasks requiring intelligence, such as image recognition and decision-making (1). In recent years, analytical technologies have gained increasing importance in medicine, particularly in diagnostics, with the potential to revolutionize healthcare delivery and improve patient outcomes.

Current AI systems can process vast amounts of data at unprecedented speeds. In the era of big data, traditional analytical methods are becoming insufficient. Modern diagnostics often involve complex processes that require the collaboration of many specialists. The integration of AI allows for the automation of many tasks, reducing the waiting time for results and increasing their accuracy (2). Systems based on deep neural networks can analyze medical images with a precision comparable to, and sometimes even surpassing, that of experienced radiologists (3). AI also supports genetic data analysis, contributing to the advancement of personalized medicine.

A key application of AI is in imaging diagnostics. These technologies enable the rapid processing of images from computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI). AI algorithms can identify cancerous changes in mammographic images with greater accuracy than traditional radiological methods (4). Such precision leads to earlier medical intervention, increasing patients' chances of recovery.

AI not only enhances diagnostic accuracy but also accelerates its execution, which is crucial in emergency cases, such as strokes. Traditional diagnostic methods can take hours or even days to yield results, whereas AI performs analyses within minutes, allowing for quicker therapeutic decisions. In emergency situations, rapid response is critical, and modern technologies can improve patient prognosis.

The benefits of using AI in diagnostics include reducing healthcare costs by minimizing the need for repeated expensive tests and lowering the risk of errors (5). Additionally, AI increases access to specialized medical care, particularly in regions with limited access to physicians.

Despite its numerous advantages, the implementation of AI faces significant challenges, including ethical issues related to patient data usage. AI relies on analyzing large datasets, raising concerns about the privacy and security of medical information (6). There is a risk of data misuse in the event of security breaches. AI decisions, especially those based on machine learning algorithms, can be difficult to understand, raising questions about accountability for diagnostic errors.

Another challenge is the integration of AI with existing healthcare systems. The introduction of new technologies requires significant investments and a change in the approach of medical staff. Physicians need to adapt to working with AI systems, which may require training. It is also necessary to develop legal regulations that protect patients and support the development of AI in medicine.

In the context of the future of AI in medicine, it is essential to consider its impact on the role of physicians. AI can automate many traditional tasks, but this does not make doctors redundant. On the contrary, AI can become a valuable tool that supports their work, allowing them to focus on more complex aspects of patient care. Maintaining a balance between technology and a humanistic approach to medicine is crucial.

This article analyzes the areas where AI impacts medical diagnostics, discusses the benefits and challenges of its implementation, and outlines how healthcare systems can prepare for the upcoming changes driven by the development of this technology.

APPLICATION AND BENEFITS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICAL DIAGNOSTICS

Artificial Intelligence (AI) is revolutionizing the way doctors and specialists process data and make diagnostic decisions. Recent years have seen the growing popularity of this technology, with its advanced algorithms enabling the rapid processing of vast datasets (1). Algorithm-based technologies have found applications in various areas of medical diagnostics, including medical image analysis, genetic diagnostics, patient monitoring using wearable devices, and the development of predictive models (7).

MEDICAL IMAGE ANALYSIS

Medical image analysis is one of the most significant applications of artificial intelligence. Modern AI-based systems, especially those utilizing deep neural networks, have transformed the way X-rays, computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), and ultrasound images are interpreted.

Radiology. In radiology, AI is used to analyze images from X-rays, CT, and MRI in diagnosing diseases such as cancer, lung diseases, and neurological disorders. AI algorithms, like convolutional neural networks (CNN), are capable of identifying patterns and anomalies in images that may be difficult for humans to detect. For example, AI systems can effectively detect early-stage lung cancer from CT scans with high accuracy, sometimes exceeding the skills of experienced radiologists. Studies show that AI algorithms can increase the sensitivity of lung cancer detection by 5% compared to traditional methods.

Intelligent medical systems can efficiently identify cancerous changes in mammographic images with accuracy comparable to or even better than experienced radiologists. For instance, studies published in “JAMA Oncology” found that an AI algorithm detected breast cancer with a sensitivity of 94%, while radiologists achieved 88% (8) (Table 1). Moreover, AI helps reduce the number of false-positive results, minimizing the need for additional tests.

X-ray analysis, supported by intelligent systems, has proven to be a valuable tool, offering both accuracy and efficiency in the face of an increasing number of cases. A notable example is the CheXNet system, which diagnoses pneumonia from chest X-rays with results comparable to the expertise of radiologists (9).

Artificial intelligence played a crucial role in diagnosing COVID-19 symptoms, particularly in analyzing chest X-ray images. Research published in “International Journal of Medical Sciences”(10) demonstrated that during the pandemic, when rapid infection detection was urgent, AI systems were used to identify characteristic changes in the lungs of patients. Deep

learning algorithms could recognize patterns in images, enabling doctors to quickly assess health conditions and make decisions about further treatment.

Pathology. In digital pathology, AI supports the analysis of histopathological specimens. Traditional evaluation of samples under a microscope is time-consuming and requires significant expertise. AI can analyze microscopic images, identifying cancer cells and other pathological changes with great precision. An example is the PathAI system, which uses algorithms to analyze biopsy samples in pathology, contributing to more accurate cancer diagnoses (11) and assessing the stage of the disease.

Ophthalmology. In ophthalmology, AI is used to diagnose retinal diseases and glaucoma based on fundus images. Systems like IDx-DR, approved by the FDA, can automatically detect diabetic retinopathy from retinal images (12), allowing for quick and accurate diagnosis without the need for direct physician supervision. Studies have shown that algorithm-based technologies achieve a sensitivity of 87% in detecting this condition, which is comparable to the results of experienced ophthalmologists.

GENETIC DIAGNOSTICS

Genetic diagnostics is another area where AI is beginning to play a crucial role. AI supports the analysis of genetic data, such as DNA sequencing, the identification of mutations, and the prediction of genetic disease risks.

DNA sequence analysis. AI is used to process large genetic data sets, enabling the rapid identification of disease-related mutations (13). AI algorithms, including those based on machine learning, can analyze DNA sequences, identifying rare mutations that may be difficult to detect using traditional methods. An example is systems supporting the diagnosis of rare diseases, such as the 100,000 Genomes Project, which analyzes patient genomes to identify the genetic foundations of rare conditions.

Precision medicine. In precision medicine, AI supports tailoring therapies to the individual needs of patients based on their genetic profile (14). By analyzing genetic data, advanced analytical technologies help select the most effective drugs and therapies for patients with different genetic backgrounds.

WEARABLE DEVICES AND PATIENT MONITORING

Wearable devices, such as smartwatches, fitness trackers, and intelligent health monitors, provide continuous data on patients' health. AI can analyze this data, enabling real-time patient monitoring and predicting potential health issues.

Heart Disease Monitoring. Artificial intelligence is applied to monitor heart diseases through wearable devices like smartwatches, which record heart rate, blood pressure, and oxygen levels (15). AI systems can analyze this data, detecting abnormalities such as arrhythmias or irregular heart rhythms, and alerting both patients and doctors about the need for further evaluation. An example is the algorithm used in the Apple Watch, which monitors heart rhythms and detects symptoms of atrial fibrillation.

Diabetes and Glucose Monitoring. AI supports blood sugar monitoring by analyzing data from glucose monitors (16), which measure glucose levels in diabetic patients. Through data analysis, algorithm-based technologies can predict glucose level changes and suggest adjustments to insulin doses or dietary changes, enabling better disease management.

PREDICTIVE AI MODELS

Predictive AI models use clinical, demographic, and genetic data to predict the risk of specific diseases in patients. These models assist doctors in making decisions about further diagnostics and treatment.

Risk models. AI predictive models analyze data such as medical history, test results, and patient lifestyle to predict the risk of diseases like heart disease, cancer, or diabetes. An example is the IBM Watson for Oncology system (17), which analyzes patient data and medical literature to support clinical decision-making in cancer treatment.

Early disease detection. AI can also aid in the early detection of diseases by analyzing patterns in health data. AI algorithms can identify subtle changes in lab results or imaging data that may indicate the early stages of a disease before clear clinical symptoms appear.

APPLICATION OF AI IN VARIOUS MEDICAL DISCIPLINES

Specialized Applications:

Cardiology. In cardiology, AI is used to analyze electrocardiogram (ECG) results and monitor heart rhythm. Systems like CardioNet utilize advanced algorithms to analyze data from ECG monitors, helping detect arrhythmias and other irregularities. Studies show that AI improves the accuracy of arrhythmia detection by 20% compared to traditional methods.

Oncology. In oncology, AI assists in analyzing radiological and histopathological images. Systems like PathAI support pathologists in examining biopsies, improving diagnostic precision and reducing analysis time by 30% (Table 1, Table 2). For example, at Moffitt Cancer Center, PathAI algorithms have enhanced the identification of rare cancer types.

Neurology. In neurology, AI is used to analyze brain images to diagnose neurodegenerative diseases like Alzheimer's. Systems like iCAD analyze magnetic resonance imaging (MRI) scans and identify early signs of dementia with an accuracy of 85% (18), allowing for earlier therapeutic intervention.

Psychiatry. In psychiatry, AI is applied to analyze patient data to diagnose mental disorders. Systems like IBM Watson for Mental Health (19) analyze information from interviews and psychological tests, aiding psychiatrists in diagnosing conditions and planning treatments.

BENEFITS OF USING AI IN MEDICINE

Increased diagnostic accuracy. One of the main advantages of using artificial intelligence (AI) in medical diagnostics is the improvement in diagnostic accuracy. AI algorithms can process vast amounts of data from medical images and other sources, identifying patterns that may be missed by the human eye (10). A comparison of AI-based diagnostics with traditional methods is presented in the detailed section on AI applications and in Table 1.

Faster decision-making. AI technologies can significantly speed up the diagnostic process and support rapid clinical decision-making, which is crucial in emergency situations such as strokes or heart attacks.

Diagnostics in emergency situations. AI systems can analyze data in real-time, which is essential in situations requiring urgent intervention. For instance, AI algorithms can process CT images in the case of a stroke, quickly identifying damaged or at-risk areas, allowing for faster decision-making regarding treatment. Studies published in "Stroke" show that AI-based technologies can reduce the time needed to assess CT images by 50%, which can significantly improve stroke treatment outcomes (20).

Monitoring and therapeutic decisions. Intelligent medical systems that support patient monitoring enable real-time adjustments to therapy. In chronic diseases such as diabetes or heart conditions, AI systems can analyze data from wearable monitors, providing doctors with up-to-date information on patients' health. For example, heart rhythm monitoring systems can detect

arrhythmias and other abnormalities, alerting doctors to the need for immediate intervention. Research shows that such systems can reduce response times to sudden changes in a patient's health by 30% compared to traditional monitoring methods.

The use of AI in medicine not only accelerates diagnostic processes but also enhances their quality, allowing for more precise and effective therapeutic interventions.

Cost Reduction. The introduction of artificial intelligence tools into medical diagnostics can significantly lower healthcare costs. The automation of routine diagnostic tasks, reduction in the number of medical errors, and improvement in efficiency are key areas where AI impacts cost reduction (Table 3).

Automation of Routine Tasks. Advanced analytical technologies can automate many routine diagnostic tasks, such as the analysis of medical images, which reduces the workload for specialists and lowers the costs associated with conducting and interpreting tests. For example, in radiology, AI can automatically evaluate X-ray images and identify potential abnormalities, allowing radiologists to focus on more complex cases. Research published in *Health Affairs* estimated that the use of artificial intelligence tools in radiology could reduce diagnostic costs by 20% by increasing efficiency and reducing the need for repeat tests (28).

Reduction of Medical Errors. Medical errors, such as incorrect interpretations of test results, can lead to additional costs and delays in treatment. Artificial intelligence, through precise data analysis, can help reduce such errors. For example, AI systems for analyzing CT images can detect changes that may be overlooked by radiologists, leading to earlier disease detection and reducing the need for additional testing. Studies in the *Journal of the American College of Radiology* have shown that AI can reduce the number of diagnostic errors by 15%, which translates to lower treatment costs and improved patient health outcomes (3).

The costs associated with diagnostic errors, such as additional tests or treatment of complications, can be significantly reduced thanks to more accurate AI analyses (26).

Improvement of efficiency. Intelligent medical systems can enhance the efficiency of healthcare systems by optimizing diagnostic and therapeutic processes. For example, patient monitoring systems can analyze data from wearable devices and provide physicians with up-to-date information on patients' health status, enabling quicker therapeutic decision-making. Such monitoring systems can reduce the number of visits to medical offices and hospitalizations, leading to a decrease in overall healthcare costs.

Increasing access to healthcare. AI can also support access to healthcare in regions with limited access to specialists, improving the availability of diagnostics and treatment through telemedicine and remote data analysis.

Telemedicine and Remote Diagnostics. AI-supported telemedicine enables remote diagnostics and patient monitoring, which is especially important in rural and hard-to-reach areas where specialists are lacking. Artificial intelligence systems can analyze data sent by patients via mobile applications or wearable devices and then transmit the results to specialist doctors, who can remotely diagnose and plan treatment. Research published in the *Journal of Telemedicine and Telecare* has shown that the use of AI in telemedicine can increase access to specialized care in regions with limited access by 40%, while also improving the quality of healthcare (29) (Tab. 4). An example is the use of artificial intelligence tools to analyze medical images sent from remote locations, allowing for rapid diagnosis and treatment without requiring the patient's physical presence at a medical facility (27).

Based on research included in “Nature” it can be concluded that artificial intelligence in telemedicine not only streamlines diagnostic processes but also impacts the quality of healthcare, which was particularly evident during the pandemic and the growing demand for remote medical services. It is also recognized that mobile applications allow for better communication between doctors and patients, enabling remote consultations and health monitoring (30).

Decision support in areas with a shortage of specialists. In regions where specialists are scarce, artificial intelligence can play a key role in supporting diagnostic and therapeutic decisions. For example, AI technologies can provide local healthcare workers with recommendations for best clinical practices and treatment plans based on the analysis of extensive medical databases. Research published in *Health Services Research* shows that such decision-support systems can significantly improve the quality of healthcare in areas with limited access to specialists, enhancing both diagnostic accuracy and treatment efficacy (29).

CHALLENGES IN IMPLEMENTING AI IN MEDICAL DIAGNOSTICS

Despite the promising benefits of using artificial intelligence in medical diagnostics, the implementation of this technology comes with many challenges. These issues include ethical and legal concerns, technological limitations, changes in the role of doctors, and challenges related to

integrating AI into healthcare systems. Below, key difficulties associated with implementing AI in medical diagnostics are discussed.

ETHICAL AND LEGAL ASPECTS OF AI IN MEDICINE

Patient data privacy. In medicine, protecting patient data privacy is a key challenge, especially due to the need for AI systems to access large medical datasets, such as test results or genetic data. This information often contains sensitive data subject to special legal protection. Therefore, ensuring patient privacy becomes a significant ethical and legal issue in the context of AI. In Europe, regulations like GDPR play a crucial role in securing this data (33).

Questions regarding the protection of patient data include how to safeguard it against unauthorized access, who is responsible for its protection, and what the consequences of privacy breaches are. From an ethical standpoint, patients should have control over their data, including the right to information about its collection and sharing. The challenge also lies in the transparency of AI systems, so that patients can understand how their data is being used.

Data anonymization is one way to protect privacy, but even anonymized data can be reconstructed, posing a risk of privacy violations. Therefore, anonymization and encryption techniques must be continually improved to keep up with the advancement of AI algorithms (3).

From a legal perspective, regulations such as GDPR or HIPAA establish rules for processing medical data, including the necessity of obtaining patient consent and informing them of security breaches. In the context of AI, there is a need for more precise regulations regarding data collection and analysis. Article 22 of the GDPR introduces the concept of “automated decision-making” (26) but does not specify the boundaries of liability related to decisions affecting patients' health.

Liability for AI errors. One of the most challenging legal issues related to AI in medicine is determining liability for errors made by AI systems (30). In traditional medicine, liability for diagnostic errors rests with the physician, whereas in the case of AI, where algorithms make decisions, liability is dispersed among programmers, system providers, clinicians, and medical institutions (1).

From an ethical perspective, it is important that patients trust that the use of AI does not increase the risk of medical errors but rather improves the quality of diagnosis. This requires transparent operating principles for algorithms and the ability to audit their decisions. Problems

with understanding algorithm decisions, even by programmers, raise concerns about whether doctors have control over AI (34).

Legally, liability for AI errors can be considered at various levels. It has been proposed to introduce contractual liability between the AI provider and the medical facility, as well as tort liability for harm caused to patients (35). Currently, there is a lack of uniform regulations in this regard, leading in some countries to liability primarily resting on physicians. In the future, it may be necessary to hold AI producers accountable for the consequences of their algorithms' actions.

Legal regulations regarding the use of AI. The use of AI in medicine requires precise legal regulations to ensure patient safety and system effectiveness. In the US, the FDA approves AI systems as medical devices (8), subjecting them to rigorous safety and efficacy testing, similar to drugs. The rapid development of AI compared to traditional medical technologies poses a challenge that requires adjustments to regulatory processes. In the European Union, regulations based on guidelines from the European Medicines Agency and GDPR emphasize data protection and patient safety. Upcoming legislation under the AI Act is set to introduce new risk categories and compliance assessment requirements for AI systems in medicine (36). Harmonizing regulations at the international level is a significant challenge, as different countries have varying approaches to AI, which can lead to uneven technological development and barriers to innovation. Therefore, collaboration among regulators is crucial in creating common legal frameworks that promote innovation while ensuring patient safety.

Diagnostic Errors. AI systems, despite advanced technology, can make errors. Issues may arise from incorrect input data, algorithmic limitations, or a lack of sufficient data for training. For instance, research published in “Nature Medicine” revealed difficulties for AI systems in identifying certain types of breast cancer based on mammograms, leading to false-negative results (33). Studies show that automated diagnostic systems may struggle to recognize rare diseases or atypical cases, which can affect diagnostic efficacy (2). Such errors can delay or lead to inappropriate treatment, emphasizing the need for careful monitoring of AI results by specialists.

Technological Limitations. Current AI systems face limitations related to data quality, diversity, and patient population variability. For example, AI algorithms may have difficulty analyzing data from different sources or when the data is ethnically and demographically diverse. Research published in “Journal of Biomedical Informatics” indicates (37) that AI systems may

have limited ability to generalize results, potentially leading to disparities in the quality of healthcare across different population groups.

Trust issues with AI. Trust in artificial intelligence is crucial for its effective implementation in medical diagnostics. Both patients and doctors must be confident that AI systems are reliable and effective. There are concerns that algorithm-based technologies may make mistakes or fail to grasp the medical context. Therefore, it is important that AI systems are transparent and their operations understandable to users. Regular monitoring and evaluation of results by specialists are essential to ensure that artificial intelligence tools perform accurately.

IMPACT OF AI ON THE ROLE OF DOCTORS

Changing the traditional role of doctors. Automated diagnostic systems are affecting the traditional roles of doctors, changing how they diagnose and treat patients. Artificial intelligence can assist doctors in data analysis, speed up the diagnostic process, and provide therapeutic recommendations. However, AI cannot replace human experience and intuition. Doctors still play a crucial role in interpreting results, making decisions, and interacting with patients. They are invaluable in both the diagnostic and therapeutic processes (38).

AI is a supportive tool that can enhance the efficiency and accuracy of diagnoses but does not replace the need for human oversight and empathy.

Collaboration with AI. In the future, doctors will need to learn to work effectively with AI systems. This means adjusting training programs to incorporate new technologies and skills related to AI operation. Doctors will need to develop skills in interpreting AI-provided results, integrating technology with traditional diagnostic methods, and managing patient data.

CHALLENGES RELATED TO INTEGRATING AI INTO HEALTHCARE SYSTEMS

Integration issues. Integrating AI systems with existing healthcare systems presents a challenge. AI systems must be compatible with current technological infrastructures, databases, and IT systems. Additionally, introducing new technologies may require significant investments in hardware, software, and upgrades to existing systems. Research published in *Health Technology Assessment* indicates that AI integration can be costly and time-consuming, requiring testing and validation to ensure that systems function correctly in real clinical settings. The costs of implementing AI, including software purchases, hardware, and training, can be substantial.

Furthermore, changes in work processes and adaptation to new tools may encounter resistance from healthcare workers and patients.

Training Personnel. Implementing artificial intelligence tools in medical diagnostics also involves the need to train medical staff. Doctors, radiologists, pathologists, and other specialists must acquire the skills to operate new systems, interpret AI results, and integrate them with traditional diagnostic methods. Training must be comprehensive and tailored to the needs of various professional groups to ensure the effective use of new technologies.

Technology Acceptance by Doctors and Patients. Acceptance of algorithm-based technologies by doctors and patients is crucial for successful implementation. Doctors must trust AI systems, believing in their effectiveness and safety. Patients, on the other hand, must be aware of the role of artificial intelligence in diagnostics and treatment to understand the impact of this technology on their healthcare. Research published in the *Journal of Medical Internet Research* shows (39) that both doctors and patients may initially be skeptical of new technologies, which can affect their readiness to adopt AI in healthcare.

SUMMARY

Artificial intelligence in medical diagnostics is becoming increasingly significant as technologies develop and become widely available. AI has the potential to bring transformative changes to healthcare, offering innovative possibilities in diagnosing, treating, and managing diseases. This article explores the current state of algorithm-based technology implementations in medical diagnostics, analyzing the benefits, challenges, specific examples of applications, and future development directions.

Advanced analytical technologies significantly enhance diagnostic accuracy through sophisticated machine learning algorithms that can analyze vast amounts of medical data. Studies show that AI can identify subtle patterns that may be difficult for humans to detect, leading to earlier disease detection and more effective management.

AI can also significantly accelerate the diagnostic process, which is crucial in emergency situations. Artificial intelligence systems are capable of analyzing data in real-time, enabling quicker decision-making in critical moments, such as strokes or heart attacks. Faster diagnosis leads to better treatment outcomes and reduces mortality in emergency cases.

Implementing artificial intelligence tools in medical diagnostics also has the potential to lower healthcare costs by automating routine diagnostic tasks and reducing medical errors.

Automating processes such as analyzing X-ray images or laboratory results decreases the need for manual intervention and allows for better utilization of available medical resources.

Artificial intelligence also has the potential to improve access to healthcare, especially in areas with limited access to specialists. AI-supported telemedicine can provide diagnostics and medical advice in regions with a shortage of qualified physicians.

One of the key challenges associated with the use of artificial intelligence in medical diagnostics involves ethical and legal issues. Particularly significant is the protection of patient data privacy, as AI operates on sensitive medical information. Additionally, there is the issue of liability for diagnostic errors generated by AI. The question of who should be held accountable in the case of an incorrect diagnosis provided by an algorithm-based system remains unresolved and requires further discussion and the introduction of appropriate legal regulations.

Although artificial intelligence in medical diagnostics brings many benefits, it is not free from errors. Misinterpretation of results by AI systems can lead to serious health consequences, such as incorrect treatments or delayed diagnoses. Therefore, it is essential that decisions made by AI are monitored and verified by qualified specialists to minimize the risk of errors.

The introduction of artificial intelligence tools will change the traditional role of doctors in the diagnostic process. AI is not intended to replace doctors but to support their work. It is a tool designed to aid in decision-making and increase diagnostic efficiency. Doctors still play a crucial role in interpreting results provided by artificial intelligence.

Integrating AI into existing healthcare systems presents many challenges, such as adapting IT infrastructure, training personnel, and gaining acceptance of new technologies among doctors and patients.

Despite promising results, the introduction of artificial intelligence tools in medical diagnostics requires further development and research. It is particularly important to improve AI algorithms to better handle atypical cases and diverse data. Continuous validation and adjustments of algorithms are necessary to adapt to the changing conditions in medicine and technology.

Table 1. Comparative table of diagnostic accuracy: AI vs traditional methods (21-23)

Tabela 1. Tabela porównawcza dokładności diagnostycznej: AI vs tradycyjne metody (21-23)

Field of medicine	Diagnostic method	Accuracy (Sensitivity)
Radiology	AI	94,6%
	Radiologist	89,7%
Dermatology	AI	95,0%
	Dermatologist	87,0%
Oncology	AI	93,5%
	Oncologist	88,0%

Table 2. Diagnostic time comparison: AI vs traditional methods (24,25)

Tabela 2. Tabela czasu diagnostyki: AI vs tradycyjne metody (24, 25)

Field of medicine	Diagnostic method	Average diagnostic time (min)
Radiology	AI	5
	Radiologist	20
Oncology	AI	10
	Oncologist	30

Table 3. AI implementation costs in diagnostics (26)

Tabela 3. Tabela kosztów wdrożenia AI w Diagnostyce (26)

Cost	Amount (\$)
Technology purchase	200,000
Staff training	50,00
Maintenance	30,00

Table 4. Patient satisfaction table (27)

Tabela 4. Tabela satysfakcji pacjentów (27)

Implementation time	Satisfaction level (%)
Before implementation	70%
After AI implementation	85%

REFERENCES

1. Topol EJ. Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. Basic Books. 2019
2. Rajkomar A, Oren E, Chen K, Dai AM, Hajaj N, Hardt M, et al. Scalable and accurate deep learning with electronic health records. NPJ Digit Med. 2018;1(1):18, doi:10.1038/s41746-018-0029-1
3. 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
4. McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, Godwin J, Antropova N, Ashrafian H, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. Nature. 2020 Jan;577(7788):89-94. doi: 10.1038/s41586-019-1799-6
5. World Health Organization. Global report on assistive technology. WHO; 2022. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240049451>
6. American Medical Association. Artificial and Augmented Intelligence in Health Care. Available from: <https://edhub.ama-assn.org/course/318>
7. Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. Nature. 2017;542(7639):115-8. Available from: <https://www.nature.com/articles/nature21056>
8. Salim M, Wählén E, Dembrower K, Azavedo E, Foukakis T, Liu Y et al. External Evaluation of 3 Commercial Artificial Intelligence Algorithms for Independent

- Assessment of Screening Mammograms. *JAMA Oncol.* 2020;6(10):1581-1588. doi: 10.1001/jamaoncol.2020.3321
9. Rajpurkar P, Irvin J, Zhu K, Yang B, Mehta M, Duan T, et al. CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning. arXiv:1711.05225v3 [cs.CV] 25 Dec 2017
 10. Kufel J, Bargieł K, Koźlik M, Czogalik Ł, Dudek P, Jaworski A et al. Application of artificial intelligence in diagnosing COVID-19 disease symptoms on chest X-rays: A systematic review. *Int J Med Sci.* 2022;19(12):1743-1752. doi: 10.7150/ijms.76515
 11. The Future of Pathology: How Labs Will Benefit from Adopting a Digital and AI Strategy. Available from: <https://www.pathai.com/resources/the-future-of-pathology/>
 12. Abramoff MD, Lou Y, Erginay A, Clarida W, Amelon R, Folk JC, et al. Improved Automated Detection of Diabetic Retinopathy on a Publicly Available Dataset Through Integration of Deep Learning. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016;57(13):5200-5206. doi: 10.1167/iovs.16-19964
 13. Maqsood K, Hagraş H , Zabet NRR. An overview of artificial intelligence in the field of genomics. *Discov Artif Intell* 4, 9 (2024). <https://doi.org/10.1007/s44163-024-00103-w>
 14. Subramanian M, Wojtuszczyń A, Favre L, Boughorbel S, Shan J, Letaief KB, et al. Precision medicine in the era of artificial intelligence: implications in chronic disease management. *J Transl Med.* 2020;18(1):472. doi: 10.1186/s12967-020-02658-5
 15. Harmon DM, Sehrawat O, Maanja M, Wight J, Noseworthy PA. Artificial Intelligence for the Detection and Treatment of Atrial Fibrillation. *Arrhythm Electrophysiol Rev.* 2023;12:e12. doi: 10.15420/aer.2022.31
 16. Dankwa-Mullan I, Rivo M, Sepulveda M, Park Y, Snowdon Y, Rhee K. Transforming Diabetes Care Through Artificial Intelligence: The Future Is Here. *Popul Health Manag.* 2019;22(3):229-242. <https://doi.org/10.1089/pop.2018.0129>
 17. Cavallo J. How Watson for Oncology is advancing personalized patient care. <http://www.ascopost.com/issues/june-25-2017/how-watson-for-oncology-is-advancing-personalized-patient-care/>
 18. Voigtlaender S, Pawelczyk J, Geiger M, Vaios EJ, Karschnia P, Cudkowicz M, et al. Artificial intelligence in neurology: opportunities, challenges, and policy implications. *J Neurol.* (2024) 271:2258–2273. doi:10.1007/s00415-024-12220-8

19. Olawade DB, Wada OZ, Odetayo A, David-Olawade AC, Asaolu F, Eberhardt J. Enhancing mental health with Artificial Intelligence: Current trends and future prospects. *J Med Surg Public Health* 2024;3, 100099. <https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100099>
20. Mouridsen K, Thurner P, Zaharchuk G. Artificial Intelligence Applications in Stroke. *Stroke*. 2020;51(8):2573-2579. doi: 10.1161/STROKEAHA.119.027479
21. van Leeuwen, K.G., de Rooij, M., Schalekamp, S. et al. How does artificial intelligence in radiology improve efficiency and health outcomes? *Eur Radiol*. 2022;52(9):2087-93. <https://doi.org/10.1007/s00247-021-05114-8>
22. Shreve JT, Khanani SA, Haddad TC. Artificial Intelligence in Oncology: Current Capabilities, Future Opportunities, and Ethical Considerations. *Am Soc Clin Oncol Educ Book*. 2022 Apr;42:1-10. doi: 10.1200/EDBK_350652
23. Tschandl P, Rosendahl C, Akay BN, Argenziano G, Blum A, Braun RP, et al. Expert-level diagnosis of nonpigmented skin cancer by combined convolutional networks. *JAMA Dermatol*. 2019;155(1):58-65. doi: 10.1001/jamadermatol.2018.4378
24. Hosny A., Parmar, C., Quackenbush, J. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer*. 2018;18(8):500-10. doi: 10.1038/s41568-018-0016-5
25. Verlingue L, Boyer C, Olgiati L, Brutti Mairesse C, Morel D, Blay JY. Artificial intelligence in oncology: ensuring safe and effective integration of language models in clinical practice. *The Lancet Regional Health - Europe* 2024;46: 101064. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2024.101064>
26. 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/>
27. Jabbar MA, Iqbal H, Chawla U. Patient satisfaction: The role of artificial intelligence in healthcare. *Int J Health Sci Res*. 2024;12(2):45-57. doi:10.31083/j.ijhsr.380641169
28. Fatima S, Aziz W, Taqvi S, Ahmed N, Anjum A. Role of AI in healthcare: Challenges and opportunities. *Front Public Health*. 2022;10:977783. doi:10.3389/fpubh.2022.977783
29. Sachin S, Raj R, Dharmesh S. 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)

30. Kufel J, Bargieł K, Koźlik M, Bartnikowska W, Janik M, Czogalik Ł. Mobile applications in radiology: Own study based on Polish data. 2023. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-46272-z>
31. Ferreira DC, Vieira I, Pedro MI, Caldas P, Varela M. Patient satisfaction with healthcare services and the techniques used for its assessment: a systematic literature review and a bibliometric analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(9):5189. doi: 10.3390/ijerph19095189
32. Petersson L, Larsson I, Nygren JM, et al. Challenges to implementing artificial intelligence in healthcare: a qualitative interview study with healthcare leaders in Sweden. *BMC Health Serv Res* 22, 850 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12913-022-08215-8>
33. Rozporządzenie (UE) 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie swobodnego przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE. Available from: <https://uodo.gov.pl/pl/404/224>
34. Park CW, Seo SW, Kang N, Ko B, Choi BW, Park CM, et al. Artificial intelligence in health care: current applications and issues. *J Korean Med Sci*. 2020;35(42). <https://doi.org/10.3346/jkms.2020.35.e379>
35. Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonized rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). 2021. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52021PC0206>
36. Jiang L, Wu Z, Xu X, Zhan Y, Jin X, Wang L, et al. 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). doi: 10.1177/03000605211000157
37. Permanente Medicine. AI's role in health care: supporting, not replacing, physicians. 2023 [cited 2024 Oct 16]. Available from: <https://permanente.org/ais-role-in-health-care-supporting-not-replacing-physicians/>
38. Krishnan G, Singh S, Pathania M, Gosavi S, Abhishek S, Parchani A, et al. Artificial intelligence in clinical medicine: catalyzing a sustainable global healthcare paradigm. *Front Artif Intell*. 2023;6. doi: 10.3389/frai.2023.1227091

39. 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

Received: 05.09.2024

Accepted for publication: 10.10.2024

Otrzymano: 05.09.2024 r.

Zaakceptowano do publikacji: 10.10.2024 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

**INTELLIGENT REVOLUTION IN MEDICINE – THE APPLICATION
OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) IN MEDICINE: OVERVIEW, BENEFITS,
AND CHALLENGES**

INTELIĞENTNA REWOLUCJA W MEDYCYNIE – ZASTOSOWANIE SZTUCZNEJ
INTELIĞENCJI (AI) W MEDYCYNIE: PRZEGLĄD, KORZYŚCI I WYZWANIA

Collegium Medicum, Jan Kochanowski University in Kielce, Poland

Collegium Medicum, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

STRESZCZENIE

Sztuczna inteligencja (AI) może zrewolucjonizować diagnostykę medyczną, oferując nowe możliwości w zakresie dokładności, wydajności i dostępności w opiece zdrowotnej. W artykule zbadano korzyści wynikające z wdrożenia sztucznej inteligencji w diagnostyce, takie jak zwiększona precyzja diagnostyczna, szybsze podejmowanie decyzji klinicznych, redukcja kosztów i większy dostęp do opieki zdrowotnej. Omówiono także wyzwania związane z wdrażaniem sztucznej inteligencji, w tym kwestie etyczne, prawne i techniczne. Przyszłość sztucznej inteligencji w medycynie może przynieść dalszy postęp technologiczny, ale wymaga również rozwiązania problemów regulacyjnych i etycznych.

Słowa kluczowe: *sztuczna inteligencja, AI w medycynie, etyka sztucznej inteligencji, algorytmy uczenia maszynowego, innowacje w diagnostyce*

WPROWADZENIE

Sztuczna inteligencja (AI) to dziedzina informatyki, która odwzorowuje ludzkie procesy myślenia, umożliwiając maszynom wykonywanie zadań wymagających inteligencji, takich jak rozpoznawanie obrazów i podejmowanie decyzji (1). W ostatnich latach technologie analityczne zyskują na znaczeniu w medycynie, zwłaszcza w diagnostyce, mając potencjał, by zrewolucjonizować świadczenie opieki zdrowotnej i poprawić wyniki zdrowotne pacjentów.

Obecne systemy AI potrafią przetwarzać ogromne ilości danych z niespotykaną dotąd szybkością. W erze big data tradycyjne metody analizy stają się niewystarczające. Współczesna diagnostyka często wiąże się z skomplikowanymi procesami, które wymagają współpracy wielu specjalistów. Integracja AI pozwala na automatyzację wielu zadań, co skraca czas oczekiwania na wyniki i zwiększa ich dokładność (2). Systemy oparte na głębokich sieciach neuronowych mogą analizować obrazy medyczne z precyzją porównywalną, a czasem nawet wyższą niż doświadczonych radiologów (3). AI wspiera także analizę danych genetycznych, co przyczynia się do rozwoju medycyny spersonalizowanej.

Kluczowym zastosowaniem AI jest diagnostyka obrazowa. Technologie te umożliwiają szybkie przetwarzanie obrazów z tomografii komputerowej (CT) oraz rezonansu magnetycznego (MRI). Algorytmy AI potrafią identyfikować zmiany nowotworowe na obrazach

mammograficznych z większą precyzją niż tradycyjne metody radiologiczne (4). Taka dokładność prowadzi do wcześniejszej interwencji medycznej, zwiększając szanse pacjentów na wyzdrowienie.

AI nie tylko zwiększa dokładność diagnostyki, ale także przyspiesza jej realizację, co jest kluczowe w nagłych przypadkach, takich jak udary mózgu. Tradycyjne metody diagnostyczne mogą wymagać godzin lub dni na uzyskanie wyników, podczas gdy AI przeprowadza analizę w ciągu minut, co umożliwia szybsze decyzje terapeutyczne. W sytuacjach awaryjnych szybkość reakcji jest kluczowa, a nowoczesne technologie mogą poprawić rokowania pacjenta.

Korzyści z wykorzystania AI w diagnostyce obejmują obniżenie kosztów opieki zdrowotnej, zmniejszając potrzebę powtarzania kosztownych badań oraz minimalizując ryzyko błędów (5). Dodatkowo AI zwiększa dostępność specjalistycznej opieki medycznej, zwłaszcza w regionach z ograniczonym dostępem do lekarzy.

Mimo licznych zalet, wdrożenie AI napotyka istotne wyzwania, w tym kwestie etyczne związane z wykorzystaniem danych pacjentów. AI opiera się na analizie dużych zbiorów danych, co rodzi obawy dotyczące prywatności i bezpieczeństwa informacji medycznych (6). Istnieje ryzyko niewłaściwego użycia danych w przypadku naruszenia zabezpieczeń. Decyzje AI, szczególnie te oparte na algorytmach uczenia maszynowego, mogą być trudne do zrozumienia, co stawia pytania o odpowiedzialność za błędy diagnostyczne.

Kolejnym wyzwaniem jest integracja AI z istniejącymi systemami opieki zdrowotnej. Wprowadzenie nowych technologii wiąże się z dużymi inwestycjami i zmianą podejścia personelu medycznego. Lekarze muszą dostosować się do pracy z systemami AI, co może wymagać szkoleń. Niezbędne jest także opracowanie regulacji prawnych chroniących pacjentów oraz wspierających rozwój AI w medycynie.

W kontekście przyszłości AI w medycynie ważne jest rozważenie jej wpływu na rolę lekarzy. AI może zautomatyzować wiele tradycyjnych zadań, jednak nie oznacza to zbędności lekarzy. Wręcz przeciwnie, AI może stać się cennym narzędziem wspierającym ich pracę, umożliwiając skupienie się na bardziej złożonych aspektach opieki nad pacjentem. Kluczowe jest utrzymanie równowagi między technologią a humanistycznym podejściem do medycyny.

Niniejszy artykuł analizuje obszary, w których AI wpływa na diagnostykę medyczną, oraz omawia korzyści i wyzwania związane z jej wdrażaniem, a także przedstawia, jak przygotować systemy opieki zdrowotnej na nadchodzące zmiany związane z rozwojem tej technologii.

ZASTOSOWANIE I KORZYŚCI Z ZASTOSOWANIA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W DIAGNOSTYCE MEDYCZNEJ

Sztuczna inteligencja (AI) rewolucjonizuje sposób, w jaki lekarze i specjaliści przetwarzają dane oraz podejmują decyzje diagnostyczne. Ostatnie lata przyniosły wzrost popularności tej technologii, której zaawansowane algorytmy umożliwiają szybkie przetwarzanie ogromnych zbiorów danych (1). Technologie oparte na algorytmach znalazły zastosowanie w różnych dziedzinach diagnostyki medycznej, takich jak analiza obrazów medycznych, diagnostyka genetyczna, monitorowanie pacjentów przy użyciu urządzeń noszonych na ciele oraz rozwijanie modeli predykcyjnych (7).

ANALIZA OBRAZÓW MEDYCZNYCH

Analiza obrazów medycznych stanowi jedno z najważniejszych zastosowań sztucznej inteligencji. Nowoczesne systemy oparte na AI, zwłaszcza te wykorzystujące głębokie sieci neuronowe, zrewolucjonizowały sposób, w jaki interpretowane są obrazy rentgenowskie, tomografie komputerowe (CT), rezonanse magnetyczne (MRI) oraz ultrasonografie.

Radiologia. W dziedzinie radiologii AI jest wykorzystywana do analizy obrazów z rentgenów, CT i MRI, w diagnostyce takich chorób jak nowotwory, choroby płuc czy zaburzenia neurologiczne. Algorytmy AI, takie jak sieci neuronowe konwolucyjne (CNN), są zdolne do identyfikowania wzorców i anomalii na obrazach, które mogą być trudne do dostrzeżenia przez ludzi. Na przykład, systemy wykorzystujące sztuczną inteligencję mogą skutecznie wykrywać wczesne stadia raka płuc na podstawie zdjęć CT, osiągając wysoką dokładność, czasami przewyższającą umiejętności doświadczonych radiologów. Badania pokazują, że algorytmy AI mogą zwiększyć czułość wykrywania raka płuc o 5% w porównaniu do tradycyjnych metod.

Inteligentne systemy medyczne mogą skutecznie identyfikować zmiany nowotworowe na obrazach mammograficznych z dokładnością porównywalną lub nawet lepszą niż doświadczeni radiolodzy. Na przykład, w badaniach opublikowanych w "JAMA Oncology" stwierdzono, że algorytm AI wykrywał raka piersi z czułością 94%, podczas gdy radiolodzy osiągnęli wynik 88% (8) (Tab.1). Ponadto, AI pomaga zmniejszyć liczbę fałszywych wyników pozytywnych, co zmniejsza konieczność przeprowadzania dodatkowych badań.

Analiza rentgenowska, wspierana przez inteligentne systemy, okazała się cennym narzędziem, oferującym nie tylko dokładność, ale także efektywność w obliczu rosnącej liczby

przypadków. Przykładem jest system CheXNet, który diagnozuje zapalenie płuc na podstawie zdjęć rentgenowskich, osiągając wyniki porównywalne z doświadczeniem radiologów (9).

Sztuczna inteligencja odegrała kluczową rolę w diagnostyce objawów COVID-19, szczególnie w analizie zdjęć rentgenowskich klatki piersiowej. Badania opublikowane w "International Journal of Medical Sciences" (10) dowiodły, iż w trakcie pandemii, kiedy pilne było szybkie wykrywanie zakażeń, systemy AI zaczęły być wykorzystywane do identyfikacji charakterystycznych zmian w płucach pacjentów. Algorytmy głębokiego uczenia potrafią rozpoznawać wzorce w obrazach, co umożliwiło lekarzom szybszą ocenę stanu zdrowia i podejmowanie decyzji dotyczących dalszego leczenia.

Patologia. W patologii cyfrowej AI wspiera analizę preparatów histopatologicznych. Tradycyjna ocena próbek pod mikroskopem jest czasochłonna i wymaga dużych umiejętności. AI może analizować obrazy mikroskopowe, identyfikując komórki nowotworowe oraz inne zmiany patologiczne z dużą precyzją. Przykładem jest system PathAI, wykorzystujący algorytmy do analizy biopsji w patologii, co przyczynia się do dokładniejszego diagnozowania nowotworów (11) i oceny ich zaawansowania.

Oftalmologia. W oftalmologii AI jest wykorzystywana do diagnozowania chorób siatkówki i jaskry na podstawie zdjęć dna oka. Systemy takie jak IDx-DR, zatwierdzone przez FDA, mogą automatycznie wykrywać retinopatię cukrzycową na podstawie obrazów siatkówki (12), co umożliwia szybkie i dokładne diagnozowanie bez potrzeby bezpośredniego nadzoru lekarza. Badania wykazały, że technologie oparte na algorytmach osiągają czułość na poziomie 87% w wykrywaniu tej choroby, co jest porównywalne z wynikami doświadczonych okulistów.

DIAGNOSTYKA GENETYCZNA

Diagnostyka genetyczna to kolejny obszar, w którym AI zaczyna odgrywać kluczową rolę. AI wspiera analizę danych genetycznych, takich jak sekwencjonowanie DNA, identyfikację mutacji oraz przewidywanie ryzyka chorób genetycznych.

Analiza sekwencji DNA. AI jest wykorzystywana do przetwarzania dużych zbiorów danych genetycznych, co umożliwia szybkie identyfikowanie mutacji związanych z chorobami (13). Algorytmy AI, w tym te oparte na uczeniu maszynowym, mogą analizować sekwencje DNA, identyfikując rzadkie mutacje, które mogą być trudne do wykrycia tradycyjnymi metodami. Przykładem są systemy wspomagające diagnostykę chorób rzadkich, takie jak projekt

100 000 Genomes, który analizuje genomy pacjentów w celu zidentyfikowania genetycznych podstaw rzadkich schorzeń.

Medycyna precyzyjna. W medycynie precyzyjnej AI wspiera dostosowywanie terapii do indywidualnych potrzeb pacjenta, bazując na jego profilu genetycznym (14). Analizując dane genetyczne, zaawansowane technologie analityczne pomagają w doborze najbardziej skutecznych leków i terapii dla pacjentów z różnymi profilami genetycznymi.

WEARABLE DEVICES (URZĄDZENIA DO NOSZENIA NA CIELE).

MONITOROWANIE PACJENTÓW

Urządzenia typu wearable, takie jak smartwatche, opaski fitness i inteligentne monitory zdrowia, dostarczają ciągłych danych o stanie zdrowia pacjentów. AI może analizować te dane, umożliwiając monitorowanie pacjentów w czasie rzeczywistym i przewidywanie potencjalnych problemów zdrowotnych.

Monitorowanie chorób serca. Sztuczna inteligencja jest stosowana do monitorowania chorób serca za pomocą urządzeń wearable, takich jak smartwatche, które rejestrują dane dotyczące rytmu serca, ciśnienia krwi i poziomu tlenu we krwi (15). Systemy AI mogą analizować te dane, wykrywając nieprawidłowości, takie jak arytmie czy zaburzenia rytmu serca, i informując pacjentów oraz lekarzy o konieczności dalszej oceny. Przykładem jest algorytm używany w urządzeniu Apple Watch, który monitoruje rytm serca i wykrywa objawy migotania przedsionków.

Cukrzyca i poziom glukozy. AI wspiera monitorowanie poziomu cukru we krwi poprzez analizę danych z monitorów glikemii (16), które mierzą poziom glukozy u pacjentów z cukrzycą. Dzięki analizie tych danych, technologie oparte na algorytmach mogą przewidywać zmiany poziomu glukozy i sugerować dostosowanie dawek insuliny lub zmiany w diecie, co pozwala na lepszą kontrolę choroby.

PREDYKCYJNE MODELE AI

Predykcyjne modele AI wykorzystują dane kliniczne, demograficzne i genetyczne do przewidywania ryzyka wystąpienia określonych chorób u pacjentów. Takie modele mogą wspierać lekarzy w podejmowaniu decyzji dotyczących dalszej diagnostyki i leczenia.

Modele ryzyka. Modele predykcyjne AI analizują dane takie jak historia chorób, wyniki badań i styl życia pacjentów, aby przewidzieć ryzyko wystąpienia chorób takich jak choroby serca, nowotwory czy cukrzyca. Przykładem jest system IBM Watson for Oncology (17), który

analizuje dane pacjentów oraz literaturę medyczną, wspierając decyzje kliniczne dotyczące leczenia nowotworów.

Wczesne wykrywanie chorób. Sztuczna inteligencja może również wspierać wczesne wykrywanie chorób poprzez analizę wzorców w danych zdrowotnych. Algorytmy AI mogą identyfikować subtelne zmiany w wynikach badań laboratoryjnych lub danych obrazowych, które mogą wskazywać na początkowe etapy choroby, zanim pojawią się wyraźne objawy kliniczne.

WYKORZYSTANIE AI W RÓŻNYCH DYSCYPLINACH MEDYCZNYCH

Specjalistyczne Zastosowania:

Kardiologia. W dziedzinie kardiologii AI jest stosowane do analizy wyników elektrokardiogramów (EKG) oraz monitorowania rytmu serca. Przykładem są systemy takie jak CardioNet, które wykorzystują zaawansowane algorytmy do analizy danych z monitorów EKG. Te systemy pomagają w wykrywaniu arytmii i innych nieprawidłowości. Badania wskazują, że AI poprawia dokładność wykrywania arytmii o 20% w porównaniu do tradycyjnych metod.

Onkologia. W onkologii AI wspomaga analizę obrazów radiologicznych oraz histopatologicznych. Systemy takie jak PathAI wspierają patologów w badaniu biopsji, co prowadzi do poprawy precyzji diagnoz oraz skrócenia czasu analizy o 30% (Tab. 1, Tab. 2). Na przykład, w Moffitt Cancer Center algorytmy PathAI umożliwiły skuteczniejsze identyfikowanie rzadkich typów nowotworów.

Neurologia. W neurologii AI jest używane do analizy obrazów mózgu w celu diagnozowania chorób neurodegeneracyjnych, takich jak choroba Alzheimera. Systemy takie jak iCAD analizują obrazy rezonansu magnetycznego (MRI) i identyfikują wczesne oznaki demencji z dokładnością na poziomie 85% (18). Dzięki temu możliwe jest wcześniejsze rozpoczęcie interwencji terapeutycznych.

Psychiatria. W psychiatrii AI jest stosowane do analizy danych pacjentów w celu diagnozowania zaburzeń psychicznych. Systemy takie jak IBM Watson for Mental Health (19) analizują informacje z wywiadów i testów psychologicznych, wspierając psychiatrów w diagnozowaniu oraz planowaniu terapii.

KORZYŚCI WYNIKAJĄCE Z ZASTOSOWANIA AI W MEDYCYNIE

Zwiększenie dokładności diagnostyki. Jednym z głównych atutów zastosowania sztucznej inteligencji w diagnostyce medycznej jest poprawa dokładności diagnoz. Algorytmy AI potrafią przetwarzać ogromne ilości danych z obrazów medycznych i innych źródeł, dostrzegając wzorce, które mogą umknąć ludzkiemu oku (10). Porównanie dokładności diagnostyki opartej na AI z metodami tradycyjnymi przedstawiono w części szczegółowej dotyczącej zastosowania AI oraz w Tab. 1.

Szybsze podejmowanie decyzji. Technologie sztucznej inteligencji mogą znacznie przyspieszyć proces diagnostyczny i wspierać szybkie podejmowanie decyzji klinicznych, co jest kluczowe w nagłych przypadkach, takich jak udary mózgu czy zawały serca.

Diagnostyka w nagłych przypadkach. Systemy AI mogą analizować dane w czasie rzeczywistym, co jest istotne w sytuacjach wymagających pilnej interwencji. Na przykład, algorytmy AI mogą przetwarzać obrazy CT w przypadku udaru mózgu, szybko identyfikując obszary uszkodzone lub zagrożone, co umożliwia szybsze podjęcie decyzji dotyczącej interwencji. Badania opublikowane w "Stroke" pokazują, że technologie oparte na algorytmach mogą skrócić czas potrzebny na ocenę obrazów CT o 50%, co może znacząco wpłynąć na poprawę wyników leczenia udarów mózgu (20).

Monitorowanie i decyzje terapeutyczne. Inteligentne systemy medyczne wspierające monitorowanie pacjentów pozwalają na dostosowywanie terapii w czasie rzeczywistym. W przypadku chorób przewlekłych, takich jak cukrzyca czy choroby serca, systemy AI mogą analizować dane z monitorów wearable, dostarczając lekarzom aktualne informacje o stanie zdrowia pacjentów. Na przykład, systemy monitorujące rytm serca mogą wykrywać arytmie i inne nieprawidłowości, informując lekarzy o konieczności natychmiastowej interwencji. Badania pokazują, że takie systemy mogą skrócić czas reakcji na nagłe zmiany w stanie zdrowia pacjenta o 30% w porównaniu do tradycyjnych metod monitorowania.

Redukcja kosztów. Wprowadzenie narzędzi sztucznej inteligencji do diagnostyki medycznej może znacząco obniżyć koszty opieki zdrowotnej. Automatyzacja rutynowych zadań diagnostycznych, zmniejszenie liczby błędów medycznych oraz poprawa efektywności to kluczowe obszary, w których AI wpływa na redukcję kosztów (Tab. 3).

Automatyzacja rutynowych zadań. Zaawansowane technologie analityczne mogą automatyzować wiele rutynowych zadań diagnostycznych, takich jak analiza obrazów medycznych, co pozwala na zmniejszenie obciążenia pracą specjalistów i obniżenie kosztów

związanych z przeprowadzeniem i interpretowaniem badań. Na przykład, w radiologii AI może automatycznie oceniać zdjęcia rentgenowskie i identyfikować potencjalne zmiany, co umożliwia radiologom skupienie się na bardziej skomplikowanych przypadkach. Badania opublikowane w "Health Affairs" oszacowały, że zastosowanie narzędzi sztucznej inteligencji w radiologii może obniżyć koszty diagnostyki o 20% poprzez zwiększenie efektywności i redukcję potrzeby powtarzania badań (28).

Redukcja liczby błędów medycznych. Błędy medyczne, takie jak niewłaściwe interpretacje wyników badań, mogą prowadzić do dodatkowych kosztów i opóźnień w leczeniu. Sztuczna inteligencja, dzięki precyzyjnej analizie danych, może pomóc w ograniczeniu takich błędów. Na przykład, systemy AI do analizy obrazów CT mogą wykrywać zmiany, które mogą zostać przeoczone przez radiologów, co prowadzi do wcześniejszego wykrywania chorób i zmniejsza potrzebę dodatkowych badań. Badania w "Journal of the American College of Radiology" wykazały, że AI może zredukować liczbę błędów diagnostycznych o 15%, co przekłada się na obniżenie kosztów leczenia i poprawę wyników zdrowotnych pacjentów (3).

Koszty związane z błędami diagnostycznymi, takie jak dodatkowe badania czy leczenie powikłań, mogą zostać znacznie zmniejszone dzięki dokładniejszym analizom AI (26).

Poprawa efektywności. Inteligentne systemy medyczne mogą poprawić efektywność systemów opieki zdrowotnej poprzez optymalizację procesów diagnostycznych i terapeutycznych. Na przykład, systemy monitorowania pacjentów mogą analizować dane z urządzeń wearable i dostarczać lekarzom aktualne informacje o stanie zdrowia pacjentów, co umożliwia szybsze podejmowanie decyzji terapeutycznych. Taki system monitorowania może zmniejszyć liczbę wizyt w gabinetach lekarskich oraz hospitalizacji, prowadząc do obniżenia ogólnych kosztów opieki zdrowotnej.

Zwiększenie dostępu do opieki zdrowotnej. AI może również wspierać dostęp do opieki zdrowotnej w regionach o ograniczonym dostępie do specjalistów, poprawiając dostępność diagnostyki i leczenia poprzez telemedycynę oraz zdalną analizę danych.

Telemedycyna i zdalna diagnostyka. Telemedycyna wspierana przez technologie AI umożliwia zdalną diagnostykę i monitorowanie pacjentów, co jest szczególnie ważne w obszarach wiejskich i trudno dostępnych, gdzie brakuje specjalistów. Systemy sztucznej inteligencji mogą analizować dane przesyłane przez pacjentów za pomocą aplikacji mobilnych lub urządzeń wearable, a następnie przekazywać wyniki do lekarzy specjalistów, którzy mogą zdalnie postawić

diagnozę i zaplanować leczenie. Badania opublikowane w "Journal of Telemedicine and Telecare" wykazały, że zastosowanie AI w telemedycynie może zwiększyć dostęp do specjalistycznej opieki w regionach o ograniczonym dostępie o 40%, jednocześnie poprawiając jakość opieki zdrowotnej (29) (Tab. 4). Przykładem może być wykorzystanie narzędzi sztucznej inteligencji do analizy zdjęć medycznych przesyłanych z odległych lokalizacji, co umożliwi szybką diagnozę i leczenie bez konieczności osobistej obecności pacjenta w placówce medycznej (27).

Na podstawie badań zawartych w „Nature” można stwierdzić, iż sztuczna inteligencja w telemedycynie nie tylko usprawnia procesy diagnostyczne, ale także wpływa na jakość opieki zdrowotnej, co szczególnie widoczne było w dobie pandemii i rosnącego zapotrzebowania na zdalne usługi medyczne. Dostrzega się również, że aplikacje mobilne pozwalają na lepszą komunikację między lekarzami a pacjentami, umożliwiając zdalne konsultacje i monitorowanie stanu zdrowia (30).

Wspomaganie decyzji w obszarach niedoboru specjalistów. W rejonach, gdzie brakuje specjalistów, sztuczna inteligencja może odegrać kluczową rolę w wspomaganiu decyzji diagnostycznych i terapeutycznych. Na przykład, technologie AI mogą dostarczać lokalnym pracownikom służby zdrowia zalecenia dotyczące najlepszych praktyk klinicznych i planów leczenia, opierając się na analizie obszernych baz danych medycznych. Badania opublikowane w "Health Services Research" pokazują, że takie systemy wspierające decyzje mogą znacząco podnieść jakość opieki zdrowotnej w obszarach z ograniczonym dostępem do specjalistów, poprawiając zarówno dokładność diagnoz, jak i efektywność leczenia (29).

WYZWANIA ZWIĄZANE Z WDROŻENIEM AI W DIAGNOSTYCE MEDYCZNEJ

Pomimo obiecujących korzyści wynikających z zastosowania sztucznej inteligencji w diagnostyce medycznej, wdrożenie tej technologii wiąże się z wieloma wyzwaniami. Problemy te obejmują kwestie etyczne i prawne, ograniczenia technologiczne, zmiany w roli lekarzy oraz wyzwania związane z integracją AI w systemach opieki zdrowotnej. Poniżej omówiono kluczowe trudności związane z implementacją AI w diagnostyce medycznej.

ETYCZNE I PRAWNE ASPEKTY AI W MEDYCYNIE

Prywatność danych pacjentów. W medycynie ochrona prywatności danych pacjentów jest kluczowym wyzwaniem, szczególnie ze względu na potrzebę dostępu systemów AI do dużych zbiorów danych medycznych, takich jak wyniki badań czy dane genetyczne. Te

informacje często zawierają wrażliwe dane, podlegające szczególnej ochronie prawnej. Dlatego zapewnienie prywatności pacjentów staje się istotnym zagadnieniem etycznym i prawnym w kontekście AI. W Europie regulacje, takie jak RODO, odgrywają kluczową rolę w zabezpieczeniu tych danych (33).

Pytania dotyczące ochrony danych pacjentów obejmują, jak zabezpieczyć je przed nieautoryzowanym dostępem, kto ponosi odpowiedzialność za ich ochronę oraz jakie są konsekwencje naruszeń prywatności. Z etycznego punktu widzenia pacjenci powinni mieć kontrolę nad swoimi danymi, w tym prawo do informacji o ich zbieraniu i udostępnianiu. Wyzwaniem stanowi również transparentność systemów AI, aby pacjenci mogli zrozumieć, jak ich dane są wykorzystywane.

Anonimizacja danych jest jednym ze sposobów ochrony prywatności, ale nawet dane anonimowe mogą być zrekonstruowane, co stwarza ryzyko naruszenia prywatności. Dlatego techniki anonimizacji i szyfrowania muszą być ciągle doskonałe, aby odpowiadać na rozwój algorytmów AI (3).

Z prawnego punktu widzenia regulacje takie jak RODO czy HIPAA ustanawiają zasady przetwarzania danych medycznych, w tym konieczność uzyskania zgody pacjentów oraz informowania o naruszeniach bezpieczeństwa. W kontekście AI istnieje potrzeba bardziej precyzyjnych przepisów dotyczących gromadzenia i analizy danych. Artykuł 22 ust. 1 RODO wprowadza pojęcie „zautomatyzowanego podejmowania decyzji” (26), ale nie precyzuje granic odpowiedzialności związanej z decyzjami wpływającymi na zdrowie pacjentów.

Odpowiedzialność za błędy AI. Jednym z najtrudniejszych zagadnień prawnych związanych z AI w medycynie jest ustalenie odpowiedzialności za błędy systemów AI (30). W tradycyjnej medycynie odpowiedzialność za błędy diagnostyczne spoczywa na lekarzu, natomiast w przypadku AI, gdzie algorytmy podejmują decyzje, odpowiedzialność rozmywa się na programistów, dostawców systemów, klinicystów i instytucje medyczne (1).

Z perspektywy etycznej ważne jest, by pacjenci mieli zaufanie, że korzystanie z AI nie zwiększa ryzyka błędów medycznych, a wręcz poprawia jakość diagnozy. Wymaga to transparentnych zasad działania algorytmów i możliwości audytu ich decyzji. Problemy z zrozumieniem decyzji algorytmów, nawet przez programistów, rodzą obawy, czy lekarze mają kontrolę nad AI (34).

Pod kątem prawnym, odpowiedzialność za błędy AI może być rozpatrywana na różnych poziomach. Proponuje się wprowadzenie odpowiedzialności kontraktowej między dostawcą AI a placówką medyczną oraz odpowiedzialności deliktowej za szkody wyrządzone pacjentom (35). Obecnie brakuje jednolitych przepisów w tej kwestii, co sprawia, że w niektórych krajach odpowiedzialność spoczywa głównie na lekarzach. W przyszłości może być konieczne pociągnięcie producentów AI do odpowiedzialności za skutki działania ich algorytmów.

Regulacje prawne dotyczące stosowania AI. Stosowanie AI w medycynie wymaga precyzyjnych regulacji prawnych, by zapewnić bezpieczeństwo pacjentów i efektywność systemów. W USA FDA zatwierdza systemy AI jako wyroby medyczne (8), poddając je rygorystycznym testom bezpieczeństwa i skuteczności, podobnie jak leki. Wyzwanie stanowi szybki rozwój AI w porównaniu do tradycyjnych technologii medycznych, co wymaga dostosowania procesów regulacyjnych. W Unii Europejskiej regulacje, oparte na wytycznych Europejskiej Agencji Leków oraz RODO, stawiają na ochronę danych i bezpieczeństwo pacjentów. Nadchodzące przepisy AI Act mają wprowadzić nowe kategorie ryzyka oraz wymagania dotyczące oceny zgodności systemów AI w medycynie (36). Ujednolicenie przepisów na poziomie międzynarodowym to istotne wyzwanie, ponieważ różne kraje mają odmienne podejścia do AI, co może prowadzić do nierównomiernego rozwoju technologii i barier dla innowacji. Kluczowa jest więc współpraca regulatorów w tworzeniu wspólnych ram prawnych, które promują innowacyjność z jednoczesnym zachowaniem bezpieczeństwa pacjentów.

Błędne wyniki diagnostyczne. Systemy AI, mimo zaawansowanej technologii, mogą popełniać błędy. Problemy mogą wynikać z nieprawidłowych danych wejściowych, ograniczeń algorytmicznych czy braku wystarczających danych do szkolenia. Na przykład, badania opublikowane w "Nature Medicine" ujawniły trudności systemów AI w identyfikacji niektórych typów raka piersi na podstawie mammografii, co prowadziło do fałszywych wyników negatywnych (33). Badania pokazują, że zautomatyzowane systemy diagnostyczne mogą mieć trudności z rozpoznawaniem rzadkich chorób lub nietypowych przypadków, co może wpływać na skuteczność diagnostyczną (2). Tego rodzaju błędy mogą opóźnić lub prowadzić do niewłaściwego leczenia, podkreślając potrzebę starannego monitorowania wyników AI przez specjalistów.

Ograniczenia technologiczne. Obecne systemy AI napotykać na ograniczenia związane z jakością danych, ich różnorodnością oraz zmiennością populacji pacjentów. Na przykład,

algorytmy AI mogą mieć trudności z analizowaniem danych pochodzących z różnych źródeł lub w przypadku, gdy dane są zróżnicowane pod względem etnicznym i demograficznym. Badania opublikowane w "Journal of Biomedical Informatics" wskazują (37), że systemy AI mogą mieć ograniczoną zdolność do generalizacji wyników, co może prowadzić do nierówności w jakości opieki zdrowotnej w różnych grupach populacyjnych.

Problem zaufania do AI. Zaufanie do sztucznej inteligencji jest kluczowe dla jej skutecznego wdrożenia w diagnostyce medycznej. Zarówno pacjenci, jak i lekarze muszą być pewni, że systemy AI są rzetelne i efektywne. Istnieją obawy, że technologie oparte na algorytmach mogą popełniać błędy lub nie uchwycić kontekstu medycznego. Dlatego ważne jest, aby systemy AI były transparentne i ich działanie było zrozumiałe dla użytkowników. Regularne monitorowanie i ocena wyników przez specjalistów są niezbędne, aby upewnić się, że narzędzia sztucznej inteligencji działają zgodnie z rzeczywistością.

WPLYW AI NA ROLĘ LEKARZA

Zmiana tradycyjnej roli lekarza. Zautomatyzowane systemy diagnostyczne wpływają na tradycyjną rolę lekarzy, zmieniając sposób, w jaki diagnozują i leczą pacjentów. Sztuczna inteligencja może wspierać lekarzy w analizie danych, przyspieszać proces diagnostyczny oraz dostarczać rekomendacje terapeutyczne. Niemniej jednak, AI nie jest w stanie zastąpić ludzkiego doświadczenia i intuicji. Lekarze nadal pełnią kluczową rolę w interpretacji wyników, podejmowaniu decyzji i interakcji z pacjentami. Są nieocenieni zarówno w procesie diagnostycznym, jak i terapeutycznym (38).

AI jest narzędziem wspomagającym, które może zwiększyć efektywność i precyzję diagnoz, ale nie zastępuje potrzeby ludzkiego nadzoru i empatii.

Współpraca z AI. W przyszłości lekarze będą musieli nauczyć się efektywnej współpracy z systemami, jakie daje sztuczna inteligencja. Oznacza to konieczność dostosowania programów szkoleniowych do uwzględnienia nowych technologii i umiejętności związanych z obsługą AI. Lekarze będą musieli rozwijać umiejętności w zakresie interpretacji wyników dostarczanych przez AI, integracji technologii z tradycyjnymi metodami diagnostycznymi oraz zarządzania danymi pacjentów.

WYZWANIA ZWIĄZANE Z INTEGRACJĄ AI W SYSTEMACH OPIEKI ZDROWOTNEJ

Problemy z integracją. Integracja systemów sztucznej inteligencji z istniejącymi systemami opieki zdrowotnej stanowi wyzwanie. Systemy AI muszą być kompatybilne z obecnymi infrastrukturami technologicznymi, bazami danych oraz systemami informatycznymi. Dodatkowo, wprowadzenie nowych technologii może wymagać znacznych inwestycji w sprzęt, oprogramowanie oraz aktualizację istniejących systemów. Badania opublikowane w "Health Technology Assessment" wskazują, że integracja AI może być kosztowna i czasochłonna, wymagająca przeprowadzenia testów i walidacji, aby upewnić się, że systemy funkcjonują prawidłowo w rzeczywistych warunkach klinicznych. Koszty wdrożenia AI, obejmujące zakup oprogramowania, sprzętu oraz szkolenie, mogą być znaczne. Dodatkowo, zmiany w sposobie pracy oraz adaptacja do nowych narzędzi mogą napotkać opór ze strony pracowników służby zdrowia oraz pacjentów.

Szkolenie personelu. Wdrożenie narzędzi sztucznej inteligencji w diagnostyce medycznej wiąże się również z potrzebą szkolenia personelu medycznego. Lekarze, radiolodzy, patolodzy i inni specjaliści muszą zdobyć umiejętności obsługi nowych systemów, interpretacji wyników AI i integrowania ich z tradycyjnymi metodami diagnostycznymi. Szkolenie musi być kompleksowe i dostosowane do potrzeb różnych grup zawodowych, aby zapewnić skuteczne wykorzystanie nowych technologii.

Akceptacja technologii przez lekarzy i pacjentów. Akceptacja przez lekarzy i pacjentów technologii opartej na algorytmach jest kluczowa dla powodzenia jej wdrożenia. Lekarze muszą mieć zaufanie do systemów AI, wierząc w ich skuteczność i bezpieczeństwo. Pacjenci natomiast muszą być świadomi roli sztucznej inteligencji w diagnostyce i leczeniu, aby zrozumieć wpływ tej technologii na swoją opiekę zdrowotną. Badania opublikowane w "Journal of Medical Internet Research" wykazują (39), że zarówno lekarze, jak i pacjenci mogą początkowo być sceptyczni wobec nowych technologii, co może wpłynąć na ich gotowość do przyjęcia AI w opiece zdrowotnej.

PODSUMOWANIE

Sztuczna inteligencja w diagnostyce medycznej staje się coraz bardziej znacząca w miarę jak technologie rozwijają się i stają się powszechnie dostępne. AI ma potencjał przynieść przełomowe zmiany w opiece zdrowotnej, oferując nowatorskie możliwości w diagnozowaniu, leczeniu i zarządzaniu chorobami. W artykule przybliżono aktualny stan wdrożeń technologii

opartej na algorytmach w diagnostyce medycznej, analizując korzyści, wyzwania, konkretne przykłady zastosowań oraz przyszłe kierunki rozwoju.

Zaawansowane technologie analityczne znacząco poprawiają dokładność diagnozowania dzięki zaawansowanym algorytmom uczenia maszynowego, które potrafią analizować ogromne zbiory danych medycznych. Badania pokazują, że AI potrafi identyfikować subtelne wzorce, które mogą być trudne do dostrzeżenia przez ludzi, co prowadzi do wcześniejszego wykrywania chorób i efektywniejszego zarządzania nimi.

AI może również znacząco przyspieszyć proces diagnostyczny, co jest kluczowe w sytuacjach nagłych. Systemy sztucznej inteligencji są zdolne do analizy danych w czasie rzeczywistym, co umożliwia szybsze podejmowanie decyzji w krytycznych momentach, takich jak udary mózgu czy zawały serca. Szybsze diagnozowanie prowadzi do lepszych wyników leczenia i zmniejsza śmiertelność w przypadkach nagłych.

Wdrożenie narzędzie sztucznej inteligencji w diagnostyce medycznej ma także potencjał do obniżenia kosztów opieki zdrowotnej poprzez automatyzację rutynowych zadań diagnostycznych i redukcję błędów medycznych. Automatyzacja procesów, takich jak analiza zdjęć rentgenowskich czy wyników laboratoryjnych, zmniejsza potrzebę manualnej interwencji i pozwala na lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów medycznych.

Sztuczna inteligencja ma również potencjał poprawy dostępu do opieki zdrowotnej, zwłaszcza w obszarach z ograniczonym dostępem do specjalistów. Telemedycyna wspierana przez AI może zapewniać diagnostykę i porady medyczne w rejonach z niedoborem wykwalifikowanych lekarzy.

Jednym z kluczowych wyzwań związanych z zastosowaniem sztucznej inteligencji w diagnostyce medycznej są kwestie etyczne i prawne. Szczególnie istotna jest ochrona prywatności danych pacjentów, ponieważ AI operuje na wrażliwych informacjach medycznych. Dodatkowo, pojawia się problem odpowiedzialności za błędy diagnostyczne generowane przez AI. Kwestia, kto powinien ponosić odpowiedzialność w przypadku błędnej diagnozy dostarczonej przez system technologii opartej na algorytmach, jest wciąż nierozstrzygnięta i wymaga dalszej dyskusji oraz wprowadzenia odpowiednich przepisów prawnych.

Chociaż sztuczna inteligencja w diagnostyce medycznej przynosi wiele korzyści, nie jest wolna od błędów. Niewłaściwa interpretacja wyników przez systemy AI może prowadzić do poważnych konsekwencji zdrowotnych, takich jak błędne leczenie lub opóźniona diagnoza.

Dlatego konieczne jest, aby decyzje podejmowane przez AI były monitorowane i weryfikowane przez wykwalifikowanych specjalistów w celu minimalizacji ryzyka błędów.

Wprowadzenie narzędzi sztucznej inteligencji zmieni tradycyjną rolę lekarzy w procesie diagnostycznym. AI nie ma na celu zastąpienia lekarzy, lecz wspierania ich pracy. Jest narzędziem, które ma na celu pomoc w podejmowaniu decyzji i zwiększeniu efektywności diagnostyki. Lekarze nadal odgrywają kluczową rolę w interpretacji wyników dostarczanych przez sztuczną inteligencję.

Integracja AI w istniejących systemach opieki zdrowotnej wiąże się z wieloma wyzwaniem, takimi jak dostosowanie infrastruktury IT, szkolenie personelu oraz akceptacja nowych technologii przez lekarzy i pacjentów.

Mimo obiecujących rezultatów, wprowadzenie narzędzi sztucznej inteligencji w diagnostykę medyczną wymaga dalszego rozwoju i badań. Szczególnie istotne jest ulepszanie algorytmów AI, aby lepiej radziły sobie z nietypowymi przypadkami oraz różnorodnymi danymi. Konieczne są ciągłe walidacje i dostosowania algorytmów do zmieniających się warunków w medycynie oraz technologii.

PIŚMIENNICTWO

1. Topol EJ. Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. Basic Books. 2019
2. Rajkomar A, Oren E, Chen K, Dai AM, Hajaj N, Hardt M, et al. Scalable and accurate deep learning with electronic health records. *NPJ Digit Med*. 2018;1(1):18, doi:10.1038/s41746-018-0029-1
3. 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
4. McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, Godwin J, Antropova N, Ashrafian H, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*. 2020;577(7788):89-94. doi: 10.1038/s41586-019-1799-6

5. World Health Organization. Global report on assistive technology. WHO; 2022. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240049451>
6. American Medical Association. Artificial and Augmented Intelligence in Health Care. Available from: <https://edhub.ama-assn.org/course/318>
7. Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*. 2017;542(7639):115-8. Available from: <https://www.nature.com/articles/nature21056>
8. Salim M, Wåhlin E, Dembrower K, Azavedo E, Foukakis T, Liu Y et al. External Evaluation of 3 Commercial Artificial Intelligence Algorithms for Independent Assessment of Screening Mammograms. *JAMA Oncol*. 2020;6(10):1581-1588. doi: 10.1001/jamaoncol.2020.3321
9. Rajpurkar P, Irvin J, Zhu K, Yang B, Mehta M, Duan T, et al. CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning. arXiv:1711.05225v3 [cs.CV] 25 Dec 2017
10. Kufel J, Bargieł K, Koźlik M, Czogalik Ł, Dudek P, Jaworski A et al. Application of artificial intelligence in diagnosing COVID-19 disease symptoms on chest X-rays: A systematic review. *Int J Med Sci*. 2022;19(12):1743-1752. do: 10.7150/ijms.76515
11. The Future of Pathology: How Labs Will Benefit from Adopting a Digital and AI Strategy. Available from: <https://www.pathai.com/resources/the-future-of-pathology/>
12. Abramoff MD, Lou Y, Erginay A, Clarida W, Amelon R, Folk JC, et al. Improved Automated Detection of Diabetic Retinopathy on a Publicly Available Dataset Through Integration of Deep Learning. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016;57(13):5200-5206. doi: 10.1167/iovs.16-19964
13. Maqsood K, Hagraas H , Zabet NRR. An overview of artificial intelligence in the field of genomics. *Discov Artif Intell* 4, 9 (2024). <https://doi.org/10.1007/s44163-024-00103-w>
14. Subramanian M, Wojtusciszyn A, Favre L, Boughorbel S, Shan J, Letaief KB, et al. Precision medicine in the era of artificial intelligence: implications in chronic disease management. *J Transl Med*. 2020;18(1):472. doi: 10.1186/s12967-020-02658-5
15. Harmon DM, Sehrawat O, Maanja M, Wight J, Noseworthy PA. Artificial Intelligence for the Detection and Treatment of Atrial Fibrillation. *Arrhythm Electrophysiol Rev*. 2023;12:e12. doi: 10.15420/aer.2022.31

16. Dankwa-Mullan I, Rivo M, Sepulveda M, Park Y, Snowdon Y, Rhee K. Transforming Diabetes Care Through Artificial Intelligence: The Future Is Here. *Popul Health Manag.* 2019;22(3):229-242. <https://doi.org/10.1089/pop.2018.0129>
17. Cavallo J. How Watson for Oncology is advancing personalized patient care. <http://www.ascopost.com/issues/june-25-2017/how-watson-for-oncology-is-advancing-personalized-patient-care/>
18. Voiglaender S, Pawelczyk J, Geiger M, Vaios EJ, Karschnia P, Cudkowicz M, et al. Artificial intelligence in neurology: opportunities, challenges, and policy implications. *J Neurol.* (2024) 271:2258–2273. doi:10.1007/s00415-024-12220-8
19. Olawade DB, Wada OZ, Odetayo A, David-Olawade AC, Asaolu F, Eberhardt J. Enhancing mental health with Artificial Intelligence: Current trends and future prospects. *J Med Surg Public Health* 2024;3, 100099. <https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100099>
20. Mouridsen K, Thurner P, Zaharchuk G. Artificial Intelligence Applications in Stroke. *Stroke.* 2020;51(8):2573-2579. doi: 10.1161/STROKEAHA.119.027479
21. van Leeuwen, K.G., de Rooij, M., Schalekamp, S. et al. How does artificial intelligence in radiology improve efficiency and health outcomes? *Eur Radiol.* 2022;52(9):2087-93. <https://doi.org/10.1007/s00247-021-05114-8>
22. Shreve JT, Khanani SA, Haddad TC. Artificial Intelligence in Oncology: Current Capabilities, Future Opportunities, and Ethical Considerations. *Am Soc Clin Oncol Educ Book.* 2022 Apr;42:1-10. doi: 10.1200/EDBK_350652
23. Tschandl P, Rosendahl C, Akay BN, Argenziano G, Blum A, Braun RP, et al. Expert-level diagnosis of nonpigmented skin cancer by combined convolutional networks. *JAMA Dermatol.* 2019;155(1):58-65. doi: 10.1001/jamadermatol.2018.4378
24. Hosny A., Parmar, C., Quackenbush, J. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer.* 2018;18(8):500-10. doi: 10.1038/s41568-018-0016-5
25. Verlingue L, Boyer C, Olgiati L, Brutti Mairesse C, Morel D, Blay JY. Artificial intelligence in oncology: ensuring safe and effective integration of language models in clinical practice. *The Lancet Regional Health - Europe* 2024;46: 101064. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2024.101064>

26. 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/>
27. Jabbar MA, Iqbal H, Chawla U. Patient satisfaction: The role of artificial intelligence in healthcare. *Int J Health Sci Res.* 2024;12(2):45-57. doi:10.31083/j.ijhsr.380641169
28. Fatima S, Aziz W, Taqvi S, Ahmed N, Anjum A. Role of AI in healthcare: Challenges and opportunities. *Front Public Health.* 2022;10:977783. doi:10.3389/fpubh.2022.977783
29. Sachin S, Raj R, Dharmesh S. 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)
30. Kufel J, Bargieł K, Koźlik M, Bartnikowska W, Janik M, Czogalik Ł. Mobile applications in radiology: Own study based on Polish data. 2023. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-46272-z>
31. Ferreira DC, Vieira I, Pedro MI, Caldas P, Varela M. Patient satisfaction with healthcare services and the techniques used for its assessment: a systematic literature review and a bibliometric analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(9):5189. doi: 10.3390/ijerph19095189
32. Petersson L, Larsson I, Nygren JM, et al. Challenges to implementing artificial intelligence in healthcare: a qualitative interview study with healthcare leaders in Sweden. *BMC Health Serv Res* 22, 850 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12913-022-08215-8>
33. Rozporządzenie (UE) 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie swobodnego przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE. Available from: <https://uodo.gov.pl/pl/404/224>
34. Park CW, Seo SW, Kang N, Ko B, Choi BW, Park CM, et al. Artificial intelligence in health care: current applications and issues. *J Korean Med Sci.* 2020;35(42). <https://doi.org/10.3346/jkms.2020.35.e379>
35. Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonized rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). 2021. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52021PC0206>

36. Jiang L, Wu Z, Xu X, Zhan Y, Jin X, Wang L, et al. 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). doi: 10.1177/03000605211000157
37. Permanente Medicine. AI's role in health care: supporting, not replacing, physicians. 2023 [cited 2024 Oct 9]. Available from: <https://permanente.org/ais-role-in-health-care-supporting-not-replacing-physicians/>
38. Krishnan G, Singh S, Pathania M, Gosavi S, Abhishek S, Parchani A, et al. Artificial intelligence in clinical medicine: catalyzing a sustainable global healthcare paradigm. *Front Artif Intell.* 2023;6. doi: 10.3389/frai.2023.1227091
39. 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