



Przegląd Epidemiologiczny

Epidemiological Review



QUARTERLY JOURNAL OF THE NATIONAL INSTITUTE OF PUBLIC HEALTH NIH
– NATIONAL RESEARCH INSTITUTE
AND THE POLISH SOCIETY OF EPIDEMIOLOGY AND INFECTIOUS DISEASES

Index Copernicus 120,79 pkt

MNiSW 40 pkt

VOLUME 78	2024	No 3
------------------	-------------	-------------

Full text: www.przglepidemiol.pzh.gov.pl

CONTENTS

PROBLEMS OF INFECTIONS / PROBLEMY ZAKAŻEŃ

- J Fiegler-Rudol, J Kasperczyk: Knowledge, perception and practice regarding HPV vaccination: a review* / Wiedza i percepcja problemu zakażeń HPV a praktyka szczepień przeciw HPV 257

PUBLIC HEALTH / ZDROWIE PUBLICZNE

- ND Lalitha, D Prabu, S Manipal, M Rajmohan, VV Bharathwaj: Smartphone usage and its association with stress-related bruxism, temporomandibular joint disorder among dental tutees – an analytical investigation* 266

- C Kuzminski, A Podczerwińska, D Rowiński, J Baran, K Chamera-Cyrek, O Sikora, D Prokop, M Borek, A Nawara-Baran, K Marzec, W Jabłoński: Assessment of the level of knowledge on cervical cancer prevention among women visiting a private gynecological practice in Krakow – a pilot study* / Ocena wiedzy na temat profilaktyki raka szyjki macicy wśród kobiet uczęszczających do prywatnego gabinetu ginekologicznego w Krakowie – badanie pilotażowe 273

- J Barański: Intelligent revolution in medicine – the application of artificial intelligence (AI) in medicine: overview, benefits, and challenges* / Inteligentna rewolucja w medycynie – zastosowanie sztucznej inteligencji (AI) w medycynie: przegląd, korzyści i wyzwania 287

- J Barański: Examples of implementations and the future of AI in medical diagnostics* / Przykłady wdrożeń i przyszłość AI w diagnostyce medycznej 303

- VN Santhosh, S Shankkari, D Coutinho, AV Ankola, RM Sankeshwari, V Hampiholi, AS Varghese, YK Parimala: Effectiveness of a toothbrushing intervention utilizing puzzle-solving game assisted with visual aids among adolescents: a single-blind randomized controlled trial* 318

MEDICAL MICROBIOLOGY / MIKROBIOLOGIA MEDYCZNA

- BI Rozwadowska, M Albertyńska, G Hudzik: Application of whole genome sequencing to assess the relatedness of *Salmonella* Enteritidis strains isolated in the Silesian voivodeship* / Zastosowanie sekwencjonowania pełnogenomowego do oceny pokrewieństwa szczepów *Salmonella* Enteritidis wyizolowanych na terenie województwa śląskiego 326

- D Wojciulik, AJ Wasilewska-Chrzanowska, KA Kamiński, A Moniuszko-Malinowska: The impact of genetic polymorphism on course and severity of the SARS-CoV-2 infection and COVID-19 disease* / Wpływ polimorfizmu genetycznego na przebieg oraz ciężkość zakażenia wirusem SARS-CoV-2 oraz choroby COVID-19 333

EPIDEMIOLOGICAL CHRONICLE / KRONIKA EPIDEMIOLOGICZNA

<i>JM Zbrzeźniak, I Paradowska-Stankiewicz: Lyme disease in Poland in 2022 / Borelioza z Lyme w Polsce w 2022 roku</i>	345
<i>JM Zbrzeźniak, I Paradowska-Stankiewicz: Chickenpox in Poland in 2022 / Ospa wietrzna w Polsce w 2022 roku</i>	351
<i>K Mrozowska-Nyckowska, I Paradowska-Stankiewicz: Mumps in Poland in 2022 / Świnka w Polsce w 2022 roku</i>	359
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS / INSTRUKCJA DLA AUTORÓW	368

Jakub Fiegler-Rudol¹, Janusz Kasperczyk²

KNOWLEDGE, PERCEPTION AND PRACTICE REGARDING HPV VACCINATION: A REVIEW

WIEDZA I PERCEPCJA PROBLEMU ZAKAŻEŃ HPV A PRAKTYKA SZCZEPIEŃ PRZECIW HPV

¹Student Research Group at the Chair and Department of Medicine and Environmental Epidemiology, Faculty of Medical Sciences in Zabrze, Medical University of Silesia in Katowice, Poland
Studenckie Koło Naukowe przy Katedrze i Zakładzie Medycyny i Epidemiologii Środowiskowej, Wydział Nauk Medycznych w Zabrzu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

²Chair and Department of Medicine and Environmental Epidemiology
Faculty of Medical Sciences in Zabrze, Medical University of Silesia in Katowice, Poland
Katedra i Zakład Medycyny i Epidemiologii Środowiskowej, Wydział Nauk Medycznych w Zabrzu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

ABSTRACT

Human papillomavirus (HPV) is the cause of one of the most common sexually transmitted infections and poses a significant public health concern due to its link with various cancers. Despite widespread awareness of HPV, actual knowledge about the virus remains limited, which limits the effectiveness of preventive measures such as vaccination. This article reviews the literature to evaluate how HPV knowledge influences attitudes toward vaccination. Studies indicate that access to education and healthcare is crucial in bridging knowledge gaps about HPV. To improve awareness, vaccination rates, and screening participation, targeted educational interventions and public health strategies are essential. Furthermore, changes in the education and training of healthcare providers are necessary for the successful implementation of public health initiatives, boosting vaccination uptake and increasing the performance of screening tests.

Keywords: HPV, STI, HPV epidemiology, HPV vaccinations

STRESZCZENIE

Zakażenia wirusem brodawczaka ludzkiego (HPV) należą do najbardziej rozpowszechnionych infekcji przenoszonych drogą płciową, wpływając istotnie na zdrowie publiczne ze względu na związek zakażenia HPV z różnymi rodzajami nowotworów. Pomimo świadomości problemu zakażeń HPV, rzeczywista wiedza na temat HPV jest niska, co wpływa na małą skuteczność działań prewencyjnych, w tym szczepień. W artykule podjęto próbę oceny wpływu wiedzy na temat HPV na postawy wobec szczepień w oparciu o przegląd literatury tematu. Jak wynika z analizowanych prac, dostęp do edukacji i opieki zdrowotnej odgrywa kluczową rolę w wypełnianiu braków wiedzy na temat HPV. Poprawa świadomości w zakresie HPV oraz wskaźników szczepień i zgłaszalności na badania przesiewowe wymagają ukierunkowanych interwencji edukacyjnych i strategii w zakresie zdrowia publicznego. Zmiany w obszarze edukacji i szkolenia podmiotów świadczących opiekę zdrowotną są niezbędne do skutecznego realizowania programów zdrowia publicznego, zwiększenia stanu zaaszczepienia i wykonywania badań przesiewowych.

Słowa kluczowe: HPV, STI, epidemiologia HPV, szczepienia przeciw HPV

INTRODUCTION

Human Papillomavirus (HPV) is a DNA virus from the *Papillomaviridae* family, and HPV infections are recognized as the most prevalent sexually transmitted infections globally, affecting both sexes (1). There are over 200 types of HPV virus, which are categorized into high-risk and low-risk groups (1,2). Low-risk types cause conditions like genital warts, which do not lead to serious health problems. In contrast, high-risk HPV, especially types 16 and 18, are associated with various cancers including cervical, anal, penile, oropharyngeal, vaginal, and vulvar cancers (3). Persistent high-risk HPV infection is a significant risk factor for these cancers (4). However, most HPV infections are asymptomatic and resolve naturally within two years without medical intervention in about 90% of cases (5).

The HPV vaccine is an effective preventive measure recommended for both sexes, given to children from 9 to 15 years of age (typically starting at ages 11 or 12), and can be administered up to age 26 (6). Many countries have expanded their vaccination programs to include men, recognizing this as important in reducing HPV transmission. Safe sexual practices, such as consistent and correct condom use, can reduce the risk of HPV transmission but do not offer complete protection since HPV can infect areas not covered by a condom. Limiting the number of sexual partners significantly reduces the risk of infection. Regular screenings, such as Pap smears or HPV tests, can detect cervical abnormalities that might be related to HPV and potentially cancerous (7). Many infected males remain asymptomatic, with persistent infections often presenting as genital warts. Epidemiological data show that men play a crucial role in transmitting HPV to women, highlighting the importance of understanding men's attitudes toward this issue (8).

The HPV vaccine has been in use since 2006. Currently, three types of vaccines are registered and authorised in the European Union: the bivalent (targeting types 16 and 18), the quadrivalent (targeting types 6, 11, 16, and 18) and the nine-valent (targeting types 6, 11, 16, 18, 31, 33, 45, 52, and 58) (9). Men are encouraged to get vaccinated, as approximately 2% of male cancers are related to HPV, including penile, head and neck, and anal cancers. Men often serve as significant reservoirs for transmitting the virus to partners (10).

Epidemiology of HPV infections. Epidemiological data reveal that HPV incidence peaks in two age groups: young adults (18-21 years) and older adults (55-65 years). The high incidence in young adults is likely due to the initiation of sexual activity and higher numbers of sexual partners during this life stage, which increases exposure risk (11,12). The peak in older adults can be attributed to the reactivation of

WSTĘP

Wirus brodawczaka ludzkiego (HPV) to wirus DNA z rodziny *Papillomaviridae*, wywołujący zakażenia uznawane obecnie za najpowszechniejsze infekcje przenoszone drogą płciową na świecie (1). Istnieje ponad 200 typów wirusa HPV, które są klasyfikowane na grupy wysokiego i niskiego ryzyka (1,2). Podtypy o niskim ryzyku onkogennym wywołują kłykciny kończyste, które nie prowadzą do poważnych problemów zdrowotnych. Natomiast HPV wysokiego ryzyka, zwłaszcza typy 16 i 18, są bezpośrednio związane z nowotworami, w tym rakiem szyjki macicy, odbytu, prącia, gardła, pochwy i sromu (3). Przewlekłe zakażenie HPV wysokiego ryzyka jest istotnym czynnikiem ryzyka tych nowotworów (4). Większość zakażeń HPV jest bezobjawowa i ustępuje samoistnie w ciągu dwóch lat bez interwencji medycznej w około 90% przypadków (5).

Szczepionka przeciwko HPV jest skutecznym środkiem zapobiegawczym zalecanym dla obu płci, podawana jest dzieciom od 9 do 15 roku życia, ale zalecana jest też po inicjacji seksualnej niezależnie od wieku pacjenta, zwykle do 26 r.ż. (6). Wiele krajów rozszerzyło swoje programy szczepień, aby objąć nimi także mężczyzn, co znacznie ogranicza przenoszenia HPV. Bezpieczne praktyki seksualne, takie jak stosowanie prezerwatyw, mogą zmniejszyć ryzyko przenoszenia HPV, ale nie zapewniają całkowitej ochrony, ponieważ HPV może zakażać obszary nieosłonięte przez prezerwatywę. Ograniczenie liczby partnerów seksualnych znacznie zmniejsza ryzyko zakażenia. Regularne badania przesiewowe, takie jak badanie cytologiczne lub testy w kierunku HPV, mogą wykryć nieprawidłowości szyjki macicy, które mogą być związane z HPV (7). Wielu zakażonych mężczyzn pozostaje bezobjawowych, a przetrwałe zakażenia często objawiają się kłykcinkami narządów płciowych. Dane epidemiologiczne pokazują, że mężczyźni odgrywają kluczową rolę w przenoszeniu HPV (8).

Szczepionka przeciwko HPV jest stosowana od 2006 r. Obecnie w Unii Europejskiej zarejestrowano i dopuszczono trzy rodzaje szczepionek: dwuwalentną (przeciwko typom 16 i 18), czterowalentną (przeciwko typom 6, 11, 16 i 18) i dziewięciowalentną (przeciwko typom 6, 11, 16, 18, 31, 33, 45, 52 i 58) (9). Mężczyźni zachęca się do szczepień, ponieważ około 2% męskich nowotworów jest związanych z HPV, w tym rak prącia, głowy i szyi oraz odbytu (10).

Epidemiologia zakażeń HPV. Dane epidemiologiczne wskazują, że szczyt zapadalności na HPV występuje w dwóch grupach wiekowych: u młodych dorosłych (18-21 lat) i starszych dorosłych (55-65 lat). Wysoki wskaźnik zapadalności u młodych dorosłych prawdopodobnie wynika z rozpoczęcia aktywności seksualnej i większej liczby partnerów seksualnych w tym

latent infections or new exposures due to changes in immunity (11).

HPV prevalence shows significant regional variations. Sub-Saharan Africa reports the highest prevalence at 24%, followed by Eastern Europe at 21%, and Latin America at 16% (11,13). These high prevalence rates correlate with the lower implementation of HPV vaccination programs and screening efforts in these regions. Conversely, Western Europe and North America have lower prevalence rates, benefiting from extensive public health initiatives aimed at controlling HPV spread through vaccination and regular screenings (14). In the United States, racial disparities are evident in HPV-related cancer incidences. Hispanic and Black women experience higher rates of cervical cancer compared to their white counterparts. This discrepancy is largely due to variations in access to healthcare services, including HPV vaccination and cervical cancer screening programs (14).

In the UK, cervical cancer incidence is also higher in socially deprived areas, with a 65% higher rate reported in the most deprived regions compared to the least deprived (14). In Ecuador, a study found an overall HPV prevalence of 65% among sampled women, with high-risk HPV genotypes being predominant. Factors such as early age at first intercourse, multiple sexual partners, and use of contraceptives were associated with higher infection rates (13,14). In China, a longitudinal study showed a declining trend in HPV prevalence from 26.2% in 2013 to 14.5% in 2021, likely due to increased awareness and vaccination efforts (15).

The prevalence and impact of HPV are closely linked to a country's development status. Developed nations, with their robust healthcare systems, have successfully implemented widespread HPV vaccination and screening programs, leading to reduced HPV prevalence and associated cancer rates. For instance, the UK has seen a significant decline in cervical cancer incidence due to the National Health Service's vaccination and screening initiatives, despite challenges posed by socioeconomic disparities (14,15). In developing countries, limited access to healthcare services, vaccines, and educational programs results in higher prevalence and greater health burdens from HPV-related diseases (16).

OBJECTIVE AND METHODOLOGY

The primary objective of this paper was to assess the impact of knowledge regarding HPV on vaccination perceptions and practices. In this mini narrative review, we examined HPV risk perception and prevention measures and their impact on vaccination practices. Literature was retrieved from databases including PubMed, Scopus, and Google Scholar, focusing on studies published in the last 20 years. Search terms

okresie życia, co zwiększa ryzyko narażenia (11,12). Szczyt u osób starszych można przypisać reaktywacji utajonych zakażeń lub nowym narażeniami z powodu zmian odporności (11).

Częstość występowania HPV wykazuje znaczne różnice regionalne. Najwyższe odsetki zakażonych, na poziomie 24%, zdiagnozowano na terenie Afryki Subsaharyjskiej, w Europie Wschodniej 21% i Ameryce Łacińskiej 16% (11,13). Tak wysokie wskaźniki częstości występowania korelują z problemami z wdrażaniem programów szczepień przeciwko HPV i badań przesiewowych w tych regionach. Z kolei Europa Zachodnia i Ameryka Północna mają niższe wskaźniki częstości występowania, głównie dzięki szeroko zakrojonym inicjatywom zdrowia publicznego mającym na celu zwalczanie rozprzestrzeniania się HPV poprzez szczepienia i regularne badania przesiewowe (14). W Stanach Zjednoczonych widoczne są dysproporcje rasowe w częstości występowania raka związanego z HPV. Kobiety pochodzenia latynoskiego i czarnoskóre częściej zapadają na raka szyjki macicy niż białe. Ta rozbieżność wynika głównie z różnic w dostępie do usług opieki zdrowotnej, w tym szczepień przeciwko HPV i programów badań przesiewowych w kierunku raka szyjki macicy (14).

W Wielkiej Brytanii częstość występowania raka szyjki macicy jest również wyższa w obszarach uboższych, z dużym odsetkiem osób społecznie wykluczonych, przy czym wskaźnik ten jest o 65% wyższy w regionach o największej deprivacji społecznej (14). W Ekwadorze badanie wykazało ogólną częstość występowania HPV na poziomie 65% wśród badanych kobiet, przy czym dominują genotypy HPV wysokiego ryzyka. Czynniki takie jak wczesny wiek pierwszego stosunku, wielu partnerów seksualnych i stosowanie środków antykoncepcyjnych wiązały się z wyższymi wskaźnikami zakażeń (13,14). Analiza przeprowadzona w Chinach wykazała spadkową tendencję częstości występowania HPV z 26,2% w 2013 r. do 14,5% w 2021 r., prawdopodobnie z powodu zwiększonej świadomości i wysiłków na rzecz szczepień (15).

Częstość występowania zakażeń HPV i związanych z nimi przypadków raka są ściśle powiązane ze statusem rozwoju kraju. Rozwinięte kraje, z wydolnymi systemami opieki zdrowotnej, skutecznie wdrożyły szeroko zakrojone programy szczepień i badań przesiewowych, co doprowadziło do zmniejszenia częstości występowania wirusa HPV i związanych z nim przypadków raka. Na przykład w Wielkiej Brytanii odnotowano znaczny spadek częstości występowania raka szyjki macicy dzięki inicjatywom Narodowej Służby Zdrowia w zakresie szczepień i badań przesiewowych, pomimo wyzwań wynikających z nierówności społeczno-ekonomicznych (14,15). W krajach rozwijających się ograniczony dostęp do opieki zdrowotnej, szczepionek i programów edukacyjnych skutkuje znacznie większy-

included “HPV knowledge”, “HPV vaccination” and “vaccine hesitancy”. Articles were selected for their relevance to understanding how knowledge gaps influence the outcomes of prevention programs.

RESULTS AND DISCUSSION

The search identified studies examining knowledge of HPV and attitude towards vaccinations in different populations.

A study by Ejaz et al. on HPV prevention among men who have sex with men and transgender women in Pakistan found a lack of knowledge of HPV and its health consequences as well HPV prevention. Participants were largely unaware of HPV and its health risks, primarily focusing on HIV. Despite this, they expressed a positive attitude towards HPV vaccination and screening once informed. Key barriers identified included financial constraints, stigma from healthcare providers, and lack of accessible services. The study suggests the need for targeted educational interventions and improved healthcare access for this vulnerable population (7).

Chen et al. examined HPV vaccine hesitancy among female university students in China. It found that 8.9% of students hesitated to get vaccinated. Knowledge, risk perception, and trust were negatively correlated with vaccine hesitancy. Knowledge indirectly influences hesitancy through trust and risk perception. The study emphasises the need for improved public health education to bridge these knowledge gaps, enhancing trust and risk perception to reduce vaccine hesitancy (17).

Similarly, a study in Miami, Florida, found among unvaccinated women lower HPV knowledge compared to the vaccinated reproductive-age women. Key barriers to vaccination included low-risk perception and healthcare access issues, while motivators were health protection and doctor recommendations. The relationship between knowledge and HPV vaccination indicates that enhancing basic HPV knowledge is essential to increasing vaccine uptake and addressing the knowledge gaps (18).

A study on French general practitioners (GPs) presents the difficulties that doctors faced when parents were hesitant to vaccinate their children against HPV. Concerns about vaccine safety, and the association with adolescent sexuality further complicated vaccine promotion. The study identified three GP typologies: effective, convinced but unpersuasive, and reluctant, underscoring the need for enhanced educational interventions and communication strategies to improve HPV vaccination rates (19).

Despite the widespread availability of HPV vaccines, knowledge about the virus and the vaccine remains

mi obciążeniami zdrowotnymi i ekonomicznymi z powodu chorób związanych z wirusem HPV (16).

CEL I METODOLOGIA

Głównym celem artykułu była ocena wpływu wiedzy na temat HPV na postrzeganie i praktykę szczepień przeciw HPV. W krótkim przeglądzie literatury przeanalizowaliśmy wiedzę na temat HPV, postrzeganie ryzyka HPV i środki zapobiegawcze oraz ich wpływ na praktyki szczepień. Literaturę wyszukiwano w bazach danych, w tym PubMed, Scopus i Google Scholar, skupiając się na badaniach opublikowanych w ciągu ostatnich 20 lat. Terminy wyszukiwania obejmowały: „wiedzę o HPV”, „szczepienie przeciw HPV” i „niechęć do szczepień HPV”. Artykuły wybrano ze względu na ich znaczenie dla zrozumienia, w jaki sposób luki w wiedzy wpływają na wyniki programów profilaktycznych.

WYNIKI I DYSKUSJA

W wyniku wyszukiwania zidentyfikowano prace badające wiedzę na temat wirusa HPV i podejście do szczepień w różnych populacjach.

Badanie Ejaza i in. na temat profilaktyki HPV wśród mężczyzn uprawiających seks z mężczyznami i kobietami transseksualnymi w Pakistanie wykazało brak wiedzy na temat HPV i jego konsekwencji zdrowotnych, a także profilaktyki HPV. Uczestnicy byli w dużej mierze nieświadomi HPV i jego zagrożeń dla zdrowia, skupiając się głównie na HIV. Mimo to wyrazili pozytywne nastawienie do szczepień i badań przesiewowych HPV po uzyskaniu informacji. Zidentyfikowane kluczowe bariery obejmowały ograniczenia finansowe, stygmatyzację ze strony przedstawicieli opieki zdrowotnej i brak dostępnych usług. Badanie sugeruje potrzebę ukierunkowanych interwencji edukacyjnych i poprawy dostępu do opieki zdrowotnej dla tej populacji (7).

Chen i in. zbadali populację pacjentów niezdecydowanych co do szczepienia przeciw HPV wśród studentek uniwersytetu w Chinach. Odkryli, że 8,9% studentek miało znaczne obawy przed szczepieniem. Wiedza, postrzeganie ryzyka i zaufanie były negatywnie skorelowane z obawami przed szczepieniem. Badanie podkreśla potrzebę poprawy edukacji w zakresie zdrowia publicznego w celu zniwelowania luk w wiedzy, zwiększenia zaufania i postrzegania ryzyka w celu zmniejszenia niechęci do szczepienia (17).

Podobnie, badanie przeprowadzone w Miami na Florydzie wykazało, że wśród kobiet niezaszczepionych wiedza na temat HPV była niższa w porównaniu do zaszczepionych kobiet w wieku rozrodczym. Kluczowymi barierami dla szczepień były problemy z dostępem do opieki zdrowotnej i postrzeganie ryzyka zakażenia jako niskiego, podczas gdy czynnikami motywującymi

modest. Many parents and adolescents are unaware of key facts, and this lack of information, along with safety concerns, significantly hinders vaccine acceptance (20, 21).

A study among Lebanese mothers highlights the lack of knowledge about HPV and HPV vaccination. While 58.9% of participants had heard of the HPV vaccine, only 8.7% were vaccinated. The parents' average knowledge score about HPV was 5.9 out of 16 questions (ranged between 0 and 16), and about the HPV vaccine it was 2.6 out of 7 questions, indicating low actual knowledge levels (22).

A survey on parents of girls aged 11–18 years old in Greece found that while 99.4% of parents knew about HPV and 98.8% knew about the vaccine, actual vaccination rates of their daughters were low, with only 35% of girls fully vaccinated. Key factors influencing vaccination included perceived ease of contracting HPV, trust in medical professionals and physician recommendations. Parents' reliance on the internet/social media for information negatively impacted vaccination rates (23, 24).

In a study by Smolarczyk et al. only 62.5% of patients had heard of HPV. The results, analyzed using Fisher's and chi-squared tests, revealed that parents' knowledge about HPV and the vaccination was low, with only 49.4% of correct answers in a knowledge-verifying questionnaire. Education and knowledge were the only factors influencing parents' attitudes towards vaccination, while other factors such as age, gender, place of residence, and number of children had no significant impact. The findings suggest a need for better education for parents regarding HPV risks and the benefits of prophylactic vaccination (25).

The parents' and adolescents' low knowledge about HPV significantly impacts HPV epidemiology globally. Despite increasing awareness of HPV, misunderstandings, and gaps in knowledge lead to inadequate prevention behaviours, affecting vaccination rates and screening practices. Low vaccination coverage and irregular screening practices lead to higher incidences of HPV-related cancers, particularly cervical cancer, which remains a leading cause of death among women in low- and middle-income countries. The World Health Organization (WHO) emphasises the importance of bridging this knowledge gap through targeted educational interventions. By improving public understanding of HPV and the benefits of vaccination, it is possible to increase vaccine uptake and regular screening, thereby reducing the global burden of HPV-related diseases (20,26). Moreover, healthcare providers play a crucial role in addressing this inconsistency in understanding. Studies indicate that recommendations from medical professionals significantly boost vaccination rates. However, healthcare providers

były zalecenia lekarskie i łatwy dostęp do szczepionek w programach zdrowotnych. Ujawniony związek między wiedzą i stanem zaszczepienia przeciw HPV wskazuje na potrzebę rozszerzenia podstawowej edukacji w zakresie HPV (18).

Badanie francuskich lekarzy rodzinnych (GP) przedstawia trudności, z jakimi borykali się lekarze, gdy rodzice wahali się przed zaszczepieniem dzieci przeciwko HPV. Obawy dotyczące bezpieczeństwa szczepionek i związek z seksualnością nastolatków dodatkowo utrudniały promocję szczepień. Badanie zidentyfikowało trzy typologie GP: skuteczny, przekonany, ale nieprzekonujący lub niechętny, podkreślając potrzebę ulepszonych interwencji edukacyjnych i strategii komunikacyjnych w celu poprawy wskaźników szczepień przeciwko HPV (19).

Pomimo powszechnej dostępności szczepionek przeciwko HPV, wiedza na temat wirusa HPV i samej szczepionki pozostają skromne. Wielu rodziców i nastolatków nie jest świadomych kluczowych faktów, a ten brak informacji, wraz z obawami o bezpieczeństwo, znacznie utrudniają akceptację szczepionki (20, 21).

Badanie przeprowadzone wśród libańskich matek podkreśla brak wiedzy na temat HPV i szczepienia przeciw HPV. Podczas gdy 58,9% uczestników słyszało o szczepionce przeciwko HPV, tylko 8,7% było zaszczepionych. Średni wynik wiedzy rodziców na temat HPV wyniósł 5,9 na 16 pytań (w zakresie od 0 do 16), a na temat szczepionki przeciwko HPV wyniósł 2,6 na 7 pytań, co wskazuje na niski rzeczywisty poziom wiedzy (22).

Badanie przeprowadzone wśród rodziców dziewcząt w wieku 11–18 lat w Grecji wykazało, że podczas gdy 99,4% rodziców wiedziało o HPV, a 98,8% wiedziało o szczepionce, rzeczywiste wskaźniki szczepień ich córek były niskie – tylko 35% dziewcząt było w pełni zaszczepionych. Kluczowe czynniki wpływające pozytywnie na szczepienia obejmowały postrzeganą łatwość zakażenia się HPV, skutki zakażenia oraz zaufanie do personelu medycznego. Poleganie rodziców na informacjach pozyskanych w mediach społecznościowych w celu uzyskania informacji o szczepieniach negatywnie wpłynęło na wskaźniki zaszczepienia (23, 24).

W badaniu Smolarczyk i wsp. tylko 62,5% pacjentów słyszało o HPV. Analiza wyników badania wykazała, że wiedza rodziców na temat HPV i szczepień była niska – tylko 49,4% ankietowanych udzieliła prawidłowych odpowiedzi w kwestionariuszu weryfikującym wiedzę. Wykształcenie i wiedza były jedynymi czynnikami wpływającymi na postawy rodziców wobec szczepień, podczas gdy inne czynniki, takie jak wiek, płeć, miejsce zamieszkania i liczba dzieci, nie miały znaczącego wpływu. Wyniki sugerują potrzebę lepszej

themselves sometimes are reluctant to vaccinate, which can hinder their ability to advocate effectively for vaccination (20). Addressing these knowledge gaps through continuous medical education and training is essential for enhancing their role in public health advocacy (26).

Possible reasons for poor knowledge about HPV vaccine. The spread of misinformation about the HPV vaccine has significantly impacted public health efforts to increase vaccination rates and reduce HPV-related diseases. A critical source of this misinformation is social media, where anti-vaccine content easily spreads, without any control from experts. Research highlights that pseudo-news websites, such as "Collective Evolution," and organizations like Children's Health Defense, are primary disseminators of false information about the HPV vaccine on platforms like Facebook. These sources use persuasive strategies typical of credible news reporting, making it challenging for users to judge the reliability of the information (27,28).

Studies have demonstrated that exposure to negative opinions and misinformation on social media can drastically alter parents' attitudes toward HPV vaccination. For instance, an experimental study on tweets revealed that misinformation elements negatively impacted parents' perceptions and their willingness to vaccinate their children (28). Similarly, a narrative review of online misinformation about the HPV vaccine showed that myths and conspiracies have become pervasive on social media, contributing to vaccine hesitancy among parents (28).

Misinformation is not limited to social media, traditional media and interpersonal conversations also play a role. A study analysing stories about the HPV vaccine across various media found that narratives in social media, traditional news outlets, and personal conversations significantly influence public perception and behaviour. Negative stories often emphasize fears about vaccine safety and distrust in the healthcare system, which can deter vaccination (29).

Addressing this challenge requires strategic public health communication. Effective counter-messaging involves using science-based information to directly confront myths and misinformation. To achieve this, actual knowledge must be measured and compared to perceived knowledge. Research shows that messages correcting common misconceptions and citing credible sources, such as the Center for Disease Control and Prevention, are most effective in changing attitudes (30). Tailoring these messages to address specific concerns, like vaccine ingredients, potential side effects, and the healthcare system's trustworthiness, has been shown to positively influence parents' decisions to vaccinate their children (31).

edukacji rodziców w zakresie ryzyka HPV i korzyści wynikających z profilaktycznych szczepień przeciw HPV (25).

Niska wiedza rodziców i nastolatków na temat HPV ma w konsekwencji znaczący wpływ na epidemiologię HPV na świecie. Pomimo rosnącej świadomości HPV, luki w wiedzy prowadzą do braku nieodpowiednich zachowań profilaktycznych, co wpływa na wskaźniki szczepień i praktyki badań przesiewowych. Niski poziom zaszczepienia i nieregularne wykonywanie badań przesiewowych prowadzą do wyższej częstości występowania nowotworów związanych z HPV, w szczególności raka szyjki macicy, który pozostaje główną przyczyną zgonów wśród kobiet w krajach o niskich i średnich dochodach. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) podkreśla znaczenie przezwyciężenia tej luki w wiedzy poprzez ukierunkowane interwencje edukacyjne. Poprzez poprawę zrozumienia problemu zakażeń HPV przez społeczeństwo i korzyści ze szczepień możliwe jest zwiększenie liczby szczepień i regularnych badań przesiewowych, zmniejszając tym samym globalne obciążenie chorobami związanymi z HPV (20,26). Badania wskazują, że zalecenia i informacje uzyskane od pracowników ochrony zdrowia znacznie zwiększają wskaźniki szczepień. Jednak niejednokrotnie pracownicy ochrony zdrowia sami niechętnie się szczepią, co może utrudniać im skuteczne propagowanie szczepień (20). Uzupełnianie luk w wiedzy poprzez ciągłą edukację i szkolenia medyczne jest niezbędne do zwiększenia roli pracowników medycznych w propagowaniu zdrowia publicznego (26).

Możliwe przyczyny niskiej wiedzy na temat szczepionki przeciwko HPV. Rozprzestrzenianie się dezinformacji na temat szczepionki przeciw HPV znacząco wpłynęło na działania w zakresie zdrowia publicznego mające na celu zwiększenie wskaźników szczepień i ograniczenie zapadalności na choroby związane z HPV. Krytycznym źródłem dezinformacji są media społecznościowe, gdzie treści antyszczepionkowe szczególnie łatwo się rozprzestrzeniają, bez żadnej kontroli ze strony ekspertów. Badania podkreślają, że witryny pseudoinformacyjne, takie jak „Collective Evolution”, oraz organizacje takie jak Children's Health Defense, są głównymi źródłami fałszywych informacji na temat szczepionki przeciw HPV na platformach takich jak Facebook. Źródła te stosują strategie perswazyjne typowe dla wiarygodnych doniesień prasowych, co utrudnia użytkownikom ocenę wiarygodności informacji (27,28).

Badania wykazały, że narażenie na negatywne opinie i dezinformację w mediach społecznościowych może drastycznie zmienić nastawienie rodziców do szczepień przeciwko HPV. Na przykład badanie eksperymentalne na Twitterze wykazało, że elementy dezinformacji negatywnie wpłynęły na postrzeganie rodziców i ich chęć

Furthermore, understanding the dynamics of misinformation spread can help in developing better intervention strategies. A study mapping information exposure on social media suggested that public health organizations should harness these platforms to counteract misinformation by using engaging and scientifically accurate content (29,31). Additionally, educational initiatives targeting healthcare providers are crucial, as they play a significant role in advising and reassuring hesitant parents about the benefits of HPV vaccination (30,32).

Combating HPV vaccine misinformation requires an approach that includes robust public health campaigns, strategic use of social media, and continuous education for healthcare providers. By addressing the roots of misinformation and providing clear, credible information, it is possible to improve public perceptions and increase vaccination rates, thereby reducing the burden of HPV-related diseases globally (28-32).

CONCLUSIONS

The literature review reveals low knowledge about Human Papillomavirus (HPV) and HPV vaccine, which critically impacts public attitudes towards vaccination and preventive practices. Actual understanding – particularly of transmission modes, risks, and vaccine efficacy – is often limited. This lack of accurate knowledge leads to vaccine hesitancy and lower vaccination rates, undermining efforts to control HPV-related diseases.

Misinformation, especially on social media, further exacerbates these knowledge gaps by spreading false information about the safety and effectiveness of HPV vaccines, which increases scepticism and reduces willingness to vaccinate. Even healthcare providers, who are key health advice sources, are sometimes reluctant to vaccinate, limiting their ability to recommend vaccination to patients effectively.

To address these issues, it is crucial to establish clear educational goals and implement targeted, evidence-based programs that provide accurate information to both the public and healthcare professionals. These efforts should also actively counter misinformation, using reliable sources to correct misconceptions and improve public understanding. Tailored educational strategies, considering cultural and socioeconomic differences, are essential to overcoming specific barriers to vaccination. By bridging the knowledge gap, these initiatives can enhance vaccination uptake, promote regular screening, and reduce the global burden of HPV-related diseases.

zaszczepienia swoich dzieci (28). Podobnie, przegląd narracyjny dezinformacji online na temat szczepionki przeciwko HPV wykazał, że mity i teorie spiskowe stały się powszechne w mediach społecznościowych, przyczyniając się do eskalacji obaw rodziców (28).

Dezinformacja nie ogranicza się do mediów społecznościowych, rolę odgrywają również media tradycyjne i rozmowy interpersonalne. Badanie analizujące historię na temat szczepionki przeciwko HPV w różnych mediach wykazało, że narracje w mediach społecznościowych, tradycyjnych serwisach informacyjnych i rozmowach osobistych znacząco wpływają na postrzeganie i zachowanie opinii publicznej. Negatywne historie często podkreślają obawy dotyczące bezpieczeństwa szczepionek i nieufność do systemu opieki zdrowotnej, co może zniechęcić do szczepień (29).

Rozwiązanie tego problemu wymaga strategicznej komunikacji w zakresie zdrowia publicznego. Skuteczne przeciwdziałanie polega na wykorzystaniu informacji opartych na faktach do bezpośredniego konfrontowania mitów i dezinformacji. Aby to osiągnąć, należy zmierzyć rzeczywistą wiedzę i porównać ją z postrzeganą przez społeczeństwo wiedzą. Badania pokazują, że komunikaty korygujące powszechne błędne przekonania i powołujące się na wiarygodne źródła, takie jak CDC, są najskuteczniejsze w zmianie postaw (30). Wykazano, że dostosowywanie tych komunikatów do konkretnych obaw, takich jak składniki szczepionek, potencjalne skutki uboczne i wiarygodność systemu ochrony zdrowotnej, pozytywnie wpływa na decyzje rodziców dotyczące szczepienia dzieci (31).

Ponadto zrozumienie dynamiki rozprzestrzeniania się dezinformacji może pomóc w opracowaniu lepszych strategii interwencji. Badanie mapujące ekspozycję na informacje w mediach społecznościowych dowiodło, że organizacje zdrowia publicznego powinny wykorzystywać te platformy do przeciwdziałania dezinformacji poprzez stosowanie angażujących i naukowo poprawnych treści (29,31). Ponadto, kluczowe są inicjatywy edukacyjne skierowane do dostawców usług opieki zdrowotnej, ponieważ odgrywają znaczącą rolę w doradzaniu i uspokajaniu niezdecydowanych rodziców co do korzyści szczepienia przeciwko HPV (30,32).

Zwalczanie dezinformacji na temat szczepionek przeciwko HPV wymaga podejścia obejmującego strategiczne wykorzystanie mediów społecznościowych i ciągłą edukację pracowników ochrony zdrowia. Poprzez zajęcie się przyczynami dezinformacji i dostarczanie jasnych, wiarygodnych informacji możliwe jest poprawienie postrzegania społecznego i zwiększenie wskaźników stanu zaszczepienia, zmniejszając tym samym obciążenie chorobami związanymi z HPV na całym świecie (28-32).

REFERENCES

1. Boda D, Docea AO, Calina D, Ilie MA, Caruntu C, Zurac S, et al. Human papilloma virus: Apprehending the link with carcinogenesis and unveiling new research avenues (Review). *Int J Oncol*. 2018 Mar;52(3):637-655. doi: 10.3892/ijo.2018.4256.
2. Williamson AL. Recent Developments in Human Papillomavirus (HPV) Vaccinology. *Viruses*. 2023; 15(7):1440. doi: 10.3390/v15071440.
3. Longworth MS, Laimins LA. Pathogenesis of human papillomaviruses in differentiating epithelia. *Microbiol Mol Biol Rev*. 2004 Jun;68(2):362-72. doi: 10.1128/MMBR.68.2.362-372.2004. PMID: 15187189; PMCID: PMC419925.
4. Wierzbicka M, San Giorgi M, Dikkers G. Transmission and clearance of human papillomavirus infection in the oral cavity and its role in oropharyngeal carcinoma - A review. *Rev Med Virol*. 2023; 33(1): 2337.
5. Laganà AS, Chiantera V, Gerli S, Proietti S, Lepore E, Unfer V et al. Preventing Persistence of HPV Infection with Natural Molecules. *Pathogens*. 2023; 12(3): 416.
6. Charde SH, Warbhe RA. Human Papillomavirus Prevention by Vaccination: A Review Article. *Cureus*. 2022; 14(10): 30037.
7. Ejaz M, Ekström AM, Ahmed A, Haroon A, Ali D, Ali TS, et al. Human Papillomavirus associated prevention: knowledge, attitudes, and perceived risks among men who have sex with men and transgender women in Pakistan: a qualitative study. *BMC Public Health* 22, 378 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-12775-z>.
8. Burd EM. Human papillomavirus and cervical cancer. *Clin Microbiol Rev*. 2003 Jan; 16(1):1-17.
9. Human papillomavirus vaccines – Cervarix, Gardasil, Gardasil 9, Silgard. 2015 <https://www.ema.europa.eu/en/medicines/human/referrals/human-papillomavirus-vaccines-cervarix-gardasil-gardasil-9-silgard> [accessed on 21 November 2023].
10. Villa LL, Costa RL, Petta CA, Andrade RP, Ault KA, Giuliano AR, et al. Prophylactic quadrivalent human papillomavirus (types 6, 11, 16, and 18) L1 virus-like particle vaccine in young women: a randomised double-blind placebo-controlled multicentre phase II efficacy trial. *Lancet Oncol* 2005. 6 (5), 271–278.
11. Hewavisenti RV, Arena J, Ahlenstiel CL, Sasson SC. Human papillomavirus in the setting of immunodeficiency: Pathogenesis and the emergence of next-generation therapies to reduce the high associated cancer risk. *Front. Immunol*. 2023; 14: 1112513. doi: 10.3389/fimmu.2023.1112513.
12. Milano G, Guarducci G, Nante N, Montomoli E, Manini I. Human Papillomavirus Epidemiology

WNIOSKI

Przegląd literatury ujawnił niską wiedzę na temat wirusa brodawczaka ludzkiego (HPV) jak i szczepionki przeciw HPV, co ma krytyczny wpływ na nastawienie opinii publicznej do szczepień i innych działań profilaktycznych. Rzeczywiste zrozumienie sposobów transmisji, ryzyka zakażenia HPV i skuteczności szczepionki, jest często ograniczone. Brak dokładnej i merytorycznej wiedzy prowadzi do eskalacji obaw przed szczepieniami i niższych wskaźników zaszczepienia, znacznie utrudniając działania na rzecz zwalczania chorób związanych z HPV.

Dezinformacja, zwłaszcza w mediach społecznościowych, jeszcze bardziej pogłębia luki w wiedzy, rozpowszechniając fałszywe informacje o bezpieczeństwie i skuteczności szczepionek przeciw HPV, co zwiększa sceptycyzm i niechęć do szczepień. Niepokojący jest fakt, że nawet przedstawiciele systemu opieki zdrowotnej, którzy są kluczowym źródłem porad zdrowotnych, czasami niechętnie się szczepią, co ogranicza ich zdolność do skutecznego zalecania szczepień pacjentom.

Aby rozwiązać te problemy, kluczowe jest ustalenie jasnych celów edukacyjnych i wdrożenie ukierunkowanych programów opartych na dowodach, które dostarczają dokładnych informacji zarówno społeczeństwu, jak i pracownikom służby zdrowia. Działania te powinny również aktywnie przeciwdziałać dezinformacji, wykorzystując wiarygodne źródła naukowe w celu korygowania błędnych przekonań i poprawy zrozumienia społecznego. Dostosowane strategie edukacyjne, uwzględniające różnice kulturowe i społeczno-ekonomiczne, są niezbędne do pokonania konkretnych barier w szczepieniach. Poprzez niwelowanie luk w wiedzy inicjatywy te mogą zwiększyć liczbę osób zaszczepionych, promować regularne badania przesiewowe i zmniejszyć globalne obciążenie chorobami związanymi z HPV.

and Prevention: Is There Still a Gender Gap? *Vaccines*. 2023; 11(6):1060. <https://doi.org/10.3390/vaccines11061060>.

13. Roman C, Andrade D, Hernández Y, Salazar ZK, Espinosa L, Campoverde E et al. Biological, demographic, and health factors associated with HPV infection in Ecuadorian women. *Front. Public Health*. 2023; 11:1158270. doi: 10.3389/fpubh.2023.1158270.
14. Choi S, Ismail A, Pappas-Gogos G, Boussios S. HPV and Cervical Cancer: A Review of Epidemiology and Screening Uptake in the UK. *Pathogens*. 2023; 12(2):298. <https://doi.org/10.3390/pathogens12020298>.
15. Yao X, Li Q, Chen Y, Du Z, Huang Y, Zhou Y, et al. Epidemiology of human papillomavirus infection in

- women from Xiamen, China, 2013 to 2023. *Front. Public Health* 2024; 12: 1332696. doi: 10.3389/fpubh.2024.1332696.
16. Malagón T, Franco EL, Tejada R, Vaccarella S. Epidemiology of HPV-associated cancers past, present and future: towards prevention and elimination *Nat Rev Clin Oncol*, Published online 17 May 2024; <https://doi.org/10.1038/s41571-024-00904-z>.
17. Chen X, Wang L, Huang Y, Zhang L. Risk perception and trust in the relationship between knowledge and HPV vaccine hesitancy among female university students in China: a cross-sectional study. *BMC Public Health* 2024; 24, 667. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-18166-w>.
18. Villavicencio A, Kelsey G, Nogueira NF, Zukerberg J, Salazar AS, Hernandez L, et al. Knowledge, attitudes, and practices towards HPV vaccination among reproductive age women in a HIV hotspot in the US. *PLoS One*. 2023;18(1). doi:10.1371/journal.pone.0275141.
19. Tron A, Schlegel V, Pinot J, Bruel S, Ecollan M, Bel JL, et al. Barriers and facilitators to the HPV vaccine: a multicenter qualitative study of French general practitioners. *Arch Public Health* 2024; 82, 2. <https://doi.org/10.1186/s13690-023-01227-8>.
20. López N, Garcés-Sánchez M, Panizo MB, de la Cueva IS, Artés MT, Ramos B, et al. HPV knowledge and vaccine acceptance among European adolescents and their parents: a systematic literature review. *Public Health Rev* 2020; 41, 10. <https://doi.org/10.1186/s40985-020-00126-5>.
21. Zhang B, Wang S, Yang X, Chen M, Ren W, Bao Y, et al. Knowledge, willingness, uptake and barriers of cervical cancer screening services among Chinese adult females: a national cross-sectional survey based on a large e-commerce platform. *BMC Women's Health* 2023; 23, 435. <https://doi.org/10.1186/s12905-023-02554-2>.
22. Elissa N, Charbel H, Marly A, Ingrid N, Nadine S, Rachel A.. Knowledge and perception of HPV vaccination among Lebanese mothers of children between nine and 17 years old. *Reprod Health* 2024; 21, 40. <https://doi.org/10.1186/s12978-024-01764-7>.
23. Naoum P, Athanasakis K, Zavras D, Kyriopoulos J, Pavi E. Knowledge, Perceptions and Attitudes Toward HPV Vaccination: A Survey on Parents of Girls Aged 11–18 Years Old in Greece. *Front. Glob. Womens Health* 2022; 3:871090. <https://doi.org/10.3389/fgwh.2022.871090>.
24. Bunting SR, Morris S, Chael J, Feinstein BA, Hazra A, Garber SS. Knowledge of human papillomavirus vaccination: A multi-institution, cross-sectional study of allopathic and osteopathic medical students. *PLOS ONE*. 2023;18(1). doi:10.1371/journal.pone.0280287.
25. Smolarczyk K, Duszewska A, Drozd S, Majewski S. Parents' Knowledge and Attitude towards HPV and HPV Vaccination in Poland. *Vaccines (Basel)*. 2022 Feb 2;10(2):228. doi: 10.3390/vaccines10020228. PMID: 35214686; PMCID: PMC8876926.
26. McKenzie AH, Avshman E, Shegog R, Savas LS, Shay LA. Facebook's shared articles on HPV vaccination: analysis of persuasive strategies. *BMC Public Health* 2024; 24, 1679. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-19099-0>.
27. Trani, O. (2022) Fighting misinformation with science-based messages can improve public perceptions of HPV vaccines, VCU News. Available at: <https://news.vcu.edu/article/2022/12/fighting-misinformation-with-science-based-messages-can-improve-perceptions-of-hpv-vaccines> (Accessed: 06 July 2024).
28. Wang Y, Thier K, Nan X. HPV Vaccine Misinformation Online: A Narrative Scoping Review. In: Ginossar, T., Shah, S.F.A., Weiss, D. (eds) *Vaccine Communication Online*. Palgrave Macmillan 2023, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24490-2_3.
29. Calo A, Gilkey B, Shah D, Dyer A-M, Margolis MA, Dailey SA, et al. Misinformation and other elements in HPV vaccine tweets: an experimental comparison. *J Behav Med* 2021; 44, 310–319. <https://doi.org/10.1007/s10865-021-00203-3>.
30. Walter N, Brooks J, Saucier J, Suresh S. Evaluating the impact of attempts to correct health misinformation on social media: A meta-analysis. *Health Communication*, 2024; 36(13), 1776–1784. <https://doi.org/10.1080/10410236.2020.1794553>.
31. Margolis M, Brewer T, Shah D, Calo A, Gilkey M. Stories about HPV vaccine in social media, traditional media, and conversations. *Preventive Medicine*, 2019;118, 251–256.
32. Lama Y, Hu D, Jamison A, Quinn S, Broniatowski A. Characterizing trends in human papillomavirus vaccine discourse on reddit (2007–2015): An observational study. *JMIR Public Health Surveill* 2019, 2015, e12480.

Received: 22.07.024

Accepted for publication: 11.10.2024

Otrzymano: 22.07.2024 r.

Zaakceptowano do publikacji: 11.10.2024 r.

Address for correspondence:

Adres do korespondencji:

Jakub Fiegler-Rudol

Studenckie Koło Naukowe przy Katedrze i Zakładzie

Medycyny i Epidemiologii Środowiskowej,

Wydział Nauk Medycznych w Zabrze

Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

email: jakub.fieglerrudol@gmail.com

Divya Lalitha N, Prabu D, Manipal S, Rajmohan M, Bharathwaj VV

SMARTPHONE USAGE AND ITS ASSOCIATION WITH STRESS-RELATED BRUXISM, TEMPOROMANDIBULAR JOINT DISORDER AMONG DENTAL TUTEES – AN ANALYTICAL INVESTIGATION

Department of Public Health Dentistry, SRM Dental College, Ramapuram, India

ABSTRACT

BACKGROUND. In recent times, smartphones have become a major part of our lives due to its various benefits such as easy accessibility of information, social connectivity, convenience, smaller size etc. Smartphone overuse can cause stress in a student which can invariably lead to clenching or grinding of teeth and temporomandibular disorder.

AIM. The aim of this study was to evaluate the association between smartphone use, stress due to over-usage, bruxism and temporomandibular disorders among dental students in a private dental institution in Chennai, India.

METHODOLOGY. The present cross-sectional study was conducted among dental undergraduates and postgraduates studying in a private dental institution in Chennai about smartphone usage. A self-administered pre-tested questionnaire containing 18 questions was filled out by the participants and was followed by a clinical examination for Bruxism and Temporomandibular disorder. Descriptive statistics was used and the association was assessed using Pearson's Chi-Square test. Statistics were done using SPSS version 23.0 and the p-value was set at 0.05.

RESULTS. Out of the total 121 participants, 80 (66.1%) were males and 41 (33.9%) were females. 99 (81.8%) were undergraduates and 22 (18.2%) were postgraduates. 90 (74.4%) felt stressed when unable to use their smartphone whereas 31 (25.6%) did not feel so. Bruxism was determined in 95 (78.5%) of the study participants, including 87 out of 90 (96.7%) in those feeling stressed and 8 out of 31 (25.8%) in those not feeling stressed when unable to use smartphone ($p=0.0005$).

CONCLUSION. In the present study, a significant association was found between stress over not being able to use a smartphone and bruxism. Using smartphones for learning purposes definitely benefits when used appropriately.

Keywords: *smartphone, dental students, stress, bruxism, temporomandibular disorder*

INTRODUCTION

A smartphone can be defined as a device that can perform all the functions of a computer. Nowadays, smartphones have got different names such as mobile phones, cell phones etc. which are used interchangeably (1). In recent times, smartphones have become a major part of our lives due to its various benefits such as easy accessibility of information, social connectivity, convenience, smaller size etc (1). In addition to being able to make calls, modern smartphones can also be used as a computer, media player, and video camera to access information at anytime, anywhere (2). Smartphone usage has been increasing recently due to its advantages, but at the same time it has its own disadvantages too. A study done by Alosaimi FD et al in Saudi Arabia (2016) revealed that 27.2% of university students use smartphones more than 8

hours per day (1). Technological developments have led to the evolution of the smartphone and it has become a fundamental part of our lives (3). Overuse of smartphones can put strain on the body's multiple systems, particularly the musculoskeletal system. When used in the same position for extended periods, mobile phones may cause repeated trauma problems (4). According to earlier research on the age-dependent prevalence of smartphone addiction, teenagers are more prone than adults to become addicted to digital media and are also more likely to be engrossed in it. Teenagers have a higher smartphone penetration rate than people in other age groups, according to a recent survey (5). At students' point of view, they may prefer using smartphones for learning purposes. A study done by Bikumalla P et al in 2017 revealed that the attitude of students was positive towards mobile learning (3).

Stress can be defined as any external physical or mental demand on physical and psychological wellbeing of an individual (6). Dentistry is a field in which students tend to work as well as study at the same time. The stress factors that can be experienced by the dental students include time pressure, patient scheduling, unmanageable patients, and highly technical works (6). Dental tutees face lots of other stress factors in addition to those related to their dental profession (7). Dental students being youngsters likely suffer from smartphone addiction that can lead to stress. Due to such stress, they might tend to develop the habit of bruxism and temporomandibular disorders.

Bruxism can be defined as movement disorder that can result in grinding and clenching the teeth in the oral cavity. It can occur due to multifactorial aetiology. One of the most important psychological factors that can lead to bruxism is stress (8). Psychosocial factors such as smoking, orofacial pain, and clicking or scraping joint noises have all been linked to bruxism (9). Bruxism's complex clinical association with a wide range of disorders and effects makes it a highly disputed topic in dentistry and several other fields (10). A study done by Tinastepe M (11) in 2024 found that compared to individuals with low anxiety and depression, those with high anxiety and depression had higher frequencies among avid smartphone users. Another study done in Italy in 2016 found a positive correlation between stress and bruxism among male university students (12). This proves the fact that bruxism can result due to stress factors in students.

The temporomandibular joint is important in opening and closing and also in protrusive and retractive movements of the mandible is one of the most complex joint that is present in the human body. Gnashing or clenching of teeth can cause temporomandibular disorders (TMD) (13). Patients with TMD usually suffer from muscle and/or joint pain on palpation and on mandibular movements, joint sounds and the mandibular range of motion may be limited (14). Bruxism is a usual oral habit that can cause overload and have detrimental effects on oral health, including TMD, fracture to the teeth and damage to dental restorations (15,16). Overload brought on by bruxism may result in orofacial pain. In result, orofacial pain can negatively impact jaw function as well as psychological health and overall quality of life (17). Previous research has shown that clenching during the day usually happens when one is focused on something (18). One of the main factors thought to be responsible for TMDs is habitual clenching (19).

Smartphone addiction can cause stress in a student which can invariably lead to clenching or grinding of teeth and temporomandibular disorder. The objectives of the study was to evaluate the smartphone usage

among dental students, determine the association between smartphone usage, stress due to its unavailability bruxism and temporomandibular joint disorders, among dental students in a private dental institution in Chennai, India.

METHODOLOGY

Study setting. The present cross-sectional study was conducted for a period of three months among dental undergraduates and postgraduates studying in a private dental institution in Chennai about smartphone usage. The study consisted of a questionnaire completed by the participants and followed by a clinical examination for bruxism and temporomandibular disorder. Verbal consent was obtained from each participant before participating in the study. The study was approved and ethical consent was obtained from the Institutional Review Board of SRM Dental College, Ramapuram.

Sample size. A pilot study was conducted among 30 participants whose data was not included in the final analysis to pre-test the questionnaire. The sample size was estimated to be able to compare the frequency of bruxism and temporomandibular disorder among students without/with stress related to being unable to use smartphones. The overall undergraduate and postgraduate student population in a single institution to be a maximum of 550, the hypothesized percentage of stress due to inability of usage of smartphone and bruxism or TMJ disorder to be 50%, confidence limit as 5%, design effect of 1 and the significance level of 0.05 the sample size was estimated to be 127 by the Openepi. The final sample of 121 was included for data analysis after eliminating the sample with missing data.

Study population. The sample included 121 undergraduates and postgraduates who are students at a private dental institution in Chennai. The samples were recruited by convenience sampling based on the inclusion and exclusion criteria. The participants were between the age group of 17-35 years. Inclusion criteria in the study encompassed participants who gave consent. All the students were informed about the purpose of the study and confidentiality was assured. Undergraduate and Postgraduate students who were present during the time of examination were included in the study. Students who own at least one smartphone were included. Students who were hesitant to participate, under orthodontic treatment, and who have temporomandibular disorders previously due to any other cause were not included in the study.

Study instrument. A self-administered pre-tested questionnaire containing 18 questions was given to all the samples recruited for the study. First

5 questions assessing the socio-demographic details were open-ended and other 13 were close-ended to maintain uniformity in the responses obtained. Socio-demographic details of the participants were obtained from the initial 5 questions. The rest 13 questions were to assess their educational qualification, place of stay and details about their smartphone usage. The questions which were put forward to assess their smartphone usage were based on years of owning a smartphone, price of the latest smartphone, data pack in the smartphone, average monthly mobile bill, time of usage of smartphone daily, feeling when unable to use a smartphone, symptoms while staying away from the smartphone, purpose of using the smartphone, place of use of the smartphone, stressed when unable to use the smartphone, other electronic gadgets. Self-reported stress of the participants while being unable to use their smartphones was recorded using the questionnaire in the present study.

Clinical examination. After filling the questionnaire, a clinical examination was done. It was done according to American Dental Association type 4 dental examination with available illumination. The presence of masticatory muscle hypertrophy, indentations on the tongue, lip, and/or a linea alba on the inner cheek, as well as damage to the dental hard tissues (such as cracked teeth), repeated failures of prosthodontic constructions or restorative work, or mechanical wear of the teeth (i.e., attrition) were evaluated as clinical features of bruxism in order to confirm its diagnosis (20). If any of these clinical features were present then it was noted to be yes and if not no. In the same manner, if the participants had pain, deviation or clicking sound during opening and closing of mouth during temporomandibular joint examination, then it was noted as present and if not absent.

Statistical tests used. Descriptive statistics was done and the association was assessed using Pearson's Chi-Square test, and Fisher's exact test was used to assess the association between stress and bruxism. Statistics was done using SPSS version 23.0 and the significance level was set at 0.05.

RESULTS

The present study was a single institutional cross-sectional study conducted among 121 dental undergraduates and postgraduate students. The results of the study are as below:

Table 1 shows the distribution of participants based on gender, education and place of stay. Out of the total 121 participants, 80 (66.1%) were males and 41 (33.9%) were females. 99 (81.8%) were undergraduates and 22 (18.2%) were postgraduates. 83 (68.6%) of the

participants stayed in their homes whereas 38 (31.4%) stayed in a hostel.

Table 2. shows distribution based on responses to questions on usage of the smartphone. The majority of the participants 65 (53.7%) owned a smartphone for a period of 1-5 years and the price of it was more than INR 20,000 for 50 (41.3) participants. 110 (90.1%) had data pack in their smartphone. Average monthly mobile bill for 92 (76%) participants was INR 100 – INR 500. The duration of usage of smartphones daily for majority of participants, 59 (48.8%) was 1-5 years. 47 (38.8%) of participants felt that they were not being able to communicate with others when unable to use their smartphone. 46 (38%) participants used their smartphone to check mail or social media. 55 (45.5%) use their smartphone while hanging out with friends/family.

Figure 1. shows distribution based on responses to the question stressed when unable to use the smartphone. 90 (74.4%) felt stressed when unable to use their smartphone wherein 31 (25.6%) did not feel so.

Table 3. shows distribution based on clinical examination for bruxism and temporomandibular joint disorder. 95(78.5%) of participants had bruxism and 43(35.5%) had temporomandibular joint disorders.

Table 4 shows an association between stress and bruxism. Overall 87 (71.9%) felt stressed when unable to use their smartphone and had bruxism.

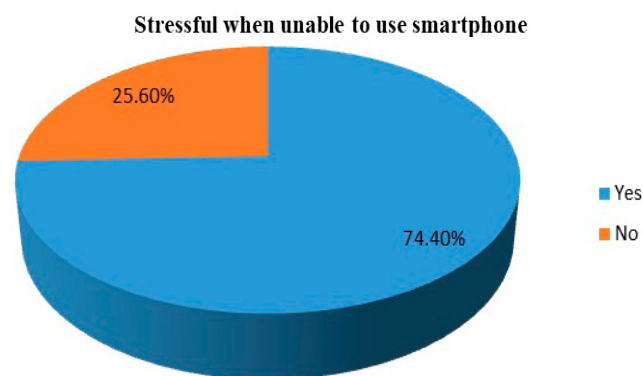


Figure 1. Distribution of participant's feeling on stress when unable to use the smartphone

Table 1. Distribution based on gender, education and place of stay

Variables	Categories	N (%)
Gender	Male	80 (66.1)
	Female	41 (33.9)
Education	Undergraduate	99 (81.8)
	Postgraduate	22 (18.2)
Place of stay	Home	83 (68.6)
	Hostel	38 (31.4)

Table 2. Distribution based on responses to questions on the usage of smartphone

Questions	Responses	N (%)
Years of owning a smartphone	Less than 1 year	11 (9.1)
	1-5 years	65 (53.7)
	More than 5 years	45 (37.2)
Price of your latest smartphone	INR 5,000 – INR 10,000	23 (19)
	INR 10,000 – INR 20,000	48 (39.7)
	More than INR 20,000	50 (41.3)
Data pack in smartphone	Yes	110 (90.1)
	No	11 (9.1)
Average monthly mobile bill	INR 100 – INR 500	92 (76)
	INR 500 – INR 1000	24 (19.8)
	More than INR 1000	5 (4.1)
Duration of usage of smartphone daily	1 – 5 hours	59 (48.8)
	5 – 10 hours	46 (38)
	More than 10 hours	16 (13.2)
Feeling when unable to use a smartphone	Not being able to communicate with others	47 (38.8)
	Losing connectedness	8 (6.6)
	Not being able to access information	16 (13.2)
	Not being able to be updated	17 (14)
	Unable to play games	6 (5)
	None of the above	27 (22.3)
Symptoms while staying away from a smartphone	Nervousness/ restless	16 (13.2)
	Uncomfortable	30 (24.8)
	Anxious	1 (0.8)
	Weird	12 (9.9)
	No symptoms	62 (51.2)
Purpose of using a smartphone	Checking mail or social media	46 (38)
	Gaming and music	24 (19.8)
	News and information	4 (3.3)
	Lecture notes and scheduling	2 (1.7)
	Texting/ chatting with friends and family	35 (28.9)
	Others	10 (8.3)
Place of use of smartphone	While watching TV, movie or dinner table	27 (22.3)
	While travelling	20 (16.5)
	While waiting for somebody	8 (6.6)
	While hanging out with friends/ family	55 (45.5)
	When alone/ bored	11 (9.1)

Table 3. Distribution based on clinical examination for bruxism and temporomandibular joint disorder

Condition	Presence / Absence	N (%)
Bruxism	Yes	95 (78.5)
	No	26 (21.5)
Temporomandibular joint disorder	Yes	43 (35.5)
	No	78 (64.5)

Table 4. Association between stress and bruxism

Stressed when unable to use smartphone	Bruxism			P-value
	No N (%)	Yes N (%)	Total N (%)	0.0005 *
No N (%)	23 (19.90)	8 (6.6)	31 (25.6)	
Yes N (%)	3 (2.5)	87 (71.9)	90 (74.4)	
Total N (%)	26 (21.5)	95 (78.5)	121 (100)	

* p-value significant

By group, 87 out of 90 (96.7%) of those who felt stressed when unable to use their smartphone had bruxism as opposed to 8 out of the 31 (25.8%) of those who did not feel stressed. A significant p-value of 0.0005 was obtained while assessing the association between stress and bruxism.

Table 5. Association between stress and temporomandibular joint disorder

Stressed when unable to use smartphone	Temporomandibular joint disorder			P-value
	No N (%)	Yes N (%)	Total N (%)	
No N (%)	17 (14.04)	14 (11.5)	31 (25.6)	0.201
Yes N (%)	61 (50.41)	29 (23.9)	90 (74.4)	
Total N (%)	78 (64.4)	43 (35.5)	121 (100)	

Table 5 shows the association between stress and temporomandibular joint disorder. Twenty-nine out of 90 (32.2%) of those who felt stressed when unable to use their smartphones had temporomandibular joint disorder as opposed to 14 out of the 31 (45.2%) of those who did not feel stressed. The difference was not statistically significant.

DISCUSSION

Smartphone plays a vital role in youngster's life. Its use has increased drastically among them. These new-generation smartphones enable not only youngsters but also others to talk as well as to connect with the virtual world from anywhere (21). More than half of our respondents, undergraduate and postgraduate students, reported daily use of smartphones for 5 hours or longer. Smartphones can be used also for educational purposes (22). Due to this fact, students use it for a longer duration. Studies investigating the usage of smartphones and its addiction among dental students have been done (1,21). However, this was not confirmed by our data, in which the main purpose of smartphone use was rather leisure and communication activities: 38% of participants used their smartphone to check mail or social media. 45.5% use their smartphones while hanging out with friends/ family.

In the present study, 66.1% were males and 33.9% were females. In a study done by Bernabe E et al (23) males chose dentistry than females which was in accordance with the present study. Undergraduates were 81.8% and only 18.2% were postgraduates which could be due to lesser seat availability for postgraduates than the undergraduates in dental institutions. 68.6% of the participants stayed in their homes whereas 31.4% stayed in hostels which could be due to the fact

that the institution in which the study was conducted is situated at the heart of Chennai city because of which many students would choose to come from their homes and very few staying in hostels.

The study results shows that majority of the participants i.e. 53.7% own a smartphone for a period of 1-5 years, followed by 37.2% participants own it for more than 5 years and 9.1% participants own it for a period of less than 1 year. The reason for this might be the craze of smartphones among youngsters being high just in these past 5 years. The price of their latest smartphone was more than INR 20,000 for 41.3% of participants, followed by INR 10,000 – INR 20,000 priced phones for 39.7% and INR 5,000 – INR 10,000 for 19% participants. This finding might be due to the importance given to the costly upgraded smartphones by students. About 90.1% had a data pack in their smartphone for which the blooming of internet among youngsters can be regarded as a reason. Average monthly mobile bill for 76% participants was INR 100 – INR 500, INR 500 – INR 1000 for 19.8% participants and more than INR 1000 for 4.1% participants. This could be due to availability of unlimited data packs that are available in all networks under 500 rupees. Duration of usage of smartphone daily for majority of participants, 48.8% was 1-5 hours, followed by 5-10 hours in 38% of participants and more than 10 hours in 13.2% of participants. 38.8% of participants felt that they were not being able to communicate with others when unable to use their smartphone and 14% felt that they were not being able to be updated.

In the present study, 24.8% of participants felt uncomfortable staying away from their smartphones. But the majority of them, 51.2% did not have any symptoms. In another study done in Lebanon among university students (2017) (24), results showed that 38.1% of participants experienced low sleep quality, whereas in the present study majority of them (51.2%) did not experience any symptoms. Also a study done in North Iran (2010) showed a significant relationship between smartphone usage and insomnia (25).

In this study, 74.4% felt stressed when unable to use their smartphone whereas only 25.6% did not feel so. This could be due to the overuse of smartphones by today's youngsters causing addiction to it thereby causing stress due to its unavailability.

The primary psychological factors linked to the occurrence of bruxism in both adults and children include personality traits including sensitivity to stress and anxiety (26). Since people with high levels of neuroticism and anxious expectations often use bruxism as a way to vent their emotions, it explains the pathophysiological process via which stress influences the occurrence of bruxism (27). Our data demonstrate the association between smartphone usage, bruxism

and temporomandibular joint disorders, which has not been substantiated anywhere.

The association between stress and bruxism showed that 87 out of 90 (96.7%) of those who felt stressed when unable to use their smartphone had bruxism as opposed to 8 out of 31 (25.8%) of those who did not feel stressed. A significant p-value of 0.0005 was obtained while assessing the association between stress and bruxism. A study done in Brazilian police officers in 2008 showed a positive association between stress and bruxism ($p < 0.05$) which was in accordance with the present study ($p = 0.0005$) (28). Another study done by Katayoun E et al. has discussed that emotional stress is one common factor that is often related to bruxism (29).

A study done by Rai B et al. in 2013 revealed higher levels of psychological distress among temporomandibular disorder patients (30), whereas in the present study, 29 out of 90 (32.2%) of those who felt stressed when unable to use their smartphone had temporomandibular joint disorder as opposed to 14 out of the 31 (45.2%) of those who did not feel stressed, and there was no significant association between temporomandibular disorder and stress.

Limitations of the present study were that since it was a single institution study, the results cannot be generalized to the Indian dental students population without caution. A limited number of dental students who expressed their willingness to participate in the study were only included. Although the intended sample size was reached, we note that there is a risk of volunteer bias. Similar studies including a larger number of participants can be conducted to obtain some generalizable conclusions.

CONCLUSION

Smartphones have a noteworthy spot among the working as well as student population nowadays. The results of this study emphasizes the need to understand the long term effects of over usage of smartphones on bruxism. In order to minimise the effects and repercussions of bruxism, oral health care practitioners should pay special attention to young adults who get this complex behaviour due to the stress of not being able to use their smartphones.

REFERENCES

1. Alosaimi FD, Alyahya H, Alshahwan H, et al. Smartphone addiction among university students in Riyadh, Saudi Arabia. *Saudi Med J*. 2016;37(6):675-83.
2. Prado IM, de França Perazzo M, Abreu LG, et al. Possible sleep bruxism, smartphone addiction and sleep quality among Brazilian university students during COVID-19 pandemic. *Sleep Sci*. 2022;15(02):158-67.
3. Bikumalla P, Pratap KV, Padma TM, et al. Is smartphone a tool for learning purpose?-A survey among students of a dental college in Telangana state. *J Indian Assoc Public Health Dent*. 2017;15(4):373-7.
4. Patole T, Puntambekar A, Oberoi M, et al. A web-based survey-Influence of smartphone addiction on Tempero-Mandibular joint function during Covid 19 lockdown among urban young adults. *IOSR JDMS*. 2020;19(12):7-11.
5. Park C, Park YR. The conceptual model on smartphone addiction among early childhood. *Int J Soc Sci Humanit*, 2014, 4: 147–150.
6. Tangade P, Mathur A, Gupta R, et al. Assessment of Stress Level Among Dental School Setting-An Indian Outlook. *J Indian Assoc Public Health Dent*. 2011;9(17):133-9.
7. Kumar S, Dagli RJ, Mathur A, et al. Perceived sources of stress amongst Indian dental students. *Eur J Dent Educ*. 2009;13(1):39-45.
8. Pavlou IA, Spandidos DA, Zoumpourlis V, et al. Neurobiology of bruxism: The impact of stress (Review). *Biomed Rep*. 2024;20(4):59.
9. Goldstein G, DeSantis L, Goodacre C. Bruxism. Best Evidence Consensus Statement. *J Prosthodont*. 2021;30(S1):91-101.
10. Zani A, Lobbezoo F, Bracci A, et al. Smartphone-based evaluation of awake bruxism behaviours in a sample of healthy young adults: findings from two University centres. *J Oral Rehab*. 2021;48(9):989-95.
11. Tinastepe N, Iscan I. Relationship between bruxism and smartphone overuse in young adults. *Cranio*. 2024;42(1):55-62.
12. Cavallo P, Carpinelli L, Savarese G. Perceived stress and bruxism in university students. *BMC Res Notes*. 2016;9(1):514-9.
13. Augusto VG, Perina KC, Penha DS, et al. Temporomandibular dysfunction, stress and common mental disorder in university students. *Acta Ortop Bras*. 2016;24(6):330-3.
14. Ryalat S, Baqain ZH, Amin WM, et al. Prevalence of temporomandibular joint disorders among students of the University of Jordan. *J Clin Med*. 2009 ;1(3):158-64.
15. Manfredini D, Ahlberg J, Aarab G, et al. The development of the Standardised Tool for the Assessment of Bruxism (STAB): An international road map. *J Oral Reh*. 2024;51(1):15-28.
16. Bracci A, Lobbezoo F, Häggman-Henrikson B, et al. Current knowledge and future perspectives on awake bruxism assessment: expert consensus recommendations. *J Clin Med*. 2022; 11(17): 5083.

17. Stanisic N, Do CT, Skarping S et al. Smartphone application to report awake bruxism: Development and testing of the Swedish version and a pilot study to evaluate family history in young adults and their parents. *J Oral Rehab.* 2024;51(1):188-95.
18. Mizumori T, Kobayashi Y, Inano S, et al. No effect of conscious clenching on simple arithmetic task in healthy participants. *J Prosthodont Res.* 2011, 55: 189–192.
19. Michelotti A, Cioffi I, Festa P, et al.: Oral parafunctions as risk factors for diagnostic TMD subgroups. *J Oral Rehab.* 2010, 37: 157–162.
20. Lobbezoo F, Ahlberg J, Raphael KG, et al. International consensus on the assessment of bruxism: Report of a work in progress. *J Oral Rehabil.* 2018;45(11):837-844.
21. Sahin S, Ozdemir K, Unsal A, et al. Evaluation of mobile phone addiction level and sleep quality in university students. *Pak J Med Sci.* 2013;29(4):913-18.
22. Gilavand A, Shooriabi M. Investigating the Impact of the Use of Mobile Educational Software in Increase of Learning of Dentistry Students. *Int J Med Res Health Sci.* 2016;5(12):191-7.
23. Bernabe E, Icaza JL, Delgado-Angulo EK. Reasons for choosing dentistry as a career: a study involving male and female first-year students in Peru. *Eur J Dent Educ.* 2006;10(4):236-41.
24. Boumosleh JM, Jaalouk D. Depression, anxiety, and smartphone addiction in university students-A cross sectional study. *PLoS one.* 2017;12(8):1-14.
25. Zarghami M, Khalilian A, Setareh J, et al. The impact of using cell phones after light-out on sleep quality, headache, tiredness, and distractibility among students of a university in north of Iran. *Iran J Psychiatry Behav Sci.* 2015;9(4):1-5.
26. Quadri MF, Mahnashi A, Al Almutahhir A, et al. Association of Awake Bruxism with Khat, Coffee, Tobacco, and Stress among Jazan University Students. *Int. J. Dent.* 2015, 842096.
27. Manfredini D, Lobbezoo F. Role of psychosocial factors in the etiology of bruxism. *J. Oral Facial Pain Headache* 2009;23:153–166.
28. Carvalho AL, Cury AA, Garcia RC. Prevalence of bruxism and emotional stress and the association between them in Brazilian police officers. *Braz Oral Res.* 2008;22(1):31-5.
29. Katayoun E, Sima F, Naser V, et al. Study of the relationship of psychosocial disorders to bruxism in adolescents. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2008;26(7):91-7.
30. Rai B, Kaur J. Association between stress, sleep quality and temporomandibular joint dysfunction: simulated Mars mission. *Oman Med J.* 2013;28(3):216-9.

Received: 23.04.2024

Accepted for publication: 02.08.2024

Address for correspondence:

Dr. Divya Lalitha N
Master of Dental Surgery,
Department of Public Health Dentistry
SRM Dental College, Ramapuram, India
email: diyan2409@gmail.com

*Clara Kuzminski¹, Aneta Podczerwińska², Dawid Rowiński³, Jan Baran⁴,
Katarzyna Chamera-Cyrek⁵, Oliwia Sikora⁶, Dominika Prokop³, Mikołaj Borek³,
Agnieszka Nawara-Baran⁷, Kamil Marzec⁸, Wiktor Jabłoński⁸*

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF KNOWLEDGE ON CERVICAL CANCER PREVENTION AMONG WOMEN VISITING A PRIVATE GYNECOLOGICAL PRACTICE IN KRAKOW – A PILOT STUDY

OCENA WIEDZY NA TEMAT PROFILAKTYKI RAKA SZYJKI MACICY WŚRÓD KOBIET UCZĘSZCZAJĄCYCH DO PRYWATNEGO GABINETU GINEKOLOGICZNEGO W KRAKOWIE – BADANIE PILOTAŻOWE

¹L. Rydygier Hospital in Brzesko, Poland

Oddział Chirurgii, Samodzielny Publiczny Zespół Opieki Zdrowotnej w Brzesku

²Stefan Żeromski Specialist Hospital in Krakow, Poland

II Oddział Chorób Wewnętrznych i Kardiologii, Szpital Specjalistyczny im. Stefana Żeromskiego w Krakowie

³Stefan Żeromski Specialist Hospital in Krakow, Poland

Oddział Otolaryngologii, Szpital Specjalistyczny im. Stefana Żeromskiego w Krakowie

⁴Stefan Żeromski Specialist Hospital in Krakow, Poland

Oddział Ginekologii i Położnictwa, Szpital Specjalistyczny im. Stefana Żeromskiego w Krakowie

⁵Stefan Żeromski Specialist Hospital in Krakow, Poland

Oddział Dermatologii, Szpital Specjalistyczny im. Stefana Żeromskiego w Krakowie

⁶Stefan Żeromski Specialist Hospital in Krakow, Poland

Oddział Chirurgii, Szpital Specjalistyczny im. Stefana Żeromskiego w Krakowie

⁷Pregnancy Pathology Clinic, Ujastek Medical Center, Poland

Poradnia Patologii Ciąży, Centrum Medyczne Ujastek

⁸Andrzej Frycz Modrzewski Krakow University, Poland

Uniwersytet Andrzeja Frycza Modrzewskiego w Krakowie

ABSTRACT

INTRODUCTION. In 2022, more than 650,000 new cases of cervical cancer and more than 340,000 deaths were registered worldwide. Poland has some of the highest incidence and mortality rates from cervical cancer in Europe, despite the Cervical Cancer Prevention Program implemented for many years. Nowadays, with more information available, women should not die from CC. To achieve this goal, it is necessary to increase women's awareness of prevention and educate them about health-promoting behaviours.

OBJECTIVE. Assessing women's knowledge of cervical cancer prevention in a pilot study conducted at a private gynecological practice in Krakow, Poland.

MATERIAL AND METHODS. The study group consisted of 153 women aged 18 years and older visiting a private gynecological practice in Krakow, regardless of their place of residence. The study was conducted via the Internet, using a questionnaire consisting of a general part (socio-demographic data) and a specific part on knowledge of CC prevention (8 questions). Statistical analysis was performed using Statistica 13.3 software.

RESULTS. The majority of women declared regular gynecological examinations, with 125, (81.7%) respondents visiting a gynecologist every 0.5-2 years. Only 10 (6.5%) female respondents answered all the knowledge survey questions correctly, excluding the question about RSM symptoms, which was correctly answered by only one person (0.6%). The statistical analysis revealed a significant correlation between respondent's age and their knowledge of cervical cancer risk factors and the timing of the first cytological examination. The results indicate that older respondents have lower levels of knowledge on these topics. Women with higher education from large cities provided the most correct answers.

CONCLUSIONS. The surveyed women's knowledge of CC prevention is inadequate even in the group of women who report regularly for gynecological examinations. There is a need to continue educational activities on the principles of cytological examination, as well as the asymptomatic course of CC in its early stages. Although most women in the study group reported undergoing regular gynecological examinations, their knowledge about preventive screenings and cervical cancer is primarily acquired online. This suggests a need to intensify educational efforts within medical offices.

Keywords: *cervical cancer, prevention, knowledge assessment, risk factors*

STRESZCZENIE

WPROWADZENIE. W 2022 roku na świecie zarejestrowano ponad 650 000 nowych przypadków raka szyjki macicy i ponad 340 000 zgonów. Polska ma jedno z najwyższych wskaźników zachorowalności i umieralności z powodu raka szyjki macicy (RSM) w Europie, pomimo realizowanego od lat Programu Profilaktyki Raka Szyjki Macicy. W obecnych czasach, dzięki większej dostępności informacji, kobiety nie powinny umierać z powodu RSM. Aby osiągnąć ten cel, należy zwiększać świadomość kobiet w zakresie profilaktyki oraz edukować w zakresie zachowań prozdrowotnych.

CEL PRACY. Ocena wiedzy kobiet odnośnie profilaktyki raka szyjki macicy w badaniu pilotażowym przeprowadzonym w prywatnym gabinecie ginekologicznym w Krakowie.

MATERIAL I METODY. Grupę badaną stanowiły 153 kobiety w wieku 18 lat i więcej, uczęszczające do prywatnego gabinetu ginekologicznego w Krakowie, niezależnie od miejsca zamieszkania. Badanie przeprowadzono przez Internet, przy pomocy kwestionariusza składającego się z części ogólnej (dane socjodemograficzne) oraz szczegółowej dotyczącej wiedzy na temat profilaktyki RSM (8 pytań). Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statistica 13.3.

WYNIKI. Większość kobiet deklarowała regularną zgłaszalność badania ginekologicznego, co 0,5-2 lata na wizyty ginekologiczne zgłaszało się 125 (81,7%) respondentek. Jedynie 10 (6,5%) respondentek odpowiedziało poprawnie na wszystkie pytania ankiety dotyczące wiedzy nt. RSM, wyłączając z tego pytanie o objawy, na które tylko jedna osoba odpowiedziała poprawnie (0,6%). Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotną zależność pomiędzy wiekiem respondentek a wiedzą na temat czynników ryzyka RSM oraz wiedzą o terminie wykonania pierwszego w życiu badania cytologicznego. Z zależności wynika, że im starsze respondentki tym mniejszy poziom wiedzy na powyższe tematy. Ankietowane kobiety z wyższym wykształceniem oraz zamieszkujące w dużych miastach udzieliły największej liczby poprawnych odpowiedzi.

WNIOSKI. Wiedza badanych kobiet na temat profilaktyki RSM jest niedostateczna nawet w grupie kobiet zgłaszających się regularnie na badania ginekologiczne. Istnieje potrzeba kontynuacji działań edukacyjnych na temat zasad wykonywania badania cytologicznego, jak również bezobjawowego przebiegu RSM we wczesnych stadiach. Choć większość badanych kobiet deklarowała regularne badania ginekologiczne, ich wiedza na temat profilaktyki i RSM pochodzi głównie z Internetu. Sugeruje to potrzebę zintensyfikowania działań edukacyjnych w gabinetach.

Słowa kluczowe: *rak szyjki macicy, profilaktyka, ocena wiedzy, czynniki ryzyka*

INTRODUCTION

In 2022, there were more than 650,000 new cases of cervical cancer and more than 340,000 deaths worldwide. In the EU/EEA countries, there are 58,219 cases of cervical cancer diagnosed and more than 26,961 deaths. Poland has some of the highest incidence and mortality rates from cervical cancer in Europe (1). It is now known that virtually every case of cervical cancer is due to infection with an oncogenic type of human papillomavirus (HPV) (2). HPV is also responsible for the development of benign wart-like lesions on the mucous membranes and skin (3). In addition, infection with oncogenic types of HPV can

WPROWADZENIE

W 2022 roku na świecie odnotowano ponad 650 000 nowych przypadków raka szyjki macicy i ponad 340 000 zgonów. W krajach UE/EOG rozpoznaje się 58 219 przypadków raka szyjki macicy i ponad 26 961 zgonów z tego powodu. Polska ma jedno z najwyższych wskaźników zachorowalności i umieralności z powodu raka szyjki macicy w Europie (1). Aktualnie wiadomo, że praktycznie każdy przypadek raka szyjki macicy wynika z zakażenia onkogennym typem wirusa brodawczaka ludzkiego (HPV) (2). HPV jest odpowiedzialny również za rozwój łagodnych zmian o charakterze brodawek na błonach śluzowych i skórze (3). Dodatkowo,

be a risk factor for the development of other cancers, such as anal, oral, pharyngeal and vaginal cancers (4). Cigarette smoking, use of oral contraceptives, high number of births and other sexually transmitted diseases promote the development of cervical cancer (5). So does early initiation of intercourse and a large number of sexual partners (6). Early cervical cancer usually produces no symptoms, and more advanced forms produce uncharacteristic symptoms (5). Prevention of cervical cancer includes HPV vaccination and cytological screening (7). In Poland, it is recommended that women between the ages of 25 and 64 report for cervical cytology screening every three years (8). The main route of HPV transmission is sexual contact (9). HPV vaccines provide protection against the most common oncogenic types of HPV (10), so vaccination should be given to girls and boys before sexual initiation to prevent potential infection. As of June 1, 2023, under the HPV vaccination program, children aged 12 and 13 can receive free vaccination (11).

Nowadays, with increasing knowledge of effective prevention of this cancer and easy accessibility to information, women should not lose their lives to cervical cancer. In order to achieve this goal, it is necessary to raise awareness among all women that active prevention can prevent cervical cancer incidence and mortality, and to educate about health-promoting behaviours (12).

The study aimed to assess the knowledge of women visiting a private gynecological practise in Krakow about cervical cancer prevention in a pilot study.

MATERIAL AND METHODS

The survey was conducted between January 2024 and March 2024 among 153 women. The survey was carried out by sending a link to an online survey to women who attended a private gynecological practice in Krakow during this period, regardless of where they lived. Patients were informed that this was an anonymous survey and about its purpose. The inclusion criterion was age 18 or older, with no upper age limit, and consent to participate in the study. Although the prevention questions focused on cytological examination, the group of women targeted by the prevention program (25-64 years) was not selected, as the aim was to examine the knowledge of all women attending a gynecological office. The research tool was a self-administered questionnaire consisting of a general section (sociodemographic data) and a specific section on the study group's knowledge of cervical cancer prevention, including knowledge of risk factors, timing and frequency of cytological

zakażenie onkogennymi typami HPV może stanowić czynnik ryzyka rozwoju innych nowotworów, takich jak rak odbytu, jamy ustnej, gardła oraz pochwy (4). Palenie papierosów, stosowanie doustnej antykoncepcji, duża liczba porodów oraz inne choroby przenoszone drogą płciową sprzyjają rozwojowi raka szyjki macicy (5). Podobnie jak wczesne rozpoczęcie współżycia oraz duża liczba partnerów seksualnych (6). Wczesny rak szyjki macicy zazwyczaj nie daje żadnych objawów, a postacie bardziej zaawansowane dają niecharakterystyczne symptomy (5). Profilaktyka raka szyjki macicy obejmuje szczepienia przeciwko HPV oraz badania cytologiczne (7). W Polsce zaleca się, aby kobiety w wieku od 25 do 64 lat zgłaszały się na przesiewowe badania cytologiczne szyjki macicy co trzy lata (8). Główną drogą przenoszenia wirusa HPV jest kontakt seksualny (9). Szczepionki przeciwko HPV zapewniają ochronę przed najczęściej występującymi typami onkogennymi HPV (10), dlatego szczepienie powinno być wykonane u dziewcząt i chłopców przed inicjacją seksualną, aby zapobiec potencjalnemu zakażeniu. Od 1 czerwca 2023 roku, w ramach programu szczepień ochronnych, dzieci w wieku 12 i 13 lat mogą otrzymać bezpłatne szczepienia przeciwko HPV (11).

W obecnych czasach, przy coraz większej wiedzy na temat skutecznej profilaktyki tego nowotworu oraz łatwej dostępności do informacji, kobiety nie powinny tracić życia z powodu raka szyjki macicy. Aby osiągnąć ten cel, należy zwiększać świadomość wszystkich kobiet w zakresie aktywnej profilaktyki, która może zapobiegać zachorowaniom i zgonom z powodu raka szyjki macicy oraz edukować kobiety w zakresie zachowań prozdrowotnych (12).

Celem pracy była ocena wiedzy kobiet uczęszczających do prywatnego gabinetu ginekologicznego w Krakowie odnośnie profilaktyki raka szyjki macicy, w badaniu pilotażowym.

MATERIAŁ I METODY

Badanie zostało przeprowadzone w okresie od stycznia 2024 roku do marca 2024 roku wśród 153 kobiet. Badanie przeprowadzono wysyłając link do ankiety internetowej do kobiet, które w tym okresie uczęszczały do prywatnego gabinetu ginekologicznego w Krakowie, bez względu na miejsce zamieszkania. Pacjentki były poinformowane o tym, że jest to badanie anonimowe i jakiemu celowi służy. Kryterium włączenia był wiek 18 lat lub więcej, bez górnej granicy wieku oraz wyrażenie zgody na udział w badaniu. Pomimo, że pytania dotyczące profilaktyki koncentrowały się na badaniu cytologicznym, nie wybrano grupy kobiet, do której skierowany jest program profilaktyczny (25-64 lata), ponieważ celem było zbadanie wiedzy wszystkich kobiet uczęszczających do gabinetu ginekologicznego.

examinations, and symptoms of the disease (Appendix available online). The questions were closed-ended.

Statistical analysis and data visualization were performed using Statistica 13.3.

Pearson's chi-squared test was used to examine the relationship between qualitative variables.

A significance level of $\alpha=0.05$ was adopted.

RESULTS

The characteristics of the group are shown in Table 1. The respondents were divided into four age groups. The largest group was made up of respondents in the 40-59 age range (51%). The smallest group was women over 60 years old – 5.2%. The analysis of the collected information shows that most of the women surveyed had a university degree (71.9%) or high school education (27.5%). The vast majority of female respondents indicated a city >500,000 of the population as their place of residence – 47.7%. Residents of smaller cities accounted for 26.7% and rural areas for 25.5% of the surveyed group. Women in a relationship accounted for 60.78%, while unmarried women accounted for 39.2%. Most of the women were economically active (87.6%) and considered their socioeconomic situation as good or very good (76.4%).

When asked "How often do you visit a gynecologist?" 68 (44.4%) of the women surveyed admitted that in the range of every six months to a year. Fifty-seven (37.3%) women had gynecological examinations once every two years, while women who had gynecological examinations every five years or less often accounted for 11.1% (17 women).

When asked about sources of information about preventive examinations and CC itself, where several answers could be marked, female respondents overwhelmingly indicated the Internet – 75.2% (115) in question about preventive examination and 80.4% (123) about CC. The second most common source of information was medical personnel. Information about the prevention program was received through this route by 58.8% (90), and about cervical cancer by 52.9% (81) of respondents. To a lesser extent, women used magazines, media information leaflets or the knowledge of friends.

When asked about the risk factors for the development of CC, namely HPV infection, frequent vaginal inflammation, a large number of sexual partners, an abnormal cytology test result, early age of sexual initiation, cigarette smoking, HIV infection, multiple children, and a diet low in fruits and vegetables, where the answer was multiple choice and all answers were correct, most women chose HPV infection (81.7%). A significant proportion correctly indicated frequent vaginal inflammation (60.1%,

Narzędziem badawczym był samodzielnie przygotowany kwestionariusz składający się z części ogólnej (dane socjodemograficzne) oraz części szczegółowej dotyczącej wiedzy grupy badanej na temat profilaktyki raka szyjki macicy, w tym znajomości czynników ryzyka, terminów i częstotliwości wykonywania badań cytologicznych, oraz objawów choroby (ankieta dostępna online). Pytania miały charakter zamknięty.

Analizę statystyczną oraz wizualizację danych przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statistica 13.3. W celu zbadania zależności pomiędzy zmiennymi jakościowymi wykorzystano test chi-kwadrat Pearsona. Przyjęto poziom istotności $\alpha=0.05$.

WYNIKI

Charakterystyka grupy została przedstawiona w Tabeli 1. Respondentki zostały podzielone na cztery grupy wiekowe. Najliczniejszą grupę stanowiły ankietowane w przedziale wiekowym 40-59 lat (51%). Najmniej liczną grupę stanowiły kobiety w wieku powyżej 60 lat – 5,2%. Z analizy zebranych informacji wynika, iż większość badanych kobiet posiadała wykształcenie wyższe (71,9%) lub średnie (27,5%). Zdecydowana większość respondentek podała jako miejsce swojego zamieszkania miasto >500 tys. mieszkańców – 47,7%. Mieszkanki mniejszych miast stanowiły 26,7%, a mieszkanki wsi 25,5% w badanej grupie. Kobiety w związku stanowiły 60,78%, natomiast kobiety stanu wolnego 39,2%. Większość kobiet była aktywna zawodowo (87,6%) i uznała swoją sytuację socjoekonomiczną jako dobrą lub bardzo dobrą (76,4%).

Na pytanie „Jak często uczęszcza pani do ginekologa?” 68 (44,4%) badanych kobiet przyznało, że w przedziale co pół roku do roku. Raz na 2 lata badało się ginekologicznie 57 (37,3%) kobiet, natomiast kobiety, które badały się ginekologicznie co pięć lat lub rzadziej stanowiły 11,1% (17 kobiet).

Na pytanie dotyczące źródeł informacji o badaniach profilaktycznych oraz o samym RSM, gdzie można było zaznaczyć kilka odpowiedzi, badane respondentki w przeważającej większości wskazały Internet – 75,2% (115) w pytaniu o badania profilaktyczne oraz 80,4% (123) w pytaniu o RSM. Drugim co do częstości wyboru źródłem informacji był personel medyczny. Informacje na temat programu profilaktycznego otrzymało tą drogą 58,8% (90), a o raku szyjki macicy 52,9% (81) respondentek. W mniejszym stopniu kobiety korzystały z czasopism, ulotek informacyjnych mediów czy wiedzy znajomych.

Na pytanie o czynniki ryzyka rozwoju RSM (czyli zakażenie HPV, częste stany zapalne pochwy, duża liczba partnerów seksualnych, nieprawidłowy wynik badania cytologicznego, wczesny wiek inicjacji seksualnej, palenie papierosów, zakażenie HIV, wielodietność,

Table 1 Characteristics of the study group

Tabela 1. Charakterystyka badanej grupy

Sociodemographic factors		n	%
Age	18-29	50	32.7
	30-39	17	11.1
	40-59	78	51
	60 and over	8	5.2
Place of residence	Rural	39	25.5
	City up to 50 000 residents	20	13.1
	City with 50,000 to 100,000 residents	10	6.5
	City with 100,000 to 500,000 residents	11	7.2
	City with more than 500,000 residents	73	47.7
Marital status	Single	60	39.2
	Woman in a relationship	93	60.78
Professional activity	Student	7	4.6
	Unemployed	2	1.3
	Employment	134	87.6
	Retired/pensioner	10	6.5
Education	Primary	0	0
	Middle school	1	0.7
	Secondary	42	27.5
	Higher	110	71.9
Living conditions	Difficult	5	3.3
	Average	31	20.3
	Good	96	62.7
	Very good	21	13.7

125 respondents), a large number of sexual partners (62.1%, 95 resp.) and an abnormal cytology test result (68%, 104 resp.). Other risk factors less frequently selected were: early age of sexual initiation (37.3%, 57 resp.), smoking (36.6%, 56 resp.), HIV infection (30%, 50 resp.), and multiple children (20.9%, 32 resp.). 93.5% (143) of the respondents did not know all the factors for the development of CC. The correct answer was indicated by 8 respondents out of 50 (16%) in the 18-29 age group representing the largest percentage compared to other age groups.

The statistical analysis conducted showed a significant relationship between the age of the respondents ($p=0.01123$), education ($p=0.04084$) and knowledge of cervical cancer development factors. The analysis indicates that as the age of the respondents increases and their education level decreases, there is a decrease in awareness of risk factors (Table 2). No significant statistical differences were observed between the respondents' level of knowledge and place of residence (Table 2).

To the question "What methods of CC preventive examinations do you know", where several answers could be marked (gynecological examination, cytological examination,

ultrasound examination, HPV vaccination) the correct answer "cytological examination" was chosen by 93.5% of the surveyed group, and there were no

dieta uboga w warzywa i owoce), w którym odpowiedź była wielokrotnego wyboru, a wszystkie odpowiedzi były poprawne, najwięcej kobiet wybrało zakażenie HPV (81,7 %). Znaczna część poprawnie wskazała częste stany zapalne pochwy (60,1%; 125 respondentek), dużą liczbę partnerów seksualnych (62,1%; 95 resp.) oraz nieprawidłowy wynik badania cytologicznego (68%, 104 resp.). Pozostałe czynniki ryzyka rzadziej wybierane to: wczesny wiek inicjacji seksualnej (37,3%; 57 resp.), palenie papierosów (36,6%; 56 resp.), zakażenie HIV (30%, 50 resp.), wielodzieciowość (20,9%; 32 resp.). 93,5% (143) respondentek nie znało wszystkich czynników rozwoju RSM. Poprawną odpowiedź wskazało 8 osób z 50 (16%) w grupie wiekowej 18-29 lat stanowiąc tym samym największy odsetek w porównaniu do innych grupy wiekowych.

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotną zależność pomiędzy wiekiem respondentek ($p=0,01123$) oraz wykształceniem ($p=0,04084$) a wiedzą na temat czynników rozwoju raka szyjki macicy. Analiza wskazuje, że wraz ze wzrostem wieku respondentek oraz obniżeniem poziomu ich wykształcenia, obserwuje się zmniejszenie świadomości dotyczącej czynników ryzyka (Tab. 2). Nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic pomiędzy poziomem wiedzy badanych, a miejscem zamieszkania (Tab. 2).

Na pytanie „Jakie zna Pani metody badań profilaktycznych RSM”, gdzie można było zaznaczyć kilka od-

significant statistical differences regarding this answer between age, place of residence and education.

The questionnaire focused on questions related to cytological screening. It was asked when it should be performed for the first time in one's life, and 62.1% gave the correct answer, i.e. after the beginning of sex life, 7.2% admitted that they did not know, and 30.7% chose incorrect answers. The statistical analysis conducted showed a significant relationship between the age ($p=0.00669$) and education ($p=0.03462$) of the respondents and the correct answer to this question. The correlation showed that women in the 18-29 age range chose the correct answer significantly more often compared to the others (78% vs. 50%). Place of residence had no statistically significant relationship with this question. The largest group of

people responding correctly were those from a city of more than 500,000 residents (45 out of 73, 61.6%, 29.4% of the total), with higher education (74 out of 110, 67.3%, 48.4% of the total) (Table 3).

To the question "How often a healthy woman should have a cervical cytological examination", the answer "every 3 years", which was considered correct, in accordance with the guidelines of the Preventive Program for Early Detection of Cervical Cancer, was chosen by 16.3%, "annually" – by 55.6%. The statistical analysis conducted showed a significant correlation between the age of the respondents ($p=0.01069$) and education ($p=0.00063$) and the

powiedzi (badanie ginekologiczne, badanie cytologiczne, badanie USG, szczepienie przeciw HPV) poprawną odpowiedź „badanie cytologiczne” wybrało 93,5% badanej grupy i nie było istotnych statystycznie różnic dotyczących tej odpowiedzi między wiekiem, miejscem zamieszkania i wykształceniem.

Kwestionariusz koncentrował się na pytaniach związanych z badaniem cytologicznym. Zapytano kiedy powinno się je wykonywać po raz pierwszy w życiu i 62,1% udzieliło poprawnej odpowiedzi, czyli po rozpoczęciu współżycia seksualnego, 7,2% przyznało, że nie wie, 30,7% wybrało niepoprawnie odpowiedzi. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotną zależność pomiędzy wiekiem ($p=0,00669$) i wykształceniem ($p=0,03462$) respondentek a poprawną odpowiedzią na to pytanie. Z zależności wynika, że kobiety w przedziale wieku 18-29 lat wybrały właściwą odpowiedź znacząco częściej w porównaniu z pozostałymi (78% vs 50%). Miejsce zamieszkania nie miało istotnego statystycznie związku z tym pytaniem. Największą grupę osób prawidłowo odpowiadających stanowiły osoby z miasta powyżej 500 tys. mieszkańców (45 na 73; 61,6%; 29,4% z całości), z wykształceniem wyższym (74 na 110; 67,3%; 48,4 % z całości) (Tab. 3).

Na pytanie „Jak często zdrowa kobieta powinna wykonywać badanie cytologiczne szyjki macicy”, odpowiedź „co 3 lata”, którą uznano za prawidłową, zgodnie z wytycznymi Programu Profilaktycznego Wczesnego Wykrywania Raka Szyjki Macicy, wybrało 16,3%,

Table 2. Knowledge of risk factors for the development of CC according to age, place of residence, education

Tabela 2. Znajomość czynników ryzyka rozwoju RSM w zależności od wieku, miejsca zamieszkania, wykształcenia

Differential variables		Knowledge of cervical cancer risk factors			Df	p
		Yes	No	Total		
Age	18 - 29	8	42	50	3	0.01123
	30 - 39	0	17	17		
	40 - 59	2	76	78		
	60 and over	0	8	8		
	Total	10	143	153		
Place of residence	Village	1	38	39	4	0.55529
	City of up to 50,000 residents	1	19	20		
	City of 50,000-100,000 residents	0	10	10		
	City of 100,000-500,000 residents	1	10	11		
	A city of more than 500,000 residents	7	66	73		
	Total	10	143	153		
Education	Secondary	0	43	43	1	0.04084
	Higher	10	100	110		
	Total	10	143	153		

p-value of statistical significance, if $p<0.05$ -there is a significant difference between the groups

Table 3. Knowledge of the date of the first cytological examination according to age, place of residence, education
 Tabela 3. Znajomość terminu wykonania pierwszego badania cytologicznego w zależności od wieku, miejsca zamieszkania, wykształcenia

Differential variables		Knowledge of the timing for the first Pap Smear			Df	P
		Yes	No	Total		
Age	18 - 29	39	11	50	3	0.00669
	30 - 39	13	4	17		
	40 - 59	39	39	78		
	60 and over	4	4	8		
	Total	95	58	153		
Place of residence	Village	27	12	39	4	0.75225
	City of up to 50,000 residents	11	9	20		
	City of 50,000-100,000 residents	5	5	10		
	City of 100,000-500,000 residents	7	4	11		
	A city of more than 500,000 residents	45	28	73		
	Total	95	58	153		
Education	Secondary	21	22	43	1	0.03462
	Higher	74	36	110		
	Total	95	58	153		

p-value of statistical significance, if $p < 0.05$ - there is a significant difference between the groups

answer to this question. Place of residence had no statistically significant relationship with this question. The correlation showed that the youngest respondents had greater knowledge of the recommendations for the frequency of cytological examinations according to the free preventive program of the National Health Fund (15 out of 50, 30%, 9.8% of the total). The largest number of female respondents who gave this answer came from a city of more than 500,000 residents (17 out of 73, 23.3%, 11% of the total) and with higher education (25 out of 110, 22.7%, 16.3% of the total) (Table 4).

For the question "On which days of the menstrual cycle a cervical cytological examination should be performed" the correct answer: "between 6-14 days of the cycle", was given by 46.4% of respondents. The answer "I don't know" was chosen by 26.8%, and the wrong answer was chosen by 53.6%. There was a significant correlation between the place of residence ($p = 0.04687$), education of the respondents ($p = 0.00124$), and the correct answer to this question. No significant statistical differences were observed between the level of knowledge on this question and age ($p = 0.06551$). The largest group of those who knew the correct answer were those from a city with a population of more than 500,000 (40 out of 73, 54.8%; 26.1% of the total), with higher education (50 out of 110, 45.45%, 32.7% of the total), and aged 40-59 (48 out of 78, 61.5%, 31.4% of the total) (Table 5).

a odpowiedź „corocznie” – 55,6%. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotną zależność między wiekiem respondentek ($p = 0,01069$) oraz wykształceniem ($p = 0,00063$), a odpowiedzią na to pytanie. Miejsce zamieszkania nie miało istotnego statystycznie związku z tym pytaniem. Z zależności wynika, że najmłodsze respondentki miały większą znajomość zaleceń częstości badań cytologicznych według bezpłatnego programu profilaktycznego NFZ (15 na 50, 30%; 9,8% z całości). Najwięcej respondentek udzielających takiej odpowiedzi mieszkało w mieście powyżej 500 tys. mieszkańców (17 z 73, 23,3%, 11% z całości) oraz posiadało wyższe wykształcenie (25 osób z 110; 22,7%; 16,3% z całości) (Tab. 4).

Na pytanie „W których dniach cyklu menstruacyjnego należy wykonać badanie cytologiczne szyjki macicy” poprawnej odpowiedzi „między 6 a 14 dniem cyklu”, udzieliło 46,4% respondentek. Odpowiedź „nie wiem” wybrało 26,8%, a niewłaściwą – 53,6%. Wykazano istotną zależność pomiędzy miejscem zamieszkania ($p = 0,04687$) oraz wykształceniem respondentek ($p = 0,00124$), a prawidłową odpowiedzią na to pytanie. Nie zaobserwowano statystycznie istotnych różnic pomiędzy poziomem wiedzy w tej kwestii a wiekiem ($p = 0,06551$). Największą grupę osób znających prawidłową odpowiedź stanowiły osoby z miasta powyżej 500 tys. mieszkańców (40 na 73; 54,8%; 26,1% z całości), z wykształceniem wyższym (50 na 110; 45,45%; 32,7 % z całości), w wieku 40-59 lat (48 na 78; 61,5%; 31,4% z całości) (Tab. 5).

Table 4. Knowledge of frequency of cytology performed by healthy women according to age, place of residence, education
Tabela 4. Znajomość częstości wykonywania przez zdrowa kobietę cytologii w zależności od wieku, miejsca zamieszkania, wykształcenie

Differential variables		The knowledge of the frequency of cervical cytology screening for a healthy woman			df	P
		Yes	No	Total		
Age	18 - 29	15	35	50	3	0.01069
	30 - 39	3	14	17		
	40 - 59	6	72	78		
	60 and over	1	7	8		
	Total	25	128	153		
Place of residence	Village	1	38	39	4	0.07461
	City of up to 50,000 residents	4	16	20		
	City of 50,000-100,000 residents	1	9	10		
	City of 100,000-500,000 residents	2	9	11		
	A city of more than 500,000 residents	17	56	73		
	Total	25	128	153		
Education	Secondary	0	43	43	1	0.00063
	Higher	25	85	110		
	Total	25	128	153		

p-value of statistical significance, if $p < 0.05$ - there is a significant difference between the groups

Table 5. Knowledge on which day of the menstrual cycle to perform cytological examination according to age, place of residence, education

Tabela 5. Wiedza, w którym dniu cyklu menstruacyjnego należy wykonać bad. cytologiczne w zależności od wieku, miejsca zamieszkania, wykształcenia

Differential variables		Knowledge of the optimal day in the menstrual cycle to perform cytological examination			df	P
		Yes	No	Total		
Age	18 - 29	21	29	50	3	0.06551
	30 - 39	7	10	17		
	40 - 59	48	30	78		
	60 and over	6	2	8		
	Total	82	71	153		
Place of residence	Village	17	22	39	4	0.04687
	City of up to 50,000 residents	14	6	20		
	City of 50,000-100,000 residents	8	2	10		
	City of 100,000-500,000 residents	3	8	11		
	A city of more than 500,000 residents	40	33	73		
	Total	82	71	153		
Education	Secondary	32	11	43	1	0.00124
	Higher	50	60	110		
	Total	82	71	153		

p-value of statistical significance, if $p < 0.05$ - there is a significant difference between the groups

When asked what a cytological examination consists of, most of the women surveyed (79.7%) answered correctly, that is taking a smear from the cervical disc and canal. Incorrectly or "I don't know" was answered by 20.3%. The largest number of correctly responding female respondents were aged 40-59 (64 out of 78, 82%, 41.8% of the total) from a city of more than 500,000 residents (58 out of 73, 79.4%, 37.9% of the total). Only those with higher education answered correctly (92 out of 110, 83.6%, 60.1% of the total).

More than half of the respondents in the multiple-choice question on symptoms of cervical cancer, in which all answers were considered correct, indicated spontaneous bleeding, lower abdominal and low back pain (54.9%). Discharge, irregular intermenstrual bleeding and contact bleeding were selected by nearly half of the women. No symptoms were given by 16.3% of respondents, and the answer "I don't know" was given by 15% of respondents. No significant statistical differences were observed between knowledge of cervical cancer symptoms and age, place of residence and education. Only one person aged 18-29, with higher education and from a city with a population of more than 500,000 responded correctly by indicating all symptoms and their absence (1 out of 153 people, 0.6%).

When asked about the age of women who could benefit from the free CC prevention and early detection program, the largest number of respondents (62.1%) answered that it applies to women aged 18-59. The correct age range, i.e. 25-64, was given by 21.6% of respondents, while 16.3% admitted that they did not know. No significant statistical differences were observed between the correct answer and age, place of residence and education. The largest group of respondents who knew the correct age range for inclusion in the free CC prevention and early detection program were those from a city with a population of more than 500,000 (14 out of 73, 19.2%, 9.1% of the total), with higher education (29 out of 110, 26.4%, 18.9% of the total), and aged 18-29 (11 out of 50, 22%, 7.2% of the total) and aged 40-59 (13 out of 65, 20%, 8.5% of the total).

DISCUSSION

Our survey of female patients of a gynaecological practice located in the second largest city in Poland indicates a varying level of patient knowledge about CC, its symptoms, risk factors and prevention. While the vast majority of patients are aware that HPV infection is a risk factor for this cancer, knowledge of other risk factors is much lower. Similarly, the majority of patients identify cytology as a method of secondary prevention, however, knowledge of the procedure for

Na pytanie „Na czym polega badanie cytologiczne” większość badanych kobiet (79,7%) odpowiedziała poprawnie, czyli pobranie wymazu z tarczy i kanału szyjki macicy. Niewłaściwie lub „nie wiem” odpowiedziało 20,3%. Największa liczba prawidłowo odpowiadających respondentek była w wieku 40-59 lat (64 na 78; 82%; 41,8% z całości), z miasta powyżej 500 tys. mieszkańców (58 z 73; 79,4%; 37,9 % z całości) oraz z wyższym wykształceniem (92 osób z 110; 83,6%; 60,1% z całości).

Ponad połowa respondentek w pytaniu wielokrotnego wyboru dotyczącym objawów raka szyjki macicy, w którym wszystkie odpowiedzi były uznane za prawidłowe, wskazała krwawienia samoistne, bóle podbrzusza i okolicy lędźwiowej (54,9%). Upławy, nieregularne krwawienia międzymiesiączkowe i krwawienia kontaktowe wybrała blisko połowa kobiet. Brak objawów wskazało 16,3% badanych, a odpowiedzi „nie wiem” udzieliło 15% ankietowanych. Nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic pomiędzy znajomością objawów raka szyjki macicy a wiekiem, miejscem zamieszkania oraz wykształceniem. Tylko jedna osoba w wieku 18-29 lat, z wykształceniem wyższym i z miasta powyżej 500 tys. mieszkańców odpowiedziała poprawnie wskazując wszystkie objawy oraz ich brak (1 na 153 osoby; 0,6%).

Na pytanie o wiek kobiet mogących skorzystać z bezpłatnego programu profilaktyki i wczesnego wykrywania RSM najwięcej respondentek (62,1%) odpowiedziało, że dotyczy on kobiet w wieku 18-59 lat. Prawidłowy przedział wiekowy, czyli 25-64 lata, podało 21,6% badanych, a 16,3% przyznało, że nie wie. Nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic pomiędzy prawidłową odpowiedzią a wiekiem, miejscem zamieszkania oraz wykształceniem. Największą grupę badanych osób znających właściwy przedział wieku dla włączenia do bezpłatnego programu profilaktyki i wczesnego wykrywania RSM stanowiły osoby z miasta powyżej 500 tys. mieszkańców (14 na 73; 19,2%; 9,1% z całości), z wykształceniem wyższym (29 na 110; 26,4%; 18,9 % z całości), w wieku 18-29 lat (11 na 50, 22%; 7,2% z całości) oraz w wieku 40-59 lat (13 na 65, 20%; 8,5% z całości).

DYSKUSJA

Nasze badanie przeprowadzone wśród pacjentek gabinetu ginekologicznego zlokalizowanego w drugim co do wielkości mieście w Polsce wskazuje na zróżnicowany poziom wiedzy pacjentek na temat RSM, jego objawów, czynników ryzyka oraz profilaktyki. Podczas gdy znaczna większość pacjentek jest świadoma, że zakażenie HPV jest czynnikiem ryzyka tego nowotworu, to już znajomość innych czynników ryzyka jest znacznie mniejsza. Podobnie większość pacjentek identyfikuje

performing the test and the CC Prevention and Early Detection Program, is no longer so common. Also, the level of knowledge about the symptoms of CC should be considered unsatisfactory.

The majority of respondents to our survey (93.5%) seem to be aware that cytological examination is used as a preventive tool to detect cellular changes in the cervix that may indicate the presence of CC or precancerous lesions. Compared to surveys in previous years, where 21% of respondents indicated cytological examination as prophylactic (12), it can be assumed that educational programs on this issue have worked. It should not be forgotten that this is only a pilot study. In our survey, the greatest knowledge of this question was demonstrated by those aged 40-59, living in cities of more than 500,000 residents and having higher education. It should be noted that this group of patients frequently visits the gynecologist's office, which may have an impact on better knowledge in this area. Similar results regarding age and education have been reported in previous studies, but the result regarding place of residence was the opposite (13).

In a study by Pacewicz et al. conducted in 2012 (14), the majority of women surveyed (46%) reported that they search for information about the disease and cytological testing on the Internet. In our study, the vast majority of female respondents (75.2%) indicated the Internet as the main source of knowledge about CC preventive testing, reflecting the important role of the Internet as a key source of knowledge. This should prompt future knowledge-enhancing activities, especially using the Internet.

Medical personnel were identified by 58.8% of women as a source of information about preventive screenings. A study by Ulman-Włodarz et al. (12) showed that for 59% of women, magazines were the most common source of information on CC prevention, followed by the Internet (38%). Gynecologists and midwives were the source of knowledge about prevention for 30% and 38% of those surveyed, respectively. It seems, given our survey, with the course of time, more and more women are getting information about CC and its prevention from doctors or medical personnel, which indicates the growing role of medical personnel in making women aware of the issue. However, in both studies, the majority of women regularly visited a gynecologist, which could have influenced the obtained results.

The study conducted by Ulman-Włodarz et al. included a group of 250 women between the ages of 18 and 60 using the medical services of the MultiMedis Medical Center in Krakow, Poland, from a gynecological outpatient clinic. More than 80% of the group of women surveyed had regular gynecological check-up with a frequency of every six months to

je cytologię jako metodę profilaktyki wtórnej, jednakże wiedza dotycząca procedury wykonywania badania oraz Programu Profilaktyki i Wczesnego Wykrywania RSM, nie jest już tak powszechna. Również poziom wiedzy na temat objawów RSM należy uznać za niezadowalający.

Większość respondentek naszej ankiety (93,5%) zdaje się być świadoma, że badanie cytologiczne jest stosowane jako narzędzie profilaktyczne mające na celu wykrycie zmian komórkowych w szyjce macicy, które mogą wskazywać na obecność RSM lub zmian przedrakowych. W porównaniu do badań z poprzednich lat, gdzie 21% respondentek wskazało badanie cytologiczne jako profilaktyczne (12), można przypuszczać, że programy edukacyjne w tej kwestii się sprawdziły. Nie należy zapominać, że jest to jedynie badanie pilotażowe. W naszym badaniu największą znajomością tego pytania wykazały się osoby w wieku 40-59 lat, mieszkające w miastach pow. 500 tys. mieszkańców i posiadające wykształcenie wyższe. Należy zwrócić uwagę, że ta grupa pacjentek często odwiedza gabinet ginekologiczny, co może mieć wpływ na lepszą wiedzę w tym zakresie. Podobne wyniki dotyczące wieku i wykształcenia odnotowano w wcześniejszych badaniach, jednak wynik dotyczący miejsca zamieszkania był odwrotny (13).

W badaniu Pacewicz i wsp. przeprowadzonym w 2012 roku (14), większość ankietowanych kobiet (46%) podała, że informacje na temat tej choroby oraz badań cytologicznych wyszukuje w Internecie. W naszym badaniu znaczna większość respondentek (75,2%) wskazała Internet jako główne źródło wiedzy o badaniach profilaktycznych RSM, odzwierciedla to istotną rolę Internetu jako kluczowego źródła wiedzy. Powinno to skłonić do przyszłych działań poszerzających wiedzę, zwłaszcza przy użyciu Internetu. Personel medyczny został wskazany przez 58,8% kobiet jako źródło informacji o badaniach profilaktycznych. W badaniu Ulman-Włodarz i wsp. (12) wykazano, że dla 59% kobiet najczęstszym źródłem informacji o profilaktyce RSM były czasopisma, a następnie Internet (38%). Lekarze ginekolodzy i położne były źródłem wiedzy o profilaktyce dla odpowiednio 30% i 38% z badanych. Wydaje się, biorąc pod uwagę nasze badanie, że z upływem lat coraz więcej kobiet uzyskuje informacje na temat RSM oraz jego profilaktyki od lekarzy lub personelu medycznego, co może świadczyć o rosnącej roli personelu medycznego w uświadamianiu kobiet na ten temat. Jednak w obydwu badaniach większość stanowiły kobiety regularnie uczęszczające do ginekologa, co mogło mieć wpływ na uzyskane wyniki. W badaniu przeprowadzonym przez Ulman-Włodarz i wsp. objęto grupę 250 kobiet w wieku 18-60 lat, korzystających z usług medycznych Centrum Medycznego MultiMedis w Krakowie, z poradni ginekologicznej. Grupa ankier-

once every two years, but 11% declared visits every five years and less frequently. However, the Internet remains the main source of knowledge, even among patients under regular gynecological care.

The survey showed that almost 80% of women were able to define what a cytological examination is. Similarly, in a study conducted by Leszczyńska et al. (15), in which 78% of the participants gave correct information on this topic.

Analyzing the results of our own study, we observe that most of the women surveyed knew at least some of the symptoms of CC, but only one selected all symptoms and no symptoms as the correct answer. A disturbing result is that only 16.3% of the women surveyed agreed with the statement that CC can develop asymptotically. Compared to a study from 2011, Ulman et al. (12), in which 38% of respondents said that CC has no early symptoms, this is a worrying result. Lack of knowledge about the asymptomatic development of this cancer is associated with lower awareness of the need for regular cytological examinations as the only way to make an early diagnosis. The absence of alarming symptoms does not rule out CC, and this is what we need to make women aware of. The appearance of symptoms of CC occurs at further advanced stages. Diagnosis of cancer at such a late stage is often associated with limited treatment options therefore mortality is still high (16).

In our study, 82% of women chose HPV infection as a risk factor for cervical cancer, which is positive due to the major involvement of this pathogen in the process of carcinogenesis. In contrast, the surveyed women's awareness of other risk factors for CC is insufficient. Actually, only 18% of the respondents mentioned all risk factors, and these were mostly women in the 18-29 age group. Only one in three of the women surveyed knew about early onset of sexual life, smoking or HIV infection as risk factors. In the analysis by Wychowaniec et al. (17), also the majority of women chose HPV infection (80%) as a risk factor, but the percentage of respondents aware of the association between early age of onset of sexual activity and cigarette smoking with CC was higher, accounting for 63.48% and 51.30%, respectively, demonstrating the need to spread awareness of all risk factors for cervical cancer, not limited to HPV infection. Future educational programs should include comprehensive information to increase awareness of a variety of risk factors. In our study, no statistically significant relationship was observed regarding place of residence, which differs from previous studies. Former analyses have noted that women with higher education living in cities with more than 500,000 residents gave more correct answers in this regard (13).

towanych kobiet w ponad 80% znajdowała się w regularnej kontroli ginekologicznej z częstotliwością co pół roku do raz na dwa lata, ale 11% deklarowało wizyty co 5 lat i rzadziej. Jednakże, głównym źródłem wiedzy, nawet wśród pacjentek w regularnej opiece ginekologicznej, pozostaje nadal Internet.

Z przeprowadzonej ankiety wynika, że prawie 80% kobiet było w stanie określić czym jest badanie cytologiczne. Podobnie w badaniu przeprowadzonym przez Leszczyńską i wsp. (15), w którym poprawnej informacji na ten temat udzieliło 78% uczestników.

Analizując wyniki własnych badań obserwujemy, że większość ankietowanych kobiet знаła przynajmniej niektóre objawy RSM, ale tylko jedna wybrała wszystkie objawy i brak objawów jako odpowiedź prawidłową. Niepokojącym wynikiem jest, że jedynie 16,3% badanych kobiet zgodziło się ze stwierdzeniem, że RSM może rozwijać się bezobjawowo. W porównaniu do badania z 2011 r. Ulman i wsp. (12), w którym 38% badanych stwierdziło, że RSM nie ma wczesnych objawów, jest to niepokojący wynik. Brak wiedzy na temat asymptomatycznego rozwoju tego nowotworu wiąże się z niższą świadomością konieczności regularnych badań cytologicznych jako jedyne go sposobu na wczesne rozpoznanie. Brak niepokojących objawów nie wyklucza RSM i kobiety powinny być szeroko uświadamiane w tym zakresie. Pojawienie się objawów RSM występuje w dalszych stadiach zaawansowania. Diagnoza raka na tak późnym etapie często wiąże się z ograniczonymi możliwościami leczenia dlatego śmiertelność jest ciągle wysoka (16).

W naszym badaniu 82% kobiet wybrało zakażenie wirusem HPV jako czynnik ryzyka raka szyjki macicy, co jest pozytywnym zjawiskiem ze względu na główny udział tego patogenu w procesie karcinogenezy. Natomiast wiedza badanych kobiet o innych czynnikach ryzyka RSM jest niedostateczna. Właściwie wymieniło wszystkie czynniki ryzyka tylko 18% ankietowanych i były to większości kobiety z grupy 18-29 lat. O wczesnym rozpoczęciu życia seksualnego, paleniu papierosów czy infekcji HIV jako czynnikach ryzyka wiedziała tylko co trzecia z ankietowanych kobiet. W analizie Wychowaniec i wsp. (17), również większość kobiet wybrało infekcję wirusem HPV (80%) jako czynnik ryzyka, jednak odsetek respondentek świadomych związku pomiędzy wczesnym wiekiem rozpoczęcia aktywności seksualnej i paleniem papierosów z RSM był wyższy i stanowił odpowiednio 63,5% i 51,3%, co ukazuje potrzebę szerzenia świadomości na temat wszystkich czynników ryzyka raka szyjki macicy, nie ograniczając się wyłącznie do infekcji wirusem HPV. Przyszłe programy edukacyjne powinny obejmować kompleksowe informacje, aby zwiększyć wiedzę na temat różnorodnych czynników ryzyka. W naszym badaniu nie zaobserwowano zależności istotnej statystycznie odnośnie

In 2015, Leszczyńska et al. (15) found that the vast majority of women (about 90%) are aware of the possibility of free cytology under the preventive screening program if they are between the ages of 25 and 59. As of November 1, 2023, the Cervical Cancer Prevention and Early Detection Program covers women between the ages of 25 and 64 (8). In our survey, the majority of respondents chose the age range of 18 to 59 as the correct answer. In contrast, the correct age range currently applicable to the program was given by only 22% of respondents. On the one hand, this indicates that there is little interest in the NHF program and therefore the change in the age limit has not yet reached women's awareness, while on the other hand, the selection of this age range may be related to the awareness of starting screening as early as possible. Our study showed that the knowledge of the age range of this prevention program has decreased significantly, and it would be appropriate to pay attention to this in future educational programs. Also, the frequency of cytological examinations was selected according to the program's recommendations by only 21% of the respondents, which is identical to the previous 2015 study (15), and better than the 2011 study, where only 1% indicated every 3 years (12). This would demonstrate that women's awareness of this issue increased between 2011 and 2015, but unfortunately, it has not changed since 2015. This comparison should be treated with caution due to methodological differences and the small number of respondents. The frequency of check-ups "every year" was chosen by 56% of women surveyed, which may be due to the fact that cytological examinations are performed as part of private medical care. In 2011, 76% of surveyed women indicated this frequency (12). The NHF program focuses on the peak of incidence which is due to the long-standing, asymptomatic development of cervical cancer and its procedures, despite being free of charge, are known to too small a group of women. Younger women in our survey were more knowledgeable about the frequency of examinations according to the Program's guidelines.

In our survey, 62% of women knew that the first cytological examination should be done after the start of sex life, and this was the answer given by 78% of women in the 18-29 age group. In a 2014 survey, only 38% of women knew that a cytological examination should be performed after starting sexual intercourse (13), which would indicate that women's knowledge on the subject has increased.

Knowledge of the correct day of the cycle for the testing was demonstrated only by 46% of respondents and these were mainly residents of large cities and women with higher education, which is an unfavourable result.

According to the observation of Michałek et al. (18), there is a need for a debate on action strategies to raise

miejsca zamieszkania, co różni się od wcześniejszych badań. W poprzednich badaniach zauważono, że kobiety z wyższym wykształceniem mieszkające w miastach powyżej 500 tys. mieszkańców udzielały więcej poprawnych odpowiedzi w tym zakresie (13).

W 2015 roku Leszczyńska i wsp. (15) stwierdzili że znaczna większość kobiet (ok. 90%) jest świadoma możliwości wykonania bezpłatnej cytologii w ramach programu badań profilaktycznych, jeśli znajdują się w przedziale wiekowym od 25 do 59 r.ż. Od 1 listopada 2023 Program Profilaktyki i Wczesnego Wykrywania Raka Szyjki Macicy obejmuje kobiety od 25 do 64 roku życia (8). W naszym badaniu większość respondentek wybrała przedział wiekowy od 18 do 59 roku życia jako prawidłową odpowiedź. Natomiast właściwy przedział wiekowy, obowiązujący aktualnie w programie został podany jedynie przez 22% respondentek. Z jednej strony świadczy to o małym zainteresowaniu programem NFZ i dlatego zmiana granicy wieku nie dotarła jeszcze do świadomości kobiet, a z drugiej wybranie tego przedziału wiekowego może być związane ze świadomością rozpoczęcia badań jak najwcześniej. Nasze badanie ukazało, że zmniejszyła się znacznie wiedza o przedziale wiekowym tego programu profilaktyki i należałoby zwrócić uwagę na to w przyszłych programach edukacyjnych. Również częstotliwość wykonywanych badań cytologicznych została wybrana zgodnie z zaleceniami programu tylko przez 21% ankietowanych, czyli tak jak w poprzednich badaniach z roku 2015 (15), a lepiej niż w badaniach z 2011 roku, gdzie tylko 1% wskazało co 3 lata (12). Wskazywałoby to, że świadomość kobiet w tym zakresie wzrosła w latach 2011-2015, ale niestety od 2015 roku nie uległa zmianie. Porównanie to należy traktować ostrożnie, ze względu na różnice metodologiczne i mało liczną grupę badanych. Częstotliwość wykonywania badań „co rok” wybrało 56% badanych kobiet, co może wynikać z faktu wykonywania badań cytologicznych w ramach prywatnej opieki medycznej. W roku 2011 badane kobiety w 76 % wskazały tę częstość (12). Program NFZ koncentruje się na szczycie zachorowań, co wynika z długoletniego, bezobjawowego rozwoju raka szyjki macicy i jego zasady pomimo bezpłatności zna zbyt mała grupa kobiet. Młodsze kobiety z naszej ankiety miały większą wiedzę na temat częstotliwości wykonywania badań wg wytycznych Programu.

W naszym badaniu 62% kobiet wiedziało, że pierwsze badanie cytologiczne powinno być wykonane po rozpoczęciu współżycia i takiej odpowiedzi udzieliło 78% kobiet z grupy wiekowej 18-29 lat. W badaniu z roku 2014 jedynie 38% kobiet wiedziało, że badanie cytologiczne należy wykonać po rozpoczęciu współżycia seksualnego (13), co wskazywałoby, że zwiększyła się wiedza kobiet na ten temat.

awareness of screening among women living in smaller cities and with primary education, which was also confirmed by our study.

In the analysis presented here, women in the 18-29 age range were more knowledgeable about the frequency of cytological examinations under the National Health Service program and performing them from the onset of intercourses, and showed greater awareness of cervical cancer risk factors compared to other age groups, which may suggest the effectiveness of educational efforts aimed at this age group. Thus, it is worth taking advantage of this fact and reaching out to this group with information about HPV vaccination because the vaccination of adolescents in our country is not popular. Young adults can decide for themselves, and an informed choice between primary and secondary prevention would be the best solution. It is also noteworthy that most of the correct answers to the questions in our survey were given by young women (18-29 years old) and women in the 40-59 age range, with higher education and living in large cities. Compared to previous surveys, what is new is the significant role of the 40-59 age group (13).

CONCLUSIONS

- Although the majority of women in the surveyed group declared regular gynecological check-ups, knowledge about preventive examinations and information about cervical cancer is mainly acquired by the surveyed women via the Internet, which suggests that educational activities in offices should be intensified
- There is a need to continue educational efforts on the procedure for performing a cytological examination especially in terms of visits on the correct day of the menstrual cycle
- Knowledge of the free CC preventive screening program is inadequate
- Knowledge of such risk factors for cervical cancer as early age of sexual initiation, smoking, HIV infection, and multiple deliveries is inadequate
- It is necessary to raise awareness that cervical cancer can develop asymptotically
- Due to the poor level of knowledge in the group of older women with less than higher education and residing in smaller towns, it would be particularly appropriate to target these people with an educational measure inside gynecological office
- Given that this was a pilot study on a small group of people, and therefore was subject to the risk of error, it would be appropriate to conduct a similar study on a larger number of female respondents, in a larger number of gynecological offices.

Wiedzę na temat właściwego dnia cyklu na przeprowadzenie badania miało tylko 46% ankietowanych – były to głównie mieszkanki dużych miast i kobiety z wyższym wykształceniem, co jest niekorzystnym wynikiem.

Zgodnie z obserwacją Michałek i wsp. (18), istnieje potrzeba przeprowadzenia debaty na temat strategii działania mających na celu zwiększenie świadomości na temat badań przesiewowych wśród kobiet zamieszkujących w mniejszych miastach i posiadających podstawowe wykształcenie, co potwierdziło również nasze badanie.

W przedstawionej analizie kobiety w przedziale wieku 18-29 lat miały większą wiedzę co do częstości wykonywania badań cytologicznych w ramach programu NFZ i wykonywaniem ich od momentu rozpoczęcia współżycia oraz wykazały się większą świadomością czynników ryzyka raka szyjki macicy w porównaniu do innych grup wiekowych, co może sugerować skuteczność działań edukacyjnych ukierunkowanych na tę grupę wiekową. Warto więc wykorzystać ten fakt i dotrzeć do tej grupy z informacją o szczepieniach przeciwko HPV w sytuacji, gdy szczepienia młodzieży w naszym kraju nie cieszą się popularnością. Młodzi dorośli mogą o nich zdecydować sami, a świadomy wybór między profilaktyką pierwotną a wtórną byłby najlepszym rozwiązaniem. Warto również zauważyć, że większość poprawnych odpowiedzi na pytania w naszym badaniu udzieliły kobiety młode (18-29 lat) oraz kobiety w przedziale wiekowym 40-59 lat, z wyższym wykształceniem i mieszkające w dużych miastach. W porównaniu do wcześniejszych badań, nowością jest istotna rola grupy wiekowej 40-59 lat (13).

WNIOSKI

- Pomimo, że większość kobiet w badanej grupie deklarowała regularne badania ginekologiczne, wiedzę na temat badań profilaktycznych i informacje o raku szyjki macicy ankietowane kobiety zdobywały głównie przez Internet, co pozwala przypuszczać, że należy zintensyfikować działania edukacyjne w gabinetach
- Istnieje potrzeba kontynuacji działań edukacyjnych na temat procedury wykonywania badania cytologicznego, zwłaszcza w zakresie zgłaszalności we właściwym dniu cyklu miesięczkowego
- Wiedza na temat bezpłatnego programu badań profilaktycznych RSM jest niedostateczna
- Znajomość takich czynników ryzyka raka szyjki macicy jak wczesny wiek inicjacji seksualnej, palenie papierosów, zakażenie HIV, wielodzieciowość jest niedostateczna
- Konieczne jest uświadamianie, że rak szyjki macicy może rozwijać się bezobjawowo

REFERENCES

1. Globocan 2022. Global Cancer Observatory: Cancer Today. International Agency for Research on Cancer [cited 2024.07.12]. Available from: <https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/populations/900-world-fact-sheet.pdf>
2. Gładysz I. Assessing the knowledge of cervical cancer by women from Biała Podlaska, Lubelskie Voivodeship. *Health Problems of Civilization*. 2021;15(1):17-22. doi:10.5114/hpc.2020.102232.
3. Quinlan JD. Human Papillomavirus: Screening, Testing, and Prevention. *Am Fam Physician*. 2021 Aug 1;104(2):152-159.
4. Oyouni AAA. Human papillomavirus in cancer: Infection, disease transmission, and progress in vaccines. *J Infect Public Health*. 2023 Apr;16(4):626-631.
5. Blecharz P. Rak szyjki macicy: przyczyny, objawy, leczenie i szczepienie. *Medycyna Praktyczna* [cited 2024.05.11]. Available from: <https://www.mp.pl/pacjent/onkologia/choroby-nowotworowe/99295,rak-szyjki-macicy>
6. Zhang S, Xu H, Zhang L, Qiao Y. Cervical cancer: Epidemiology, risk factors and screening. *Chin J Cancer Res*. 2020 Dec 31;32(6):720-728.
7. Poniewierza P, Panek G. Cervical Cancer Prophylaxis-State-of-the-Art and Perspectives. *Healthcare (Basel)*. 2022 Jul 17;10(7):1325.
8. Profilaktyka raka szyjki macicy. *Pacjent.gov.pl*. [cited 2024.05.11]. Available from: <https://pacjent.gov.pl/program-profilaktyczny/profilaktyka-raka-szyjki-macicy>
9. Pauli S, Kops NL, Bessel M, Lina Villa L, Moreno Alves Souza F, Mendes Pereira GF, et al. Sexual practices and HPV infection in unvaccinated young adults. *Sci Rep*. 2022 Jul 20;12(1):12385. Erratum in: *Sci Rep*. 2022 Aug 25;12(1):14508.
10. Goldstone SE. Human papillomavirus (HPV) vaccines in adults: Learnings from long-term follow-up of quadrivalent HPV vaccine clinical trials. *Hum Vaccin Immunother*. 2023 Dec 31;19(1):2184760.
11. Ministerstwo Edukacji i Nauki. Szczepienia przeciw HPV [cited 2024.08.5]. Available from: <https://www.gov.pl/web/edukacja/szczepienia-przeciw-hpv>
12. Ulman-Włodarz I, Nowosielski K, Romanik M, Pozowski J, Jurek M. Świadomość profilaktyki raka szyjki macicy wśród kobiet zgłaszających się do poradni K. [Awareness of cervical cancer prevention among patients of gynecological outpatient clinic]. *Ginekol Pol*. 2011 Jan;82(1):22-5. Polish.
- Ze względu na niski poziom wiedzy w grupie osób w starszym wieku, z wykształceniem niższym oraz zamieszkujących mniejsze miasta, szczególną uwagę należy skierować na działania edukacyjne dla tej grupy w ramach gabinetu ginekologicznego
- Biorąc pod uwagę, że przeprowadzone badanie było badaniem pilotażowym na małej grupie osób, obarczonym przez to ryzykiem błędu, należałoby przeprowadzić podobne badanie na większej liczbie respondentek, w większej liczbie poradni ginekologicznych.
13. Stefanek A, Durka P. Poziom świadomości kobiet na temat profilaktyki raka szyjki macicy. *Polski Przegląd Nauk o Zdrowiu*. 2014;1(38):29-38
14. Pacewicz M, Krajewska-Kułak E, Krajewska-Ferishah K. Prophylaxis of cervical cancer in women and men perception. *Medycyna Paliatywna/Palliative Medicine*. 2012;4(4):217-228.
15. Leszczyńska K, Franek GA, Moskwa J, Nowak-Kapusta Z, Maciejewska-Paszek I, Irzyniec TJ. Wiedza kobiet na temat profilaktyki raka szyjki macicy. In: *Dobrostan i społeczeństwo*. Koliber; 2015. p. 257–270.
16. Saei Ghare Naz M, Kariman N, Ebadi A, Ozgoli G, Ghasemi V, Rashidi Fakari F. Educational Interventions for Cervical Cancer Screening Behavior of Women: A Systematic Review. *Asian Pac J Cancer Prev*. 2018 Apr 25;19(4):875-884. doi: 10.22034/APJCP.2018.19.4.875.
17. Wychowaniec M, Głuszek S, Pierzak M, Koziel A. Women's health behaviours regarding cervical cancer prevention. *Medical Studies/Studia Medyczne*. 2016;32(1):29-36.
18. Michalek IM, Manczuk M, Caetano Dos Santos FL, Macios A, Didkowska J, Nowakowski A. Self-reported participation in cervical cancer screening among Polish women in 2004-2019. *Ginekol Pol*. 2024;95(5):335-342.

Received: 11.06.2024

Accepted for publication: 13.09.2024

Otrzymano: 11.06.2024 r.

Zaakceptowano do publikacji: 13.09.2024 r.

Address for correspondence:

Adres do korespondencji:

Clara Kuzminski

Oddział Chirurgii, Samodzielny Publiczny Zespół Opieki Zdrowotnej w Brzesku,

ul. Kościuszki 68, 32-800 Brzesko

e-mail: clarakuzminski@gmail.com

Jan Barański

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

INTELLIGENTNA REWOLUCJA W MEDYCYNIE – ZASTOSOWANIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI (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*

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 rozwiązywania problemów regulacyjnych i etycznych.

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

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

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.

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

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

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.

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, osią-

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%

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.

gając 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 wy-

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

krywaniu 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

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

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 stosowana 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).

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

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

Dzięki temu możliwe jest wcześniejsze rozpoczęcie interwencji terapeutycznych.

Psychiatria. W psychiatrii AI jest stosowana 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.

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

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

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. Intelligentne 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,

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).

Table 4. Patient satisfaction table (27)

Tabela 4. Tabela satysfakcji pacjentów (27)

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

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

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

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).

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 zabezpieczaniu 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. Wyzwanie 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 rekonstruowane, co stwarza ryzyko naruszenia prywatności. Dlatego techniki anonimizacji i szyfrowania muszą być ciągle doskonalone, 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).

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

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).

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.

Tego rodzaju błędy mogą opóźniać lub prowadzić do niewłaściwego leczenia, podkreślając potrzebę starannego monitorowania wyników AI przez specjalistów.

Ograniczenia technologiczne. Obecne systemy AI napotykają 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.

WPŁYW 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.

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.

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,

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.

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

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.

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, Ashrafi 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/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, Wählin 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, Hagra 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, Wojtuszczyńska 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 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 wyzwaniami, 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.
- Transl Med. 2020;18(1):472. doi: 10.1186/s12967-020-02658-5
15. Harmon DM, Sehwat 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, Vaio 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, Olgia 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
30. Kufel J, Bargiel 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

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*

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*

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

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

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-

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 subtelnych 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

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

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 techno-

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

logii 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 monitoru-

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

jące 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

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

zachorowalności. AI wspomaga również pracę лаборantów, 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).

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

* * *

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,

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

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 umożliwia 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).

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,

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.

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

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

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

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.

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.

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, bezpie-

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

czeństwa 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 WSPÓŁPRACA

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.

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*

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.

- 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

Varkey Nadakkavukaran Santhosh¹, Siva Shankkari¹, David Coutinho¹, Anil V Ankola¹,
Roopali M Sankeshwari¹, Vinuta Hampiholi², Anu Sara Varghese¹, Yuvarani Kandasamy Parimala¹

EFFECTIVENESS OF A TOOTHBRUSHING INTERVENTION UTILIZING PUZZLE-SOLVING GAME ASSISTED WITH VISUAL AIDS AMONG ADOLESCENTS: A SINGLE-BLIND RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL

¹Department of Public Health Dentistry, KLE Vishwanath Katti Institute of Dental Sciences,
KLE Academy of Higher Education and Research (KLE University), Belagavi, India

²Department of Periodontology, KLE Vishwanath Katti Institute of Dental Sciences,
KLE Academy of Higher Education and Research (KLE University), Belagavi, India

ABSTRACT

BACKGROUND. Maintaining good oral hygiene through effective toothbrushing is crucial for preventing dental issues in adolescents. Conventional oral health education (OHE) and video demonstration approach are passive means of OHE, that often fail to engage this age group. This study introduced an innovative approach to OHE by combining jigsaw puzzle and visual aids to improve oral health outcomes among adolescents.

OBJECTIVE. To assess the effectiveness of Jigsaw Puzzle-assisted Visual Reinforcement (JPVR) technique on toothbrushing knowledge, practices, and clinical oral health parameters compared to conventional OHE and video demonstration among adolescents.

MATERIAL AND METHODS. This single-blind randomized controlled trial involved 195 adolescents aged 12-15 years randomly allocated to three groups: conventional OHE (control), video demonstration and JPVR. Interventions were administered, and assessments were carried out at baseline, 1 month, and 3 months. Prior to the start of the study, the oral hygiene aids used were standardized. Outcomes were measured using a self-designed, validated closed-ended questionnaire to assess the toothbrushing knowledge and practices. This was followed by clinical examination carried out using gingival and plaque indices by a blinded examiner.

RESULTS. At baseline, groups had comparable knowledge, practices, and clinical parameters. At 3 months, the JPVR group demonstrated significantly higher knowledge, better practices, lower plaque, and reduced gingival scores compared to other groups.

CONCLUSIONS. The JPVR technique improved toothbrushing knowledge, practices, and clinical oral health parameters among adolescents. This approach fostered active learning and knowledge retention and is a cost-effective strategy for promoting positive oral health outcomes among children.

Keywords: *adolescents, game-based learning, oral health education, oral hygiene status, toothbrushing*

INTRODUCTION

Oral health is a fundamental aspect of overall well-being, and its significance cannot be overstated, particularly during adolescence, a critical period of growth and development (1). Poor oral hygiene practices during this stage can lead to various dental and periodontal problems, which may have long-lasting consequences (2). Maintaining good oral hygiene through effective toothbrushing is crucial for preventing dental caries, gingivitis, and other oral health issues. Hence, Oral Health Education (OHE)

plays a vital role especially among school children to improve their oral health outcomes.

Conventional OHE methods for toothbrushing, although valuable, often fail to capture the attention and engagement of adolescents, leading to suboptimal retention and application of the toothbrushing knowledge and practices (3,4). OHE through educational video has shown to improve oral health knowledge (5,6). However, both these methods only provide a passive means of OHE. Consequently, there is a pressing need to explore innovative and interactive approaches that can enhance knowledge, motivation,

and practical skills of children in maintaining optimal oral hygiene.

One promising strategy involves the incorporation of game-based learning techniques, which have been shown to effectively promote active participation, increase motivation, and facilitate better knowledge retention (4). Puzzle-solving games, in particular, offer a compelling and engaging way to reinforce crucial concepts through hands-on activities and visual aids (7). Previous studies have demonstrated the positive impact of interactive interventions on oral health knowledge and practices among children and adolescents (8,9). However, there is a dearth of research exploring the effectiveness of puzzle-solving games combined with visual aids as an approach to promoting toothbrushing proficiency in this age group.

Jigsaw puzzles can be an engaging and interactive way to impart OHE among adolescents. It provides an interactive and multisensory approach for OHE. By assembling puzzle pieces depicting oral health concepts, adolescents engage in visual pattern recognition and tactile manipulation, stimulating cognitive processing and retention (10). It fosters teamwork, communication, and problem-solving skills. This hands-on, visual-tactile learning experience caters to diverse learning styles, making OHE engaging and effective for adolescents (11). As children work together to assemble the puzzle, they can actively discuss and reinforce their understanding of proper brushing techniques (12). Furthermore, the sense of accomplishment derived from completing a puzzle can motivate adolescents.

Visual aids in the form of stickers can be used to reinforce the OHE acquired through these puzzles. These aids can serve as reminders of key oral health concepts. By combining the interactive nature of jigsaw puzzles with visual aids, OHE can become more retentive, engaging, and effective for adolescents. This study introduces an innovative approach to OHE by integrating jigsaw puzzles and visual aids for adolescents. It seeks to address the gap in existing literature by using this creative OHE approach among school-going adolescents. Thus, the present study aims to assess the effectiveness of Jigsaw Puzzle assisted Visual Reinforcement (JPVR) on toothbrushing knowledge, practices and clinical oral health parameters compared to conventional OHE and video demonstration.

MATERIALS AND METHODS

Study design and study setting. The current study was a three-arm, single-blind randomized controlled trial conducted over three months in 2024 at a public school in Belagavi, Karnataka,

India. It followed CONSORT guidelines and was registered with the Clinical Trials Registry—India (CTRI/2024/03/064280).

Sample size calculation. The minimum sample size for the current study was estimated to be 177 adolescents and was calculated using GPower program (G* Power Version 3.1.9.4 statistical software) based on a previous study (13). It was calculated with a power of 0.80 and an alpha error of 0.05. However, to compensate for potential dropouts, an additional 10% was factored in. As a result, the final sample size for the study consisted of 195 adolescents, with 65 individuals randomly assigned to each of the three groups in the study.

Selection criteria. The study included adolescents aged 12 to 15 years who met these criteria: provided assent, had parental/guardian consent, and a plaque score over one. It excluded adolescents who were uncooperative, had systemic conditions, or were on medications affecting gingival health.

Ethical Considerations. The study protocol was approved by the Institutional Research and Ethics Committee (Ref no:148, issued June 13, 2023) and followed ethical standards outlined in the Helsinki Declaration.

Assessment plan

Preparatory phase. A self-designed, closed-ended questionnaire was utilized in the study comprising 15 items in English to assess sociodemographic characteristics, toothbrushing knowledge, and practices. The questionnaire had eight questions assessing knowledge of participants. Correct answers were scored as 1, and incorrect as 0. Participants' cumulative knowledge scores ranged from 0 to 8, calculated by summing their scores for each question. Likewise, the questionnaire had also seven questions evaluating participants' toothbrushing practices. Correct practices were scored 1, incorrect as 0. Participants' cumulative practice scores ranged from 0 to 7, calculated by summing their scores.

A pilot study was carried out involving 15 adolescents. The primary objectives of this pilot study were to evaluate the reliability of the questionnaire, assess the feasibility of the study protocol, gather participant feedback, and determine the comprehensibility of the questionnaire, video demonstration, jigsaw puzzle, and visual aid. Based on the feedback from participants, adjustments were made to accommodate their preferences, such as displaying the video on a larger screen with loud speakers and allowing more time for solving the jigsaw puzzle. However, the results of the pilot study were not included in the final analysis.

The face validity and content validity ratio of the questionnaire were assessed by a panel of five subject matter experts, resulting in a face validity of 84% and a content validity ratio of 0.86. Furthermore, the questionnaire demonstrated good internal consistency reliability, with a Cronbach's alpha value of 0.88.

To maintain uniformity in data collection, a single trained examiner underwent rigorous training for recording gingival and plaque indices under the supervision of subject matter experts. The intra-examiner reliability was assessed using kappa statistics for the Loe and Silness gingival index and the Silness and Loe plaque index. The Cohen's kappa coefficients were found to be 0.82 and 0.89, for gingival and plaque index, respectively, indicating substantial agreement and reliability in the examiner's measurements.

Standardization of oral hygiene aids and randomization. In order to maintain the consistency of the oral hygiene aids used during the study period and minimize any potential bias, all participants were provided with a standardized soft-bristled toothbrush and fluoridated toothpaste. They were instructed to use the same during the study period and replacements were provided in case of any loss. The study sample comprised of 195 adolescents, recruited through a simple random sampling technique. They were randomly allocated into three groups using a computer-generated table of random numbers. All three groups received conventional OHE on toothbrushing. Group 1, the control group ($n = 65$) received only the conventional OHE. Whereas Groups 2 and 3 received the video demonstration on toothbrushing and the JPVR technique, respectively, in addition to the conventional OHE. To ensure allocation concealment, the present study employed the SNOSE (Sequentially Numbered, Opaque, Sealed Envelope) technique. The questionnaire to assess toothbrushing knowledge and practices was individually administered to the children prior to their clinical examination, where the examiner recorded their gingival and plaque scores. The nature of the intervention implemented by the investigator remained blinded from the examiner.

Administration of intervention. Following the baseline assessment, the principal investigator held a 20-minute OHE session on effective toothbrushing techniques and practices for all three groups in an auditorium. School teachers were present to facilitate smooth delivery of the session.

JPVR technique: In this group, every adolescent was provided with visual aids in the form of stickers demonstrating the proper toothbrushing techniques. They were instructed to attach these stickers to their diaries to reinforce the knowledge they had gained through conventional OHE. It was also used as an aid to complete the jigsaw puzzle.

Participants were randomly divided into 13 subgroups, each with 5 people, using computer-generated randomization. Each subgroup worked on putting together a 45-piece jigsaw puzzle that showcased proper toothbrushing methods, mirroring the visual aids. They were given a 30-minute time limit to finish the puzzle, and the first group to complete it received a reward. The contents of both the visual aid and the puzzle were validated by subject matter experts.

Video demonstration: Participants in this group were shown a video demonstrating the correct toothbrushing technique on a large screen after receiving the OHE. The video shown for demonstration was taken from YouTube: (<https://www.youtube.com/watch?v=O4wDITXrvrc>) and was 2 minutes long. The contents of this video were validated by subject matter experts.

Conventional OHE: The control group received only conventional OHE which focused on the correct toothbrushing techniques. The conventional OHE was carried out as a one-way lecture which had demonstration on a model. The content of toothbrushing techniques in all three intervention groups were uniform.

Participants received reinforcement of the interventions at scheduled time intervals during the 1st, 4th, and 8th week. A CONSORT flow diagram illustrating the study design is shown in Figure 1.

Follow-Up. The study had two follow-up assessments, conducted at the first and third month, respectively. During the first- and third-month of follow-up, the same examiner, who remained blinded throughout the study, recorded the gingival and plaque scores for all participants using the same indices employed at baseline. At the 3rd month, an identical questionnaire to the one used at baseline was administered to assess the knowledge and practices of the participants across all groups.

To preserve the integrity of study, participants were intentionally not informed of the exact dates for reinforcement sessions and assessments. At the conclusion of the study, both the video demonstration and JPVR technique were shared with all groups as a moral obligation.

Statistical analysis. The acquired data was entered into Microsoft Excel 2020 and analysed using IBM SPSS® Statistics for Windows, Version 21.0. Continuous variables were presented as mean $\pm$ standard deviation, while categorical variables were reported as frequencies. The Shapiro-Wilk test confirmed a non-normal distribution, so non-parametric tests were used: Kruskal-Wallis for unpaired data and Wilcoxon signed rank and Friedman tests for repeated measures. These tests were followed by their respective post hoc tests. Drop-out analysis

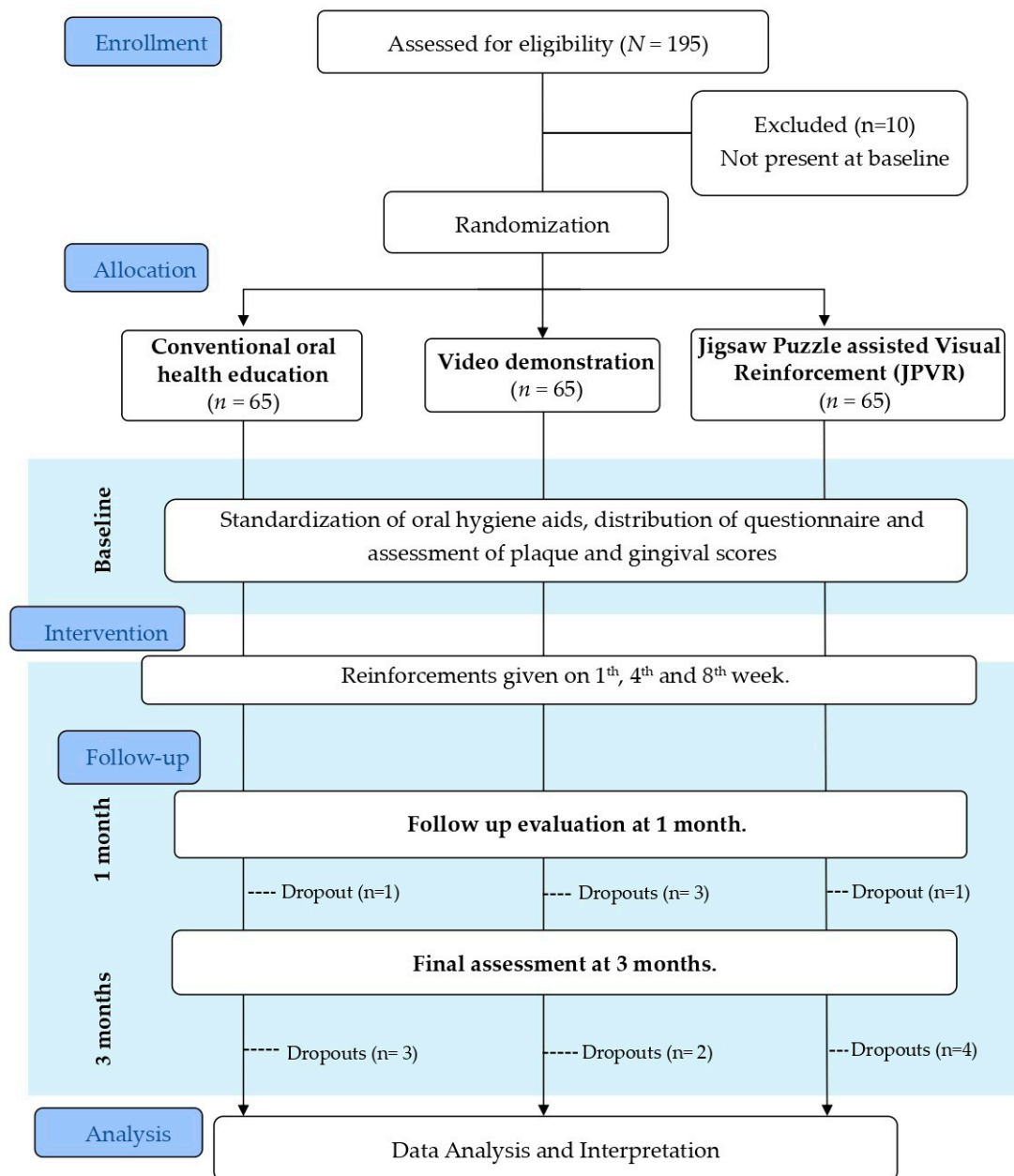


Figure 1. Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT) diagram

was also carried out. Statistical significance was set at $p \leq 0.05$

RESULTS

The current study comprised of 195 adolescents, among which 64.1% were females and 35.9% males. The mean age of the participants in conventional OHE group, video demonstration group, and JPVR technique group were 13.29 ± 1.06 , 13.14 ± 0.88 and 13.02 ± 1.20 years, respectively. Table 1 summarizes the demographic profile of the participants. Dropout analysis showed that there was no significant difference between dropouts and completers. This indicates that there was no bias from differential attrition. Table 2

presents the comparison of mean knowledge and practice score among three groups at baseline and three months. At baseline all the three groups had similar knowledge ($P = 0.626$) and practice ($P = 0.863$). It was observed that there was a significant gain in knowledge and improvement in practice at 3 months compared to baseline in all three groups ($P < 0.001$). However, the knowledge gained and the practices improved was significantly higher in JPVR technique compared to other two groups. This indicates that the JPVR group was more effective in increasing the knowledge and practices scores at the end of 3 months among these school children compared to the other two groups (Table 2).

Table 1. Demographic profile of the study participants

Demographic profile	Conventional OHE (n = 65)	Video demonstration (n = 65)	JPVR (n = 65)	<i>P</i> -value
Gender[#] n (%)				
Male	23 (35.4%)	25 (38.5%)	22 (33.8%)	0.856
Female	42 (64.6%)	40 (61.5%)	43 (66.2%)	
Total	65(100.0%)	65(100.0%)	65(100.0%)	
Age^{##} (Mean±SD)	13.29 ± 1.06	13.14 ± 0.88	13.02 ± 1.20	0.328

SD – Standard deviation; *Gender* is expressed as frequency and percentage (in parentheses); *Age* is expressed as mean ± *SD*; Statistical test used: [#]Chi square test and ^{##}One-way ANOVA; Level of significance: $P \leq 0.05$ is considered statistically significant

Table 2. Comparison of knowledge and practice score among various groups at different time points

Parameters	Groups	Baseline	3 months	<i>P</i> -value [#]
Knowledge (Mean ± SD)	Conventional OHE	2.05 ± 1.81 ^α	3.17 ± 2.18 ^α	<0.001*
	Video demonstration	2.22 ± 1.90 ^α	4.32 ± 2.35 ^β	<0.001*
	JPVR	2.32 ± 1.83 ^α	6.08 ± 1.67 ^γ	<0.001*
	<i>P</i> -value ^{##}	0.626	<0.001*	
Practice (Mean ± SD)	Conventional OHE	2.14 ± 1.76 ^α	3.28 ± 1.99 ^α	<0.001*
	Video demonstration	2.22 ± 1.71 ^α	4.60 ± 1.94 ^β	<0.001*
	JPVR	2.30 ± 1.78 ^α	5.46 ± 1.20 ^γ	<0.001*
	<i>P</i> -value ^{##}	0.863	<0.001*	

SD– Standard deviation; All values are expressed as mean ± *SD*; Statistical test used: ^{##}Kruskal-Wallis test followed by Dunn's post hoc test (Intergroup comparison – vertical *P*-value) and [#]Wilcoxon signed rank test; Groups with different Greek letters in superscript shows statistically significant difference with conventional OHE group; Level of significance: P -value ≤ 0.05 is considered statistically significant

Table 3. Comparison of plaque and gingival scores among the three groups at different time points

Parameters	Groups	Baseline	1 st month	3 rd month	<i>P</i> -value [#]
Plaque score (Mean ± SD)	Conventional OHE	1.65 ± 0.26 ^{αα}	1.58 ± 0.22 ^{αα}	1.60 ± 0.22 ^{αb}	<0.001*
	Video demonstration	1.69 ± 0.28 ^{αα}	1.36 ± 0.28 ^{βb}	1.53 ± 0.25 ^{αc}	<0.001*
	JPVR	1.64 ± 0.25 ^{αα}	1.34 ± 0.28 ^{γb}	1.39 ± 0.20 ^{γc}	<0.001*
	<i>P</i> -value ^{##}	0.583	<0.001*	<0.001*	
Gingival score (Mean ± SD)	Conventional OHE	0.29 ± 0.29 ^{αα}	0.27 ± 0.24 ^{αα}	0.28 ± 0.25 ^{αα}	0.715
	Video demonstration	0.31 ± 0.30 ^{αα}	0.27 ± 0.28 ^{αα}	0.28 ± 0.29 ^{αα}	0.763
	JPVR	0.30 ± 0.30 ^{αα}	0.28 ± 0.30 ^{αα}	0.27 ± 0.29 ^{αb}	<0.001*
	<i>P</i> -value ^{##}	0.950	0.980	0.857	

SD– Standard deviation; All values are expressed as mean ± *SD*; Statistical test used: ^{##}Kruskal-Wallis test followed by Dunn's post hoc test (Intergroup comparison: vertical *P*-value) and [#]Friedman test followed by Bonferroni post hoc test (Intergroup comparison: horizontal *P*-value); Groups with different Greek letter (α , β , γ) in superscript show statistically significant difference with conventional OHE group and groups with different letters (α , β , γ) in superscript shows statistically significant difference with baseline; Level of significance: P -value ≤ 0.05 is considered statistically significant

Figure 2 and 3 presents the mean score of plaque and gingival index at baseline, 1 month and 3 months among three groups. The mean score of plaque ($P = 0.583$) and gingival index ($P = 0.950$) at baseline displayed no significant difference among all three groups. At 1st month plaque scores showed statistically significant difference among all three groups ($P < 0.001$), with JPVR group (1.34 ± 0.28) displaying highest reduction of plaque which was closely followed by video demonstration group (1.36 ± 0.28). In the third month there was an increase in plaque scores compared to first month in all three groups, however the lowest plaque score was observed in JPVR group (1.39 ± 0.20). Pairwise comparison of the three time points showed statistically significant difference among all three groups ($P < 0.001$). These results highlight the effectiveness of JPVR technique in reducing the plaque among the children.

When gingival scores were considered, there was no statistically significant difference at baseline ($P = 0.950$), 1 month ($P = 0.980$) and 3 months ($P = 0.857$) among all three groups. When pairwise comparison of the three time points was considered, there was a statistically significant difference only in JPVR group ($P < 0.001$) (Table 3). These results indicate that the JPVR group at the end of 3 months was more effective in reducing the gingival index scores compared to baseline, however it did not bring about a significant reduction compared to other three groups.

DISCUSSION

Game-based OHE offers a more engaging and interactive approach to teaching children about proper toothbrushing practices compared to conventional methods (14). By incorporating elements of play

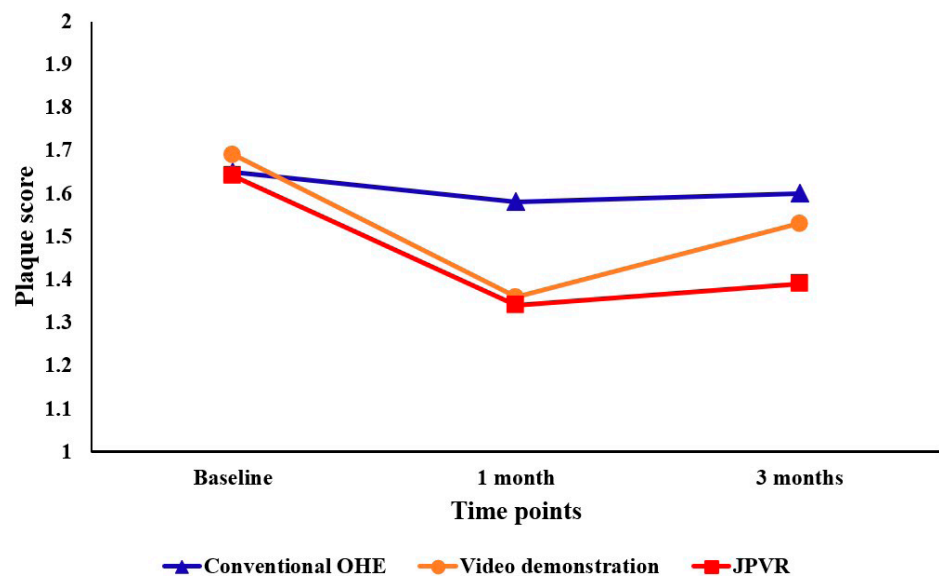


Figure 2. Comparison of mean plaque score among three groups at different time points

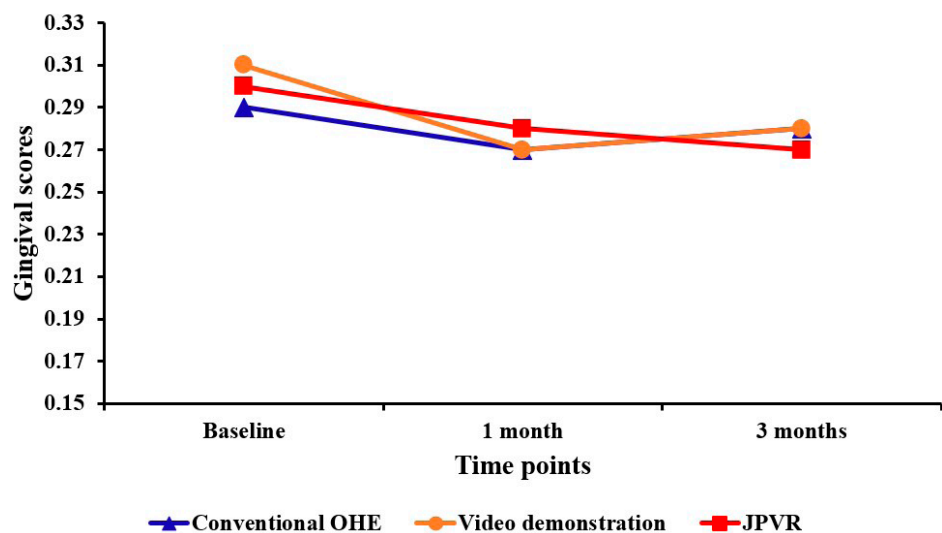


Figure 3. Comparison of mean gingival score among three groups at different time points

and gamification, it capitalizes on children's natural inclination towards fun and enjoyment, making the learning process more enjoyable and effective (15). Unlike traditional lecture-based approaches, which can often be perceived as dull or overwhelming, game-based education allows children to actively participate and acquire knowledge through interactive scenarios, challenges, and rewards (7). The present study evaluated the effectiveness of JPVR technique in improving toothbrushing knowledge, practices, and clinical oral health outcomes of adolescents, compared to conventional OHE and a video demonstration approach.

The present study demonstrated that all three groups at baseline exhibited comparable levels of toothbrushing knowledge, practices, and clinical

parameters, indicating homogeneity among the study participants. This similarity in baseline characteristics across the groups allowed for an unbiased evaluation of the interventions' effects. These findings were similar to that of Kumar et al. (4), and Subedi et al. (16). When the knowledge and practices of all three groups were assessed at three months, there was a stark improvement in all three groups. However, the knowledge retained and practices improved was highest in the JPVR technique group compared to other groups. These findings aligned with other game-based interventions by RS Kumar et al. (4), Liu et al. (17), Mallik et al. (7), and Y Kumar et al. (3).

Active learning methods of OHE such as JPVR, can significantly improve oral health knowledge and practices compared to passive learning methods like lecture-based OHE and video demonstrations. This active JPVR approach encourage learners to actively engage with the material, fostering increased retention and understanding through personalized feedback, practical application of concepts, collaborative learning experiences, and multisensory stimulation (18). By promoting critical thinking, knowledge application in real life scenarios, and peer-to-peer knowledge sharing, JPVR approach create a more immersive and effective learning environment (19). In contrast, passive methods such as conventional OHE and video demonstration may provide a foundation of knowledge but lack the interactive elements essential for deeper comprehension and long-lasting retention of oral health concepts.

The present study demonstrated that in addition to the improved knowledge and practices, the JPVR group also exhibited significant reduction in plaque and gingival indices, indicating the clinical effectiveness of this intervention in improving oral health. The initial reduction in plaque scores at the first-month follow-up across all groups can be attributed to the immediate impact of the educational interventions. However, the sustained reduction in plaque and gingival indices observed in the JPVR group at the third-month follow-up highlights the long-term effectiveness of this approach in promoting better oral hygiene maintenance. These findings aligned with other game based OHE by Kumar et al. (4), Liu et al. (17) and Mallik et al. (7). The interactive nature of the jigsaw puzzle, combined with the visual reinforcement provided by the stickers, may have facilitated active engagement, stimulated cognitive processing, and encouraged hands-on learning, leading to better knowledge retention and application of proper toothbrushing techniques, thereby improving the oral health outcomes.

Using jigsaw puzzles and visual aids as educational tools for OHE can be an effective and cost-efficient

approach for promoting good oral health among school children. One key advantage of this approach is their low cost, as jigsaw puzzles and visual aids will likely be a one-time investment. This makes them accessible for schools with limited resources, such as public schools. Additionally, these puzzles can be reused and shared across classrooms, further enhancing their cost-effectiveness. By investing in these educational tools, it can potentially reduce the long-term costs associated with poor oral health among students. Through creative and interactive learning experiences, children can develop a better understanding of the consequences of poor oral hygiene ultimately reducing the burden of oral diseases in the long run.

One of the strengths of the present study include the standardization of oral hygiene aids during the study, eliminating any potential bias arising from differing oral hygiene aids leading to more reliable results. Additionally, the study assessed both subjective measures (knowledge and practices), and objective measures (clinical parameters). However, the study could have been carried out for a longer follow-up period, as three months may be considered relatively short for assessing long-term sustainability of the interventions' effects. Future studies could incorporate longer follow-up periods to evaluate the durability of the observed improvements. Despite this limitation, the present study provides valuable insights into the potential of innovative, interactive, and multisensory approaches in promoting OHE and improving oral hygiene practices among adolescents.

CONCLUSION

In conclusion, the JPVR technique proved to be an effective and engaging approach for improving toothbrushing knowledge, practices, and clinical parameters among adolescents. By incorporating interactive elements, visual aids, and collaborative problem-solving, the JPVR technique fostered active learning, knowledge retention, and practical skill development. The findings of this study underscore the potential of innovative, multisensory educational strategies in promoting positive oral health outcomes among the adolescent population. Further research exploring the long-term sustainability and applicability of this approach in diverse settings is warranted.

REFERENCES

1. Foster H, Fitzgerald J. Dental disease in children with chronic illness. *Arch Dis Child*. 2005 Jul;90(7):703–8.
2. Buddiga V, Gupta VB, Aravind K, Reddy MVR, Ramagoni NK, Ashwin D. The comparison of oral

- health problems with other health problems in urban school children of 10-14 years: a group screening. *J Int Oral Health JIOH*. 2014 Sep;6(5):77–80.
3. Kumar Y, Asokan S, John B, Gopalan T. Effect of Conventional and Game-based Teaching on Oral Health Status of Children: A Randomized Controlled Trial. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2015;8(2):123–6.
4. K RSK, Deshpande AP, Ankola AV, Sankeshwari RM, Jalihal S, Hampiholi V, et al. Effectiveness of a Visual Interactive Game on Oral Hygiene Knowledge, Practices, and Clinical Parameters among Adolescents: A Randomized Controlled Trial. *Children*. 2022 Dec;9(12):1828.
5. McNab M, Skapetis T. Why video health education messages should be considered for all dental waiting rooms. *PloS One*. 2019;14(7):e0219506.
6. Shah N, Mathur VP, Kathuria V, Gupta T. Effectiveness of an educational video in improving oral health knowledge in a hospital setting. *Indian J Dent*. 2016;7(2):70–5.
7. Malik A, Sabharwal S, Kumar A, Singh Samant P, Singh A, Kumar Pandey V. Implementation of Game-based Oral Health Education vs Conventional Oral Health Education on Children's Oral Health-related Knowledge and Oral Hygiene Status. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2017;10(3):257–60.
8. Kumar RS, Deshpande AP, Ankola AV, Sankeshwari RM, Hampiholi V, Hebbal M, et al. Impact of the Visual Performance Reinforcement Technique on Oral Hygiene Knowledge and Practices, Gingival Health, and Plaque Control in Hearing- and Speech-Impaired Adolescents: A Randomized Controlled Trial. *Children*. 2022 Dec;9(12):1905.
9. Pai Khot AJ, Choudhury AR, Ankola AV, Sankeshwari RM, Hampiholi V, Hebbal M, et al. Evaluation of a "Picture Assisted Illustration Reinforcement" (PAIR) System for Oral Hygiene in Children with Autism: A Double-Blind Randomized Controlled Trial. *Children*. 2023 Feb;10(2):369.
10. Fissler P, Küster OC, Loy LS, Laptinskaya D, Rosenfelder MJ, von Arnim CAF, et al. Jigsaw Puzzles As Cognitive Enrichment (PACE) - the effect of solving jigsaw puzzles on global visuospatial cognition in adults 50 years of age and older: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2017 Sep 6;18(1):415.
11. Fissler P, Küster OC, Laptinskaya D, Loy LS, von Arnim CAF, Kolassa IT. Jigsaw Puzzling Taps Multiple Cognitive Abilities and Is a Potential Protective Factor for Cognitive Aging. *Front Aging Neurosci*. 2018;10:299.
12. Doherty MJ, Wimmer MC, Gollek C, Stone C, Robinson EJ. Piecing Together the Puzzle of Pictorial Representation: How Jigsaw Puzzles Index Metacognitive Development. *Child Dev*. 2021;92(1):205–21.
13. Mukhi R, Shetty V, Garcha V, Vinay V, Burde K, Shidhore A. Comparative Evaluation of Effectiveness of Oral Health Education Methods on Oral Health Knowledge, Attitude and Status Of 7-10 Year Olds: A Randomized Controlled Trial. 9(4):26206–10.
14. Harikiran AG, Vadavi D, Shruti T. Beta Testing an Oral Health Edutainment Card Game Among 12-13-Year-Old Children in Bangalore, India. *Games Health J*. 2017 Dec;6(6):334–42.
15. Maheswari UN, Asokan S, Asokan S, Kumaran ST. Effects of conventional vs game-based oral health education on children's oral health-related knowledge and oral hygiene status - a prospective study. *Oral Health Prev Dent*. 2014;12(4):331–6.
16. Subedi K, Shrestha A, Bhagat T, Baral D. Effectiveness of oral health education intervention among 12-15-year-old school children in Dharan, Nepal: a randomized controlled trial. *BMC Oral Health*. 2021 Oct 14;21(1):525.
17. Liu HY, Chen PH, Chen WJ, Huang SS, Chen JH, Yao CT. The Effectiveness of a Board Game-Based Oral Hygiene Education Program on Oral Hygiene Knowledge and Plaque Index of Adults with Intellectual Disability: A Pilot Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jan 22;18(3):946.
18. Uemura K, Yamada M, Okamoto H. Effects of Active Learning on Health Literacy and Behavior in Older Adults: A Randomized Controlled Trial. *J Am Geriatr Soc*. 2018 Sep;66(9):1721–9.
19. Johnson HA, Barrett L. Your teaching strategy matters: how engagement impacts application in health information literacy instruction. *J Med Libr Assoc JMLA*. 2017 Jan;105(1):44–8

Received: 08.08.2024

Accepted for publication: 23.10.2024

Address for correspondence:

David Coutinho

Department of Public Health Dentistry,

KLE VK Institute of Dental Sciences,

KLE Academy of Higher Education and Research

(KLE University), Belagavi, India;

email: coutinho.david8@gmail.com

Beata Irena Rozwadowska, Marta Albertyńska, Grzegorz Hudzik

APPLICATION OF WHOLE GENOME SEQUENCING TO ASSESS THE RELATEDNESS OF *SALMONELLA* ENTERITIDIS STRAINS ISOLATED IN THE SILESIAN VOIVODESHIP

ZASTOSOWANIE SEKWENCJONOWANIA PEŁNOGENOMOWEGO DO OCENY POKREWIEŃSTWA SZCZEPÓW *SALMONELLA* ENTERITIDIS WYIZOLOWANYCH NA TERENIE WOJEWÓDZTWA ŚLĄSKIEGO

Voivodeship Sanitary and Epidemiological Station in Katowice, Poland
Wojewódzka Stacja Sanitarно-Epidemiologiczna w Katowicach

ABSTRACT

BACKGROUND. Gram-negative *Salmonella* bacilli are one of the most common bacterial causes of gastrointestinal infections. Well-selected and targeted microbiological diagnostics enable the detection and identification of the etiological agent of infection, however, standardized, routine and recommended methods do not always allow for the identification of the biological agent in an unambiguous manner. Next-generation sequencing has become an ideal tool for identifying microorganisms and tracking infection transmission in outbreaks for epidemiological purposes.

OBJECTIVE. The aim of the study was to assess the genomic relatedness of *Salmonella* Enteritidis strains using whole genome sequencing in the foodborne outbreak in August-September 2023 in the Silesian Voivodeship.

MATERIAL AND METHODS. The research material consisted of 11 strains of *S. Enteritidis* for which whole genome sequencing was performed using Illumina technology and the relationship between serotypes was assessed using bioinformatics tools.

RESULTS. The genomes of all *S. Enteritidis* isolates were assigned to HC2_53128, which may indicate a very close relationship between the strains.

CONCLUSIONS. Whole genome sequencing enabled the assessment of the genomic relatedness of *S. Enteritidis* strains in the foodborne outbreak in August-September 2023 in the Silesian Voivodeship.

Key words: NGS, WGS, *Salmonella*, foodborne outbreaks

STRESZCZENIE

WPROWADZENIE. Gram-ujemne pałeczki *Salmonella* są jedną z najczęstszych bakteryjnych przyczyn zakażeń jelitowo-żołądkowych. Dobrze dobrana i celowana diagnostyka mikrobiologiczna umożliwia wykrycie i identyfikację czynnika etiologicznego zakażenia, jednakże nie zawsze metody wystandaryzowane, rutynowe i rekomendowane pozwalają na identyfikację czynnika biologicznego w sposób jednoznaczny. Sekwencjonowanie nowej generacji stało się idealnym narzędziem do identyfikacji mikroorganizmów oraz śledzenia transmisji zakażeń w ogniskach do celów epidemiologicznych.

CEL. Celem badania była ocena pokrewieństwa genomowego szczepów *Salmonella* Enteritidis z wykorzystaniem sekwencjonowania pełnogenomowego w ognisku zatrucia zbiorowego w okresie sierpień-wrzesień 2023 r. na terenie województwa śląskiego.

MATERIAŁ I METODY. Materiał do badań stanowiło 11 szczepów *S. Enteritidis*, dla których przeprowadzono sekwencjonowanie pełnogenomowe w technologii Illumina oraz dokonano oceny pokrewieństwa pomiędzy serotypami z wykorzystaniem narzędzi bioinformatycznych.

WYNIKI. Genomy wszystkich izolatów *S. Enteritidis* zostały przypisane do HC2_53128, co może wskazywać na bardzo bliskie pokrewieństwo pomiędzy szczepami.

WNIOSKI. Sekwencjonowanie pełnogenomowe umożliwiło ocenę pokrewieństwa genomowego szczepów *S. Enteritidis* w ognisku zatrucia zbiorowego w okresie sierpień-wrzesień 2023 r. na terenie województwa śląskiego.

Słowa kluczowe: NGS, WGS, *Salmonella*, ognisko zatrucia

BACKGROUND

Gram-negative *Salmonella* bacilli are one of the most common bacterial causes of gastrointestinal infections. The genus *Salmonella* includes two species: *Salmonella enterica* and *Salmonella bongori*. *S. enterica* includes 6 subspecies, with each subspecies containing multiple serovars (serotypes). More than 2,500 serovars have been described, including those pathogenic to humans and animals. The subspecies *S. enterica* subsp. *enterica* has the most serovars and contains the most clinically significant serovars. Some of the most common serovars include: Enteritidis, Typhimurium, monophasic Typhimurium, Infantis and Virchow (1-4).

Mainly children under 5 years of age, people over 60 years of age and people who eat outside the home, especially in the summer, are most at risk of *Salmonella* infections. Infection occurs after consuming contaminated food and water and via the fecal-oral route. The sources of infection are mainly dairy products, eggs and poultry meat prepared in bad hygienic and sanitary conditions, without sufficient thermal treatment, as well as raw fruit and vegetables (5-8).

Salmonella bacilli are responsible for four clinical forms of infection, i.e. enteritis, sepsis, typhoid fever or paratyphoid fever, and asymptomatic carriage, of which the most common form of salmonellosis is enteritis. Symptoms usually appear after 12-72 hours and include nausea, vomiting and diarrhea. They may be accompanied by fever, abdominal cramps, muscle pain and headaches. Symptoms usually disappear spontaneously after about 4-7 days (1-3).

Well-selected and targeted microbiological diagnostics enable the detection and identification of the etiological agent of infection, however, standardized, routine and recommended methods do not always allow for the identification of the biological agent in an unambiguous manner. Therefore, Next Generation Sequencing (NGS) has become an ideal tool for identifying microorganisms and tracking the transmission of infections in outbreaks for epidemiological purposes (9). Sequencing using NGS technology enables verification and in-depth analysis of the whole genome of microorganisms (WGS, Whole Genome Sequencing) (10). The advantages of using this technology in the field of epidemiology were clearly visible during the COVID-19 pandemic, when it was

WSTĘP

Gram-ujemne pałeczki *Salmonella* są jedną z najczęstszych bakteryjnych przyczyn zakażeń jelitowo-żołądkowych. Do rodzaju *Salmonella* zalicza się dwa gatunki: *Salmonella enterica* oraz *Salmonella bongori*. *S. enterica* obejmuje 6 podgatunków, z czego każdy podgatunek zawiera wiele serowarów (serotypów). Opisano ponad 2500 serowarów, w tym serowary patogenne dla człowieka i zwierząt. Podgatunek *S. enterica* subsp. *enterica* posiada najwięcej serowarów i zawiera serowary najbardziej znaczące z klinicznego punktu widzenia. Jednymi z najczęściej występujących serowarów są m.in. Enteritidis, Typhimurium, jednofazowa Typhimurium, Infantis i Virchow (1-4).

Na zakażenia wywołane *Salmonella* narażone są głównie dzieci poniżej 5 roku życia, osoby powyżej 60 roku życia oraz osoby, które spożywają pokarmy poza domem, szczególnie w okresie letnim. Do zakażenia dochodzi po spożyciu zanieczyszczonej żywności i wody oraz drogą fekalno-oralną. Źródłem zakażenia są głównie produkty nabiałowe, jajka oraz mięso drobiowe przygotowane w złych warunkach higieniczno-sanitarnych, bez wystarczającej obróbki termicznej, a także surowe owoce i warzywa (5-8).

Pałeczki *Salmonella* odpowiadają za cztery postacie kliniczne zakażenia tj. zapalenie jelit, sepsę, dur brzuszny i dury rzekome oraz bezobjawowe nosicielstwo, z czego najczęstszą postacią salmonellozy jest zapalenie jelit. Objawy pojawiają się zwykle po 12-72 godzinach i są to nudności, wymioty, biegunka. Towarzyszyć im może gorączka, skurcze brzucha oraz bóle mięśni i głowy. Objawy zwykle po około 4-7 dniach ustępują samoistnie (1-3).

Dobrze dobrana i celowana diagnostyka mikrobiologiczna umożliwia wykrycie i identyfikację czynnika etiologicznego zakażenia, jednakże nie zawsze metody wystandaryzowane, rutynowe i rekomendowane pozwalają na identyfikację czynnika biologicznego w sposób jednoznaczny. Dlatego też sekwencjonowanie nowej generacji NGS (ang. *Next Generation Sequencing*) stało się idealnym narzędziem do identyfikacji mikroorganizmów oraz śledzenia transmisji zakażeń w ogniskach do celów epidemiologicznych (9). Sekwencjonowanie w technologii NGS umożliwia weryfikację i dogłębną analizę całego genomu mikroorganizmów (WGS, ang. *Whole Genome Sequencing*) (10). Zalety zastosowania tej technologii w obszarze epidemiologii były dobrze widoczne w dobie pandemii

widely used for molecular surveillance of circulating variants of the SARS-CoV-2 (11). Currently, NGS is widely used in research in the field of oncology and diagnosis of genetic diseases, while the use of this technology in microbiological diagnostics on a large scale requires methodological standardization (9).

The aim of the study was to assess the genomic relatedness of *Salmonella* Enteritidis strains using whole genome sequencing in the foodborne outbreak in August-September 2023 in the Silesian Voivodeship.

MATERIAL AND METHODS

The research material consisted of 11 strains of *S. Enteritidis*, delivered to the Interdisciplinary Molecular Diagnostics Laboratory at the Voivodeship Sanitary and Epidemiological Station (WSSE) in Katowice by the District Sanitary and Epidemiological Station (PSSE) in Tychy and the Food Microbiology Laboratory in the WSSE in Katowice, in order to whole genome sequencing and assess the relationship between serotypes. The strains were cultured from 9 stool samples (Sal Seq 59-67) delivered to the PSSE Laboratory in Tychy from sick people and carriers in August-September 2023, and from 2 food samples (Sal Seq 68-69), collected from outbreak of food poisoning by the PSSE in Tychy. The tests were carried out using the bacterial cultures and then confirmed by biochemical and serological methods based on the „Recommendations for laboratory diagnosis of gastrointestinal infections with bacteria growing in aerobic and microaerophilic conditions”. Serotype was determined according to the White-Kauffmann-Le Minor scheme (12).

Sequencing was performed by NGS using the MiniSeq system (Illumina, San Diego, CA, USA). All sample preparation steps and sequencing libraries were performed according to the Illumina DNA Prep protocol.

In order to assess the relationship between the strains, sequencing data in the form of FASTQ files were entered into the Enterobase (Warwick Medical School, University of Warwick, UK), where cgMLST (Core Genome Multi-Locus Sequence Typing) and HierCC (Hierarchical Clustering of CgMLST) and Achtman 7 gene MLST analyzes were performed. *S. Enteritidis* serotypes were verified and confirmed using the SISTR1 and SeqSero2 algorithm in Enterobase.

RESULTS

Genoserotyping performed using the SISTR1 and SeqSero2 algorithm confirmed the *S. Enteritidis* serotype (9:g,m:-) in all sequenced isolates. MLST

COVID-19, kiedy to na szeroką skalę wykorzystywano ją do nadzoru molekularnego nad krążącymi wariantami wirusa SARS-CoV-2 (11). Obecnie NGS ma szerokie zastosowanie w badaniach z zakresu onkologii i diagnostyki chorób o podłożu genetycznym, natomiast wykorzystanie tej technologii w diagnostyce mikrobiologicznej na szeroką skalę wymaga między innymi standaryzacji metodologicznej (9).

Celem badania była ocena pokrewieństwa genomowego szczepów *Salmonella* Enteritidis z wykorzystaniem sekwencjonowania pełnogenomowego w ognisku zatrucia zbiorowego w okresie sierpień-wrzesień 2023 r. na terenie województwa śląskiego.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiło 11 szczepów *S. Enteritidis*, przekazanych do Interdyscyplinarnej Pracowni Diagnostyki Molekularnej w Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Katowicach przez Powiatową Stację Sanitarno-Epidemiologiczną w Tychach oraz Pracownię Mikrobiologii Żywności WSSE w Katowicach, w celu przeprowadzenia sekwencjonowania pełnogenomowego i oceny pokrewieństwa pomiędzy serotypami. Szczepy zostały wyhodowane z 9 próbek kału (Sal Seq 59 – 67) dostarczonych do Laboratorium PSSE w Tychach od osób chorych i nosicieli w okresie sierpień-wrzesień 2023 r., oraz z 2 próbek żywności (Sal Seq 68-69), pobranych w ramach opracowania ogniska zatrucia pokarmowego na obszarze nadzorowanym przez PSSE w Tychach. Badania były przeprowadzone metodą hodowlaną, a następnie potwierdzone metodami biochemicznymi i serologicznymi w oparciu o „Rekomendacje laboratoryjnej diagnostyki zakażeń przewodu pokarmowego bakteriami rosnącymi w warunkach tlenowych oraz mikroaerofilnych”. Serotyp określono zgodnie ze schematem White’a-Kauffmanna-Le Minora (12).

Sekwencjonowanie przeprowadzono metodą NGS z wykorzystaniem systemu MiniSeq (Illumina, San Diego, CA, USA). Wszystkie etapy przygotowania próbek oraz biblioteki do sekwencjonowania przeprowadzono zgodnie z protokołem Illumina DNA Prep.

W celu oceny pokrewieństwa pomiędzy szczepami dane sekwencjonowania w postaci plików FASTQ zostały wprowadzone do bazy Enterobase (Warwick Medical School, University of Warwick, UK), gdzie dokonano analizy cgMLST (ang. *Core Genome Multi-Locus Sequence Typing*) i HierCC (ang. *Hierarchical Clustering of CgMLST*) oraz Achtman 7 gene MLST. Przynależność do serotypu *S. Enteritidis* została zweryfikowana i potwierdzona z wykorzystaniem algorytmu SISTR1 i SeqSero2 w Enterobase.

typing showed that all sequenced *S. Enteritidis* strains belong to the ST11 type and show no differences in 7 housekeeping genes.

In the cgMLST + HierCC analysis in the EnteroBase, all *S. Enteritidis* isolates were assigned to HC2_53128, which may indicate a very close relationship between the strains. The HC2 (Hierarchical Clustering) cut-off means that the maximum allelic difference between genomes is 2.

The genomes of six isolates with Sal Seq numbers 60, 62, 63, 65, 67, 69 were assigned to HC0_53128, which may indicate that these strains do not show any differences between the genomes. The HC0 cut-off means maximum allelic difference between genomes is 0 (Table 1).

DISCUSSION

Next Generation Sequencing represents a technological revolution after Sanger sequencing, which was first introduced in 1977. Mass and commercial sequencing has only been in operation for about a dozen years. NGS is a technology that enables the simultaneous sequencing of millions of DNA or RNA sequences. The advantage of NGS compared to Sanger sequencing is higher throughput due to the possibility of multiplexing samples and, consequently, lower sequencing cost. The increase in sequencing throughput has changed the view of the genome. Currently, a human genome can be sequenced in just a few days. Reducing the costs of sequencing has caused this method being used in medicine and diagnostics, especially in the prognosis and therapy of hereditary diseases, cancers and infectious diseases (13-15).

WYNIKI

Genoserotypowanie przeprowadzone z wykorzystaniem algorytmu SISTR1 i SeqSero2 potwierdziło serotyp *S. Enteritidis* (9:g,m:-) we wszystkich zsekwencjonowanych izolatach. Typowanie MLST wykazało, że wszystkie zsekwencjonowane szczepy *S. Enteritidis* należą do typu ST11 i nie wykazują różnic w odniesieniu do 7 genów metabolizmu podstawowego.

W analizie cgMLST + HierCC w bazie EnteroBase wszystkie izolaty *S. Enteritidis* zostały przypisane do HC2_53128, co może wskazywać na bardzo bliskie pokrewieństwo pomiędzy szczepami. Punkt odcięcia HC2 (ang. *Hierarchical Clustering*) oznacza, że maksymalna różnica alleliczna między genomami wynosi 2.

Genomy sześciu izolatów o numerach Sal Seq 60, 62, 63, 65, 67, 69 zostały przypisane do HC0_53128, co może wskazywać, że szczepy te nie wykazują żadnych różnic pomiędzy genomami. Punkt odcięcia HC0 – maksymalna różnica alleliczna między genomami wynosi 0 (Tabela 1).

DYSKUSJA

Sekwencjonowanie nowej generacji NGS stanowi prawdziwą rewolucję technologiczną po sekwencjonowaniu Sangera, które zostało po raz pierwszy wprowadzone w 1977 roku. Masowe i komercyjne sekwencjonowanie funkcjonuje dopiero od około kilkunastu lat. Sekwencjonowanie nowej generacji to technologia umożliwiająca jednoczesne sekwencjonowanie milionów sekwencji DNA lub RNA. Zaletą NGS w porównaniu z sekwencjonowaniem metodą Sangera jest wyższa przepustowość, spowodowana możliwością multipleksowania próbek, a co za tym

Table 1. Results of cgMLST and HierCC analysis performed using EnteroBase

Tabela 1. Wyniki analizy cgMLST i HierCC przeprowadzonej z wykorzystaniem EnteroBase

No.	Sample code	Serovar	Antigenic pattern	Barcode from EnteroBase	HC0	HC2	HC5	HC10
1.	Sal Seq 59	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4683AA	377659	53128	1358	413
2.	Sal Seq 60	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4686AA	53128	53128	1358	413
3.	Sal Seq 61	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4687AA	377664	53128	1358	413
4.	Sal Seq 62	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4690AA	53128	53128	1358	413
5.	Sal Seq 63	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4691AA	53128	53128	1358	413
6.	Sal Seq 64	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4689AA	377668	53128	1358	413
7.	Sal Seq 65	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4688AA	53128	53128	1358	413
8.	Sal Seq 66	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4707AA	377671	53128	1358	413
9.	Sal Seq 67	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4706AA	53128	53128	1358	413
10.	Sal Seq 68	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4703AA	377671	53128	1358	413
11.	Sal Seq 69	<i>S. Enteritidis</i>	9:g,m:-	SAL_UB4705AA	53128	53128	1358	413

Whole genome sequencing of microorganisms enables their identification for clinical and epidemiological purposes. According to the latest recommendations of EFSA (European Food Safety Authority) regarding the use of WGS in outbreaks, it is recommended to use the SeqSero2 algorithm to identify *Salmonella* serotypes. Its advantage is the ability to determine the serotype directly from raw sequencing reads, i.e. without time-consuming genome assembly (16,17).

Genetic typing is also used to assess relatedness and to track transmission in epidemiological investigations. The MLST method is considered the gold standard in genotyping for many bacterial pathogens. This method provides clear and repeatable results thanks to general access to sequences and tools for analysis and comparison. This technique plays a significant role in analyses of populations, strains or outbreaks on a global scale (18).

Basically, the MLST method is based on the sequencing of seven basic metabolism genes, while its extended version is currently preferred, based on the core genome, i.e. a set of genes found in all strains of a given species – cgMLST. Additionally, hierarchical clustering (HierCC) is performed based on cgMLST (10,18). Strains at the HC5 level and above are considered endemic strains, while strains belonging to the HC2 and HC0 levels are considered closely related strains. However, this interpretation may vary depending on the variability of the pathogen and the dispersion of the outbreak.

WGS analysis conducted by the WSSE laboratory in Katowice showed not only the relationship between the strains isolated from sick people and carriers, but also confirmed the presence of the same strain in the material isolated from food samples. The close relationship between strains from feces and food, demonstrated by cgMLST + HierCC analysis, may indicate that the source of infection in the outbreak was contaminated food.

In 2022, WGS enabled the identification of one of the largest outbreaks of *S. Typhimurium* infection in Europe, the source of which was chocolate. It was similar in the case of the epidemiological investigation into the outbreak of *S. Mbandaka* (2022) and *S. Enteritidis* (2023) infections, isolated from poultry meat. The activities were coordinated by EFSA and ECDC (European Center for Disease Prevention and Control) (19-21). Furthermore, WGS helps detect not only known antimicrobial resistance genes and mechanisms, but also new genes or mechanisms that are not currently defined. For example, WGS is also used to identify *Escherichia coli*, *Campylobacter*, *Clostridioides*, *Cronobacter*, *Helicobacter*, *Listeria*

idzie niższy koszt sekwencjonowania. Wzrost przepustowości sekwencjonowania zmienił spojrzenie na genom. Obecnie genom człowieka można zsekwencjonować w ciągu zaledwie kilku dni. Obniżenie kosztów sekwencjonowania spowodowało, że metoda ta znalazła zastosowanie w medycynie i diagnostyce, zwłaszcza w prognozowaniu i terapii chorób dziedzicznych, nowotworów i chorób zakaźnych (13-15).

Sekwencjonowanie całego genomu (WGS) mikroorganizmów pozwala na ich identyfikację do celów klinicznych i epidemiologicznych. Według najnowszych rekomendacji EFSA (ang. *European Food Safety Authority*, Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności) dotyczących wykorzystania WGS w ogniskach, do identyfikacji serotypów *Salmonella* zaleca się stosowanie algorytmu SeqSero2. Jego zaletą jest możliwość określenia serotypu bezpośrednio z surowych odczytów sekwencjonowania, czyli bez czasochłonnego składania genomu (16,17).

Typowanie genetyczne wykorzystywane jest również do oceny pokrewieństwa i w celu śledzenia transmisji w dochodzeniach epidemiologicznych. Metoda MLST jest uznawana jako złoty standard w genotypowaniu dla wielu bakteryjnych patogenów. Metoda ta dostarcza jednoznaczne i powtarzalne wyniki dzięki ogólnemu dostępowi do sekwencji oraz narzędzi pozwalających na analizę i porównywanie. Technika ta odgrywa znaczną rolę w szerszych analizach populacji, szczepów czy też ognisk w skali globalnej (18). Zasadniczo metoda MLST opiera się na sekwencjonowaniu siedmiu genów metabolizmu podstawowego, natomiast obecnie preferowana jest jej szersza odmiana oparta na genomie rdzeniowym, czyli zbiorze genów występujących u wszystkich szczepów danego gatunku – cgMLST. Dodatkowo w oparciu o cgMLST dokonuje się hierarchicznego klastrowania – HierCC (10,18). Szczepy identyczne tylko przy poziomie HC5 i wyżej uważa się za szczepy występujące endemicznie, natomiast szczepy należące do poziomu HC2 i HC0 za szczepy blisko spokrewnione. Jednakże, interpretacja ta może być inna w zależności od zmienności patogenu i rozproszenia ogniska.

Analiza WGS przeprowadzona przez laboratorium WSSE w Katowicach wykazała nie tylko pokrewieństwo pomiędzy wyizolowanymi szczepami od osób chorych i nosicieli, ale również potwierdziła obecność tego samego szczepu w materiale wyizolowanym z próbek żywności. Bliskie pokrewieństwo pomiędzy szczepami wyhodowanymi z kału i żywności, wykazane za pomocą analizy cgMLST + HierCC może świadczyć, że źródłem zakażenia w ognisku była skażona żywność.

W 2022 roku WGS umożliwiło identyfikację jednego z największych ognisk zakażenia *S. Typhimurium* w Europie, której źródłem była czekolada.

monocytogenes, *Moraxella*, *Mycobacterium*, *Shigella*, *Yersinia*, and *Vibrio* (10).

NGS technologies are changing the face of clinical microbiological diagnostics. Although NGS cannot replace the conventional microbiology, the amount of information provided by sequencing will certainly improve patient care and epidemiological surveillance of infections and infectious diseases.

CONCLUSIONS

- Whole genome sequencing enabled the assessment of the genomic relatedness of *S. Enteritidis* strains in the foodborne outbreak in August–September 2023 in the Silesian Voivodeship.
- Close genetic similarity was demonstrated between the analyzed *S. Enteritidis* genomes, which may indicate a common origin and source of transmission of the isolated strains.

REFERENCES

1. Dekker J, Frank K. Salmonella, Shigella, and Yersinia. Clin Lab Med. 2015;35(2):225–246.
2. Andino A, Hanning I. Salmonella enterica: survival, colonization, and virulence differences among serovars. ScientificWorldJournal. 2015;520179.
3. Yin Y, Zhou D. Organoid and Enteroid Modeling of Salmonella Infection. Front Cell Infect Microbiol. 2018; 8:102.
4. Le Minor L, Popoff MY. Request for an Opinion. Designation of Salmonella enterica sp. nov., nom. rev., as the type and only species of the genus Salmonella. Int J Syst Bacteriol. 1987; 37:465–468.
5. Lou L, Zhang P, Piao R, Wang Y. Salmonella Pathogenicity Island 1 (SPI-1) and Its Complex Regulatory Network. Front Cell Infect Microbiol. 2019; 9:270.
6. Ajmera A, Shabbir N. Salmonella. [Updated 2023 Aug 8]. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK555892/>
7. Johnson R, Mylona E, Frankel G. Typhoidal Salmonella: Distinctive virulence factors and pathogenesis. Cell Microbiol. 2018;20(9): e12939.
8. Kowalska B. Fresh vegetables and fruit as a source of Salmonella bacteria. Annals of Agricultural and Environmental Medicine. 2023;30(1):9–14.
9. Boers SA, Jansen R, Hays JP. Understanding and overcoming the pitfalls and biases of next-generation sequencing (NGS) methods for use in the routine clinical microbiological diagnostic Laboratory. Eur J Clin Microbiol Infect Dis. 2019; 38(6):1059–1070.

Podobnie było w przypadku dochodzenia epidemiologicznego w ognisku zakażeń *S. Mbandaka* (2022 r.) i *S. Enteritidis* (2023 r.), wyizolowanych z mięsa drobiowego. Działania były koordynowane przez EFSA i ECDC (ang. *European Centre for Disease Prevention and Control*, Europejskie Centrum ds. Zapobiegania i Kontroli Chorób) (19–21). Ponadto WGS pomaga w wykrywaniu nie tylko znanych genów i mechanizmów oporności na środki przeciwdrobnoustrojowe, ale także nowych genów lub mechanizmów, które nie są obecnie zdefiniowane. Przykładowo WGS wykorzystywany jest również do identyfikacji *Escherichia coli*, *Campylobacter*, *Clostridioides*, *Cronobacter*, *Helicobacter*, *Listeria monocytogenes*, *Moraxella*, *Mycobacterium*, *Shigella*, *Yersinia*, i *Vibrio* (10).

Technologie NGS zmieniają oblicze klinicznej diagnostyki mikrobiologicznej. Chociaż NGS nie może zastąpić konwencjonalnego laboratorium mikrobiologicznego, ilość informacji dostarczanych z sekwencjonowania na pewno poprawi opiekę nad pacjentem oraz nadzór epidemiologiczny nad zakażeniami i chorobami zakaźnymi.

WNIOSKI

- Sekwencjonowanie pełnogenomowe umożliwiło ocenę pokrewieństwa genomowego szczepów *S. Enteritidis* w ognisku zatrucia zbiorowego w okresie sierpień–wrzesień 2023 r. na terenie województwa śląskiego.
- Wykazano bliskie genetyczne podobieństwo pomiędzy analizowanymi genomami *S. Enteritidis*, co może wskazywać na wspólne pochodzenie i źródło transmisji wyizolowanych szczepów.

10. Hilt EE, Ferrieri P. Next Generation and Other Sequencing Technologies in Diagnostic Microbiology and Infectious Diseases. Genes (Basel). 2022;13(9):1566.
11. John G, Sahajpal NS, Mondal AK, Ananth S, Williams C, Chaubey A, et al. Next-Generation Sequencing (NGS) in COVID-19: A Tool for SARS-CoV-2 Diagnosis, Monitoring New Strains and Phylodynamic Modeling in Molecular Epidemiology. Curr Issues Mol Biol. 2021;43(2):845–867.
12. Szych J. Rekomendacje laboratoryjnej diagnostyki zakażeń przewodu pokarmowego bakteriami rosnącymi w warunkach tlenowych oraz mikroaerofilnych. NIZP PZH i KIDL. Warszawa 2015;1–36.

13. McCombie WR, McPherson JD, Mardis ER. Next-Generation Sequencing Technologies. Cold Spring Harb Perspect Med. 2019;9(11): a036798.
 14. Zhong Y, Xu F, Wu J, Schubert J, Li MM. Application of Next Generation Sequencing in Laboratory Medicine. Ann Lab Med. 2021;41(1):25–43.
 15. Pervez MT, Hasnain MJ, Abbas SH, Moustafa MF, Aslam N, Shah SSM. Comprehensive Review of Performance of Next-Generation Sequencing Platforms. Biomed Res Int. 2022; 3457806.
 16. Zhang S, den Bakker HC, Li S, Chen J, Dinsmore BA, Lane C, et al. SeqSero2: Rapid and Improved Salmonella Serotype Determination Using Whole-Genome Sequencing Data. Applied and Environmental Microbiology. 2019;85(23). e01746–19.
 17. EFSA (European Food Safety Authority), Costa G, Di Piazza G, Koevoets P, Iacono G, Liebana E, et al. Guidelines for reporting Whole Genome Sequencing-based typing data through the EFSA One Health WGS System. EFSA Supporting Publication 2022: 19(6): EN-7413. 29 pp. doi:10.2903/sp.efsa.2022.EN-7413
 18. Artyszuk D, Wołkiewicz T. Zastosowanie sekwencjonowania pełnogenomowego do genotypowania bakterii. Post. Mikrobiol. 2018; 57(2):179–193.
 19. Larkin L, Pardos de la Gandara M, Hoban A, Pulford C, Jourdan-Da Silva N, de Valk H et al. Investigation of an international outbreak of multidrug-resistant monophasic Salmonella Typhimurium associated with chocolate products, EU/EEA and United Kingdom, February to April 2022. Euro Surveill. 2022;27(15):pii=2200314.
 20. European Centre for Disease Prevention and Control, European Food Safety Authority, 2024. Multi-country outbreak of *Salmonella* Mbandaka ST413 linked to consumption of chicken meat products in the EU/EEA and the UK – first update - 21 March 2024.
 21. European Centre for Disease Prevention and Control, European Food Safety Authority, 2023. Three clusters of *Salmonella* Enteritidis ST11 infections linked to chicken meat and chicken meat products – 26 October 2023.
- Received:** 17.05.2024
Accepted for publication: 30.08.2024
Otrzymano: 17.05.2024 r.
Zaakceptowano do publikacji: 30.08.2024 r.
- Address for correspondence:**
Adres do korespondencji:
Beata Irena Rozwadowska
Interdyscyplinarna Pracownia Diagnostyki Molekularnej,
Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Katowicach
Raciborska 39, 40-074 Katowice
e-mail: rozwadowska.beata@sanepid.gov.pl

*Dawid Wojciulik¹, Agnieszka Joanna Wasilewska-Chrzanowska¹, Karol Adam Kamiński^{2,3},
Anna Moniuszko-Malinowska¹*

THE IMPACT OF GENETIC POLYMORPHISM ON COURSE AND SEVERITY OF THE SARS-CoV-2 INFECTION AND COVID-19 DISEASE

WPŁYW POLIMORFIZMU GENETYCZNEGO NA PRZEBIEG ORAZ CIĘŻKOŚĆ ZAKAŻENIA WIRUSEM SARS-CoV-2 ORAZ CHOROBY COVID-19

¹Department of Infectious Diseases and Neuroinfection, Medical University of Białystok, Poland

Klinika Chorób Zakaźnych i Neuroinfekcji, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

²Department of Population Medicine and Lifestyle Diseases Prevention, Medical University of Białystok, Poland

Zakład Medycyny Populacyjnej i Prewencji Chorób Cywilizacyjnych, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

³Department of Cardiology and Internal Medicine with Cardiac Intensive Care Unit,

Medical University of Białystok, Poland

Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych z Oddziałem Intensywnego Nadzoru Kardiologicznego,

Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

ABSTRACT

COVID-19 is severe respiratory and systemic disease with complex pathogenesis and many clinical symptoms, including symptoms from respiratory system, immunology system, cardio-vascular system, haematopoietic system and neurological system. Severe character of the disease is associated with occurrence of respiratory failure, septic shock, multiple organ dysfunctions syndrome, which can lead to patients death due to cardiac arrest.

Knowledge about interactions between the virus and human proteins as well as knowledge of immunological mechanisms against infection is a key to identifying the area of virus activity and severity factors of COVID-19. Multiple variants of genes encoding proteins involved in host cell invasion by SARS-CoV-2 virus have been identified: ACE2 and TMPRSS2, TMPRSS11A (HGNC:27954), ELANE (HGNC:3309), CTSL (HGNC:2537), IL-6 rs1800795 variant associated with an increased risk of COVID-19, variant rs35705950:G>T located in the promoter of the MUC5B gene (11p15.5), encoding a protein that plays a key role in maintaining the proper function of the bronchoalveolar epithelium, having a protective effect against the form of the disease requiring hospitalization of the patient, as well as GC rs2282679 gene variant in the vitamin D binding protein associated with a more severe course of COVID-19. 48 of these variants were proved to be directly specific for some populations.

Novel techniques of genome analysis enabled the research of the impact of specific polymorphism variants on the severity of various diseases including, COVID-19. Genetic factors analysis can permit understanding of disease pathogenesis, which is a chance to find effective treatment and prevention methods. Collected data from literature indicate that, in the case of COVID-19 disease, there are genes polymorphisms which affect the severity course.

Keywords: *polymorphism, gene, severity, COVID-19*

STRESZCZENIE

COVID-19 jest ciężką oddechową i ogólnoustrojową chorobą o złożonej patogenezie i szerokim spektrum objawów klinicznych, obejmującą objawy ze strony układu oddechowego, immunologicznego, sercowo-naczyniowego, pokarmowego, hematopoetycznego oraz neurologicznego. Ciężka postać choroby wiąże się z występowaniem niewydolności oddechowej, wstrząsu septycznego, niewydolności wielonarządowej, które w mechanizmie zatrzymania krążenia mogą skutkować zgonem pacjenta.

Znajomość interakcji wirusa z ludzkimi białkami oraz mechanizmu odpornościowego przeciwko infekcji ma kluczowe znaczenie dla identyfikacji miejsc działania wirusa oraz czynników ciężkości przebiegu COVID-19. Zidentyfikowano różne warianty genów kodujących białka biorące udział w inwazji komórki gospodarza wirusem SARS-CoV-2: ACE2 i TMPRSS2, TMPRSS11A (HGNC:27954), ELANE (HGNC:3309), CTSL (HGNC:2537), wariant IL-6 rs1800795 związany ze zwiększonym ryzykiem zachorowania na COVID-19, wariant rs35705950:G>T zlokalizowany w promotorze genu MUC5B (11p15,5) kodującego białko odgrywające kluczową rolę w zachowaniu prawidłowej funkcji nabłonka oskrzelowo-pęcherzykowego, mający działanie protekcyjne przed postacią choroby wymagającą hospitalizacji pacjenta oraz wariant genu GC rs2282679 w białku wiążącym witaminę D związany z cięższym przebiegiem COVID-19. Obecnie wyróżniono 48 takich wariantów i część z nich okazała się występować częściej w konkretnych populacjach.

Techniki analizy genomu ludzkiego umożliwiły badania nad wpływem występowania poszczególnych polimorfizmów na ciężkość przebiegu różnych schorzeń, w tym infekcji COVID-19. Analiza czynników genetycznych może pozwolić zrozumieć jej patogenezę, co daje szansę na odnalezienie skutecznych metod leczenia oraz profilaktyki. Zebrane dane z piśmiennictwa wskazują, że w przypadku choroby COVID-19 istnieją polimorfizmy genów, które wpływają na ciężkość jej przebiegu.

Słowa kluczowe: *polimorfizm, COVID-19, gen, ciężkość choroby*

INTRODUCTION

COVID-19 is a severe respiratory and systemic disease with complex pathogenesis and a wide spectrum of clinical symptoms, including symptoms of the respiratory, immune, cardiovascular, digestive, hematopoietic and neurological systems (1,2). Among more than 750 million SARS-CoV-2 infections worldwide, the disease has resulted in the death of over 7 million people (3). The course of the disease varies: from asymptomatic, through mild, to severe forms, resulting in respiratory failure and often leading to death. The risk factors for a severe course include: old age, smoking, hypertension, diabetes, COPD and cancer (4). The severe form of the disease is associated with the occurrence of respiratory failure, septic shock, and multi-organ failure, which may result in the patient's death due to cardiac arrest (5).

Knowledge on virus interactions with human proteins and the immune mechanism against infection is crucial to identifying the sites of viral action and the severity of COVID-19. SARS-CoV-2 infects alveolar epithelial cells through endocytosis via appropriate receptors. The SARS-CoV-2 spike (S) protein binds to the ACE2 receptor, which is expressed in several organs, including the lungs, heart, kidneys, and intestines (6). An increased level of ACE2 is associated with the occurrence of risk factors for COVID-19 disease and its clinical course, such as advanced age, male sex and smoking (7). After binding to the receptor, the virus enters the host cell cytosol through proteolytic cleavage of the S protein, during which certain proteases, including transmembrane serine protease 2 (TMPRSS2) and cathepsin L (CTSL), cleave into the S domains, mediating transmembrane virus fusion (8). Various variants of genes encoding proteins involved in host cell invasion with the SARS-CoV-2

WSTĘP

COVID-19 jest ciężką oddechową i ogólnoustrojową chorobą o złożonej patogenezie i szerokim spektrum objawów klinicznych, obejmującą objawy ze strony układu oddechowego, immunologicznego, sercowo-naczyniowego, pokarmowego, hemato-petycznego oraz neurologicznego (1,2). Spośród zarejestrowanych ponad 750 milionów zakażeń wirusem SARS-CoV-2 na świecie, choroba doprowadziła do zgonu ponad 7 milionów ludzi (3). Przebieg choroby jest zróżnicowany: od postaci bezobjawowych przez łagodne, aż po ciężkie, skutkujące niewydolnością oddechową, niejednokrotnie prowadzące do śmierci. Do czynników ryzyka ciężkiego przebiegu należą między innymi: podeszły wiek, palenie tytoniu, nadciśnienie tętnicze, cukrzyca, POChP oraz choroby nowotworowe (4). Ciężka postać choroby wiąże się z występowaniem niewydolności oddechowej, wstrząsu septycznego, niewydolności wielonarządowej, które w mechanizmie zatrzymania krążenia mogą skutkować zgonem pacjenta (5).

Znajomość interakcji wirusa z ludzkimi białkami oraz mechanizmu odpornościowego przeciwko infekcji ma kluczowe znaczenie dla identyfikacji miejsc działania wirusa oraz ciężkości przebiegu COVID-19. SARS-CoV-2 infekuje komórki nabłonka pęcherzyków płucnych poprzez endocytozę za pośrednictwem odpowiednich receptorów. Białko kolca (S) SARS-CoV-2 wiąże się z receptorem ACE2, który ulega ekspresji w kilku narządach, w tym w płucach, sercu, nerkach i jelitach (6). Podwyższony poziom ACE2 związany jest z występowaniem czynników ryzyka zachorowania COVID-19 oraz jego przebiegu klinicznego, takich jak: zaawansowany wiek, płeć męska oraz palenie tytoniu (7). Po związaniu się z receptorem wirus przedostaje się do cytozolu komórki gospodarza poprzez pro-

virus have been identified: ACE2 and TMPRSS2, TMPRSS11A (HGNC:27954), ELANE (HGNC:3309) and CTSL (HGNC:2537). Currently, 48 such variants have been identified and some of were proved to be more common in specific populations (9).

In a normal immune response to SARS-CoV-2 infection, recruited immune cells fight the infection in the lungs, leading to the patient's recovery. When the disease develops unfavorably, the so-called "cytokine storm" occurs, in which an increase in IL-2, IL-6, IL-7, IL-10, granulocyte colony-stimulating factor (G-CSF), IP-10, MCP-1, macrophage inflammatory protein1a (MIP-1a) and tumor necrosis factor-alpha (TNF-a) is observed in the patient's serum (10). On the contrary, in patients with severe COVID-19, it is observed that an increase in IL-6 concentration is associated with an unfavorable prognosis (11). Several variants of the IL-6 gene (HGNC:6018) that presented different expression of this cytokine in multiple diseases, were tested. Variants rs1800795 (-174C) and variant rs1800796 (-572C) were associated with higher concentrations of this cytokine (12,13) and an increased risk of upper respiratory tract infections (14-16). IFN variants that are possibly associated with the severe course of COVID-19 were also detected, suggesting the use of IFN I as a potential therapy in these patients (17).

* * *

Considering the documented influence of the genetic background on the course of many infectious diseases, including coronavirus infection (18), in this paper we present the tested and identified genetic variants that determine the inter-individual variability in the severity of COVID-19.

ACE2. ACE2 is an enzyme responsible for catalyzing disintegration Ang II to Ang (1-7), Ang I to Ang (1-9), and participates in the hydrolysis of different other peptides (19). ACE2 has an important role in regulating the hemodynamics of blood flow in blood vessels. As a result of hydrolysis, Ang (1-7) is formed, which binds to the Mas receptor and this leads to vasodilatation, antagonizing the action of Ang II (19,20).

The ACE2 receptor is a kind of „entrance door” the SARS-CoV-2 virus to human cells. It turns out that the virus uses its spike, which contains amino acid residues interacting with ACE2 receptor and in this way the virus uses receptor to enter the cell (21). In a meta-analysis conducted by Gupta et al., researchers identified ACE2 polymorphisms associated with an increased risk of severe symptoms in the course of COVID-19. These are ACE2 rs2285666, ACE2 rs2106809, ACE2 rs2074192 polymorphisms (22).

teolityczne rozszczepienie białka S, podczas którego niektóre proteazy, w tym przez błonową proteazę serynową 2 (TMPRSS2) i katępsyna L (CTSL), rozszczepiają się do domen S, pośrednicząc w przebiegu fuzji wirusa (8). Zidentyfikowano różne warianty genów kodujących białka biorące udział w inwazji komórki gospodarza wirusem SARS-CoV-2: ACE2 i TMPRSS2, TMPRSS11A (HGNC:27954), ELANE (HGNC:3309) oraz CTSL (HGNC:2537). Obecnie wyróżniono 48 takich wariantów i część z nich okazała się występować częściej w konkretnych populacjach (9).

W prawidłowej odpowiedzi immunologicznej na zakażenie SARS-CoV-2, zrekrutowane komórki odpornościowe zwalczają infekcję na poziomie płuc, co prowadzi do wyzdrowienia pacjenta. W niekorzystnym rozwoju choroby dochodzi do tzw. „burzy cytokinowej”, w której w surowicy pacjenta obserwuje się wzrost IL-2, IL-6, IL-7, IL-10, czynnika stymulującego kolonie granulocytów (G-CSF), IP-10, MCP-1, białka zapalnego makrofagów 1a (MIP-1a) oraz czynnika martwicy nowotworu-alfa (TNF-a) (10). Natomiast u pacjentów z ciężkim przebiegiem COVID-19 obserwuje się, iż wzrost stężenia IL-6 wiąże się z niekorzystnym rokowaniem (11). Zbadano kilka wariantów genu IL-6 (HGNC:6018), które wykazywały różną ekspresję tej cytokiny w wielu schorzeniach. Warianty rs1800795 (-174C) oraz wariant rs1800796 (-572C) wiązały się z wyższymi stężeniami tej cytokiny (12,13) oraz zwiększonym ryzykiem infekcji górnych dróg oddechowych (14-16). Wykryto również warianty IFN prawdopodobnie powiązane z ciężkim przebiegiem COVID-19 sugerując zastosowanie IFN I jako potencjalną terapię u tych pacjentów (17).

* * *

Biorąc pod uwagę udokumentowany wpływ podłoża genetycznego na przebieg wielu chorób zakaźnych, w tym zakażenia koronawirusem (18), w niniejszej pracy przedstawiamy przebadane i zidentyfikowane warianty genetyczne determinujące zmienność międzyosobniczą w zakresie ciężkości przebiegu COVID-19.

ACE2. ACE2 jest enzymem odpowiedzialnym za katalizowanie rozpadu Ang II na Ang (1-7), Ang I na Ang (1-9) oraz uczestniczy w procesie hydrolizy różnych innych peptydów (19). ACE2 pełni zatem istotną rolę w regulacji hemodynamiki przepływu krwi w naczyniach krwionośnych. W wyniku hydrolizy powstaje Ang (1-7), która łączy się z receptorem Mas i to z kolei prowadzi do rozszerzenia naczyń krwionośnych antagonizując działanie Ang II (19,20).

Receptor ACE2 jest rodzajem „drzwi wejściowych” dla wirusa SARS-CoV-2 do komórek organizmu ludz-

The observation has been made that the course of COVID-19 disease is more severe in ACE2 rs2285666 and rs2074192 homozygotes compared to heterozygotes (22). As a result of transcriptional changes, a stronger „splicing” place may be formed, which increases ACE2 expression by almost 50% (22-24). Rs2285666 heterozygotes show moderate expression of the ACE2 receptor, which may be associated with reduced chance of developing a severe form of the disease (22). As the result of ACE2 rs2074192 expression, there is decreased level of Ang (1-7) in the circulation which may antagonize the action of Ang II (19,20,25,26). In the case of this polymorphism a similar association was observed in ACE2 rs2285666. A significant association of the ACE2 rs2106809 polymorphism with the severity of SARS-CoV-2 infection was also demonstrated, but only in one genotype (23).

Two researches conducted on the Egyptian population showed that there was no significant association of the ACE2 rs2285666 polymorphism with the severity of COVID-19 disease. The correlation between the ACE2 rs2285666 polymorphism and the effect on the severity of COVID-19 disease may depend on ethnic origin (27,28).

Subject of interest was the polymorphism of the AGTR1 rs 5186 gene, for which Gupta K. et al. in their meta-analysis described a statistically significant association with the severe course of COVID-19 (22). AGTR1 is a gene encoding the type 1 receptor for angiotensin II, a protein of the renin-angiotensin system. This receptor enables the internalization of the SARS-CoV-2 virus into the host cell. In the infected cell, the expression of the ACE2 receptor is reduced. Reduced ACE2 levels lead to increased angiotensin II level, which is then converted to Ang 1-7. Increased angiotensin II levels cause the activation of transcription of the AGTR1 gene, which triggers NF- κ B signaling and the expression of the proinflammatory cytokines (29). Gupta K et al. found that people with A allele or the AA genotype of AGTR1 have higher risk of progression COVID-19 to severe disease compared to people with C allele or the CA genotype, which would confirm the association of reduced AGTR1 levels in these people with a less severe disease (22).

TMPRSS2. This is the second enzyme, next to ACE2, which is very important in the process of SARS-CoV-2 penetration into the host cell. The virus uses the TMPRSS2 serine protease to prepare the S protein by its proteolytic cleavage, which allows the virus to enter the host cells (21). TMPRSS2 genes are expressed in many human tissues, including the kidneys, heart, respiratory tract and gastrointestinal tract (30). These organs are potentially susceptible to infection with the SARS-CoV-2 virus (31).

Okazuje się, że wirus wykorzystuje swój ko-
lec, który zawiera reszty aminokwasowe oddziałują-
ce z receptorem ACE2 i w ten sposób wykorzystuje
receptor do wejścia do komórki (21). W metaanalizie
przeprowadzonej przez Gupta i wsp. badacze ziden-
tyfikowali szereg polimorfizmów ACE2 powiązanych
z podwyższonym ryzykiem wystąpienia ciężkich ob-
jawów w przebiegu COVID-19. Są to polimorfizmy
ACE2 rs2285666, ACE2 rs2106809, ACE2 rs2074192
(22).

Zaobserwowano cięższy przebieg choroby CO-
VID-19 u homozygot ACE2 rs2285666 i rs2074192
w porównaniu z heterozygotami (22). W wyniku prze-
mian transkrypcyjnych może dojść do powstania sil-
niejszego miejsca „splicingu” co zwiększa ekspresję
ACE2 o blisko 50% (22-24). Heterozygoty rs2285666
wykazują ekspresję receptora ACE2 na umiarkowa-
nym poziomie co może wiązać się ze zmniejszeniem
ryzyka rozwinienia ciężkiej choroby (22). W wyni-
ku ekspresji ACE2 rs2074192 dochodzi do obniżenia
stężenia Ang (1-7) w krążeniu, która może antagoni-
zować działanie Ang II (19,20,25,26). W przypadku
tego polimorfizmu zaobserwowano podobny związek
jak w ACE2 rs2285666. Wykazano też znaczące po-
wiązanie polimorfizmu ACE2 rs2106809 z ciężkością
przebiegu zakażenia wirusem SARS-CoV-2, ale tylko
w jednym rodzaju genotypu (23).

W dwóch badaniach przeprowadzonych na popu-
lacji egipskiej wykazano z kolei brak istotnego po-
wiązania polimorfizmu ACE2 rs2285666 z ciężkością
choroby COVID-19. Korelacja między polimorfizmem
ACE2 rs2285666, a wpływem na ciężkość przebiegu
choroby COVID-19 może zależeć od pochodzenia et-
nicznego (27,28).

Przedmiotem zainteresowań okazał się również po-
limorfizm genu AGTR1 rs5186, w przypadku którego
Gupta K. i wsp. w przeprowadzonej metaanalizie opi-
sali istotne statystycznie powiązanie z ciężkim prze-
biegiem COVID-19 (22). AGTR1 to gen kodujący re-
ceptor typu 1 dla angiotensyny II, białka układu renina
-angiotensyna. Receptor ten umożliwia internalizację
wirusa SARS-CoV-2 do komórki gospodarza. W zain-
fekowanej komórce dochodzi do obniżenia ekspresji
receptora ACE2. Obniżony poziom ACE2 prowadzi
do wzrostu stężenia angiotensyny II, która następnie
ulega konwersji do Ang 1-7. Podwyższone stężenie an-
giotensyny II powoduje aktywację transkrypcji genu
AGTR1 co w dalszej kolejności wyzwała sygnalizację
NF- κ B i ekspresję cytokin prozapalnych (29). Gupta K
i inni odkryli, iż posiadacze allelu A lub genotypu AA
AGTR1 wykazują wyższe ryzyko progresji COVID-19
do postaci ciężkiej choroby w porównaniu do uczest-
ników z allelem C lub genotypem CA, co potwierdza-
łoby powiązanie obniżonego poziomu AGTR1 u tych
osób z mniejszym nasileniem choroby (22).

The role of TMPRSS2 rs12329760 gene polymorphism in the Ukrainian population has been described. Firstly, the distribution of the TMPRSS2 rs12329760 in this population has been described. Secondly, the study has proven that the TMPRSS2 rs12329760 is associated with a severe course of COVID-19. It was noted that among patients with genotypes TT, CT, CC and COVID-19 disease were significant differences whether they were treated with invasive or non-invasive oxygen therapy. The presence of the T allele in patients undergoing invasive oxygen therapy was higher than in the other groups of patients with COVID-19 disease in the Ukrainian population. Patients with a severe course of the disease were more often homozygotes with the TT genotype than patients with a moderate course of COVID-19. Additionally, it was observed that the frequency of the TMPRSS2 polymorphisms is different between various populations in the world (32).

Based on researches of the Iranian population a significant relationship between the T allele rs12329760 and the severity of the course of COVID-19 disease was also described (33). Researches on the UK population showed a reduced probability of developing a severe form of COVID-19 in patients with the presence of this allele (34). Research conducted on Italian population also showed that the rs12329760 polymorphism of the TMPRSS2 gene is a protective factor against the development of a severe form of COVID-19 disease (35). Researchers conducted on the Egyptian population showed that the T allele of rs12329760 was significantly less present in patients with a severe course of COVID-19. According to the authors, the CT and TT genotypes reduce the risk of developing a severe form of COVID-19 disease (27). Therefore, TMPRSS2 and its correlation with the severity of the course of COVID-19 may be the result of the occurrence of ethnic origin-dependent risk alleles in these populations (28,33).

IL-6. Interleukin-6 plays a crucial role in the development of respiratory tract inflammation caused by SARS-CoV-2. Starting from mild forms of the disease, up to respiratory failure or ARDS. Inhibiting IL-6 and its signaling pathway can reduce the inflammatory process and improve the condition of patients in severe cases (36). Severe SARS-CoV-2 infections are characterized by excessive production of cytokines and higher mortality. The severity of the COVID-19 disease is closely related to the increased concentration of IL-6 (37,38).

Studies on the Turkish population assessed the relationship between IL-6 concentration, COVID-19 disease development and the occurrence of Macrophage Activation Syndrome (MAS). MAS is a group of diseases with a serious prognosis, characterized

TMPRSS2. Jest to drugi obok ACE2 enzym bardzo istotny w procesie wnikania SARS-CoV-2 do wnętrza komórki gospodarza. Wirus wykorzystuje proteazę serynową TMPRSS2 do odpowiedniego przygotowania białka S poprzez jego proteolityczne rozszczepienie, co umożliwia wniknięcie wirusa do komórek gospodarza (21). Geny TMPRSS2 ulegają ekspresji w wielu tkankach człowieka, między innymi w nerkach, sercu, drogach oddechowych czy w przewodzie pokarmowym (30). Narządy te są potencjalnie podatne na zakażenie wirusem SARS-CoV-2 (31).

Opisano rolę polimorfizmu genu TMPRSS2 rs12329760 w populacji ukraińskiej. Po pierwsze został opisany rozkład genotypu TMPRSS2 rs12329760 w tejże populacji. Po drugie, badanie wykazało, że polimorfizm TMPRSS2 rs12329760 jest powiązany z ciężkim przebiegiem COVID-19. Zauważono, że wśród pacjentów z genotypami TT, CT, CC i chorującymi na COVID-19 były znaczące różnice czy zostali poddani inwazyjnej bądź nieinwazyjnej tlenoterapii. Występowanie allelu T u pacjentów poddanych inwazyjnej tlenoterapii było wyższe niż w pozostałych grupach pacjentów z chorobą COVID-19 w populacji ukraińskiej. Pacjenci z ciężkim przebiegiem choroby częściej okazywali się homozygotami o genotypie TT niż pacjenci z umiarkowanym przebiegiem COVID-19. Dodatkowo zaobserwowano, że częstość występowania polimorfizmu TMPRSS2 jest różna między różnymi populacjami na świecie (32).

Opisano również istotną zależność na podstawie badań populacji Iranu. Odkryto zależność między allelem T rs12329760 oraz ciężkością przebiegu choroby COVID-19 (33). W badaniach na populacji Wielkiej Brytanii wykazano zmniejszenie prawdopodobieństwa rozwinięcia ciężkiej postaci COVID-19 u pacjentów z obecnością tego allelu (34). Z kolei w badaniach populacji włoskiej również wykazano, że polimorfizm rs12329760 genu TMPRSS2 jest czynnikiem ochronnym przed rozwojem ciężkiej postaci choroby COVID-19 (35). W przeprowadzonych badaniach na populacji egipskiej wykazano, że allel T rs12329760 znacznie rzadziej występował u pacjentów z ciężkim przebiegiem COVID-19. Według autorów genotypy CT oraz TT zmniejszają ryzyko rozwinięcia się ciężkiej postaci choroby COVID-19 (27). Zatem TMPRSS2 i jego korelacja z ciężkością przebiegu COVID-19 może wynikać z występowania etnicznie zależnych alleli ryzyka w danych populacjach (28,33).

IL-6. Interleukina-6 pełni kluczową funkcję w procesie rozwoju zapalenia dróg oddechowych wywołanych przez SARS-CoV-2. Zaczynając od łagodnych postaci choroby aż do niewydolności oddechowej czy ARDS. Hamowanie IL-6 i jej szlaku sygnałowego może zmniejszyć proces zapalny oraz poprawić stan pacjentów w ciężkich przypadkach (36). Ciężko

by excessive proliferation and accumulation of macrophages and dendritic cells, which results in symptoms of a generalized inflammatory reaction, enlargement of internal organs and cytopenia associated with hemophagocytosis of hematopoietic cells in the bone marrow (39). It has been proven that there is a statistically significant correlation between the IL-6 rs1800795 polymorphism and the risk of COVID-19 disease development. The quoted study reveals that the frequency of the GG genotype and G allele was significantly higher in the MAS group compared to the non-MAS group, so the authors presented the G allele as a risk factor for increased serum IL-6 concentration and progression to MAS (40).

After analyzing the results of studies conducted on the populations of many countries of different ethnic origins, it was shown that the IL-6 rs1800795 polymorphism, which is a variant of the IL-6 gene promoter, significantly affects the severity of pneumonia, especially among Caucasians. It was also observed that in people who are carriers of the IL-6 rs1800795 variant, the risk of septic shock caused by pneumonia increases by 2.42 times. In subjects with the C allele, a significant association between the occurrence of higher IL-6 concentrations and the development of more severe forms of pneumonia was demonstrated (41).

A statistically significant correlation was also observed between high IL-6 concentration values and low effectiveness of COVID-19 treatment; additionally, cytokine suppression using glucocorticoids, immunomodulators or cytokine receptor antagonists improved therapeutic results (42).

MUC5B. Research conducted by the Host Genetic Initiative (HGI) revealed that the rs35705950:G>T variant located in the promoter of the MUC5B gene (11p15.5) has a protective effect against the form of COVID-19 that requires hospitalization of the patient. The rs35705950 polymorphism is located in the region of the transcription-supporting sequence, the so-called transcription enhancer of the MUC5B gene, whose protein product belongs to the so-called major gel-forming mucins in the lungs, playing a crucial role in maintaining the proper function of the bronchoalveolar epithelium, mucus removal and host defense against respiratory pathogens (43-46). Consistent with the aforementioned studies, mouse models of gene knockout for MUC5B (inactivation of a specific gene, replacing it with an exogenous DNA fragment) presented increased susceptibility to bacterial infections of the respiratory tract and persistent inflammation.

In humans, the "T" allele of rs35705950 is associated with enhanced expression of the MUC5B gene transcript in lung tissue (47) and negatively

przebiegające zakażenia wirusem SARS-CoV-2 charakteryzują się nadmierną produkcją cytokin i większą śmiertelnością. Ciężkość przebiegu choroby COVID-19 jest ściśle związana z zwiększonym stężeniem IL-6 (37,38).

W badaniach na populacji tureckiej oceniano zależność pomiędzy stężeniem IL-6, zachorowaniem na COVID-19 a wystąpieniem zespołu aktywacji makrofaga (Macrophage Activation Syndrom, MAS). MAS jest to grupa chorób o poważnym rokowaniu, charakteryzujących się nadmierną proliferacją i gromadzeniem makrofagów oraz komórek dendrytycznych, co przebiega w postaci objawów uogólnionej reakcji zapalnej, powiększeniem narządów wewnętrznych oraz cytopenią związaną z hemofagocytozą komórek krwiotwórczych w szpiku (39). Wykazano, iż istnieje istotny statystycznie związek pomiędzy polimorfizmem IL-6 rs1800795, a ryzykiem zachorowania na COVID-19. Z niniejszego badania wynika, że częstość występowania genotypu GG i allelu G była istotnie wyższa w grupie z MAS niż w grupie bez MAS, zatem autorzy przedstawili allel G jako czynnik ryzyka zwiększonego stężenia IL-6 w surowicy i progresji do MAS (40).

Po analizie wyników badań przeprowadzonych na populacjach wielu krajów o różnym pochodzeniu etnicznym, wykazano, że polimorfizm IL-6 rs1800795 będący wariantem promotora genu IL-6 wpływa istotnie na ciężkość zapalenia płuc w szczególności wśród ludzi rasy kaukaskiej. Zaobserwowano również, że u osób będących nosicielami wariantu IL-6 rs1800795 2,42-krotnie wzrasta ryzyko wstrząsu septycznego wywołanego właśnie zapaleniem płuc. U badanych z obecnością allelu C wykazano istotne powiązanie z występowaniem wyższych stężeń IL-6 oraz rozwojem cięższych postaci zapalenia płuc (41).

Zaobserwowano również istotną statystycznie zależność pomiędzy wysokimi wartościami stężenia IL-6 a niską efektywnością leczenia COVID-19; zaś supresja cytokiny z użyciem glikokortykosteroidów, immunomodulatorów czy antagonistów receptora cytokinowego poprawiała wyniki terapeutyczne (42).

MUC5B. W badaniach przeprowadzonych przez Host Genetic Initiative (HGI) wykryto, iż wariant rs35705950:G>T zlokalizowany w promotorze genu MUC5B (11p15,5) ma działanie protekcyjne przed postacią COVID-19 wymagającą hospitalizacji pacjenta. Polimorfizm rs35705950 znajduje się w regionie sekwencji wspomagającej transkrypcję, tzw. wzmacniacza transkrypcji genu MUC5B, którego produkt białkowy należy do tzw. głównych mucyn tworzących żel w płucach (ang. *major gel-forming mucins*), odgrywający kluczową rolę w zachowaniu prawidłowej funkcji nabłonka oskrzelowo-pęcherzykowego, usuwaniu śluzu i obronie gospodarza przed patogenami

correlates with the occurrence of idiopathic pulmonary fibrosis (IPF) in a patient. The protective effect of the MUC5B variant in this respect is unexpected, considering the correlation between the occurrence of IPF and COVID-19 observed with other variants of this gene (48). Nevertheless, Peljto et al. in their research confirmed that the presence of this variant of the MUC5B gene promoter is associated with a twice higher survival rate among patients with already diagnosed IPF (49). Of note, although excess MUC5B protein is observed in respiratory bronchiolar epithelial cells and honeycomb cysts (44,45) of individuals with IPF, the relationship between the expression of the rs35705950 genotype in lung tissue and IPF stage has not been established and it is expected that there is a universally elevated level of MUC5B proteins in IPF patients, regardless of their rs35705950 allelic configuration.

Verma et al. (50) examined the association between the rs35705950-T polymorphism and clinical outcomes of COVID-19 infection in the Million Veteran Program (MVP), a multigenerational cohort of over 650,000 US veterans with detailed electronic health record (EHR) and genotyping data. This study also confirms that the "T" allele of rs35705950 in MUC5B is associated with reduced risk of COVID-19-related hospitalization among MVP participants (50).

Vitamin D3. There is a relationship between vitamin D3 levels and the severe course of SARS-CoV-2 infection. Patients with appropriate vitamin D levels have lower risk of death from COVID-19 (51). Vitamin D affects the regulation of cytokine levels (52) and can improve patients condition (53). Its appropriate levels can prevent or end the „cytokine storm” (53).

Data from research conducted in Portugal shows that over 60% of the adult population has vitamin D deficiency [$25(\text{OH})\text{D} < 20 \text{ ng/ml}$] (54). In a country with high sunlight levels, a high percentage of vitamin D deficiency in the population may indicate a significant impact of genetic factors such as GC or CYP24A1 genes on the vitamin D metabolism pathway compared to other European populations. In Portuguese population has been demonstrated the presence of genes which predispose to a more frequent occurrence of vitamin D deficiency than in other European countries. The DHCR7 rs 12785878 gene polymorphism occurred more often there than in other European populations. It was noted that patients with vitamin D deficiency developed more often severe COVID-19 disease, but also they died more often from it. Therefore, in populations with genetic susceptibility to vitamin D deficiency, the risk of a more severe course of COVID-19 increases. Identification of population – specific polymorphisms affecting synthesis or

układu oddechowego (43-46). Zgodnie z powyższymi badaniami, w mysich modelach nokautu genowego dla MUC5B (unieczynnieniu określonego genu, zastępując go egzogennym fragmentem DNA) wykazano zwiększoną podatność na infekcje bakteryjne dróg oddechowych i utrzymujący się stan zapalny.

U ludzi allel „T” rs35705950 jest powiązany ze wzmocnioną ekspresją transkryptu genu MUC5B w tkance płuc (47) oraz ujemnie koreluje z wystąpieniem idiopatycznego włóknienia płuc (IPF) u pacjenta. Efekt ochronny wariantu MUC5B w tym zakresie jest zaskakujący, biorąc pod uwagę korelację pomiędzy wystąpieniem IPF i COVID-19 obserwowany w przypadku innych wariantów tego genu (48). Niemniej jednak Peljto i wsp. w swoich badaniach potwierdzili, iż obecność tego wariantu promotora genu MUC5B powiązana jest z dwukrotnie wyższym wskaźnikiem przeżycia wśród pacjentów z już rozpoznanym IPF (49). Warto zauważyć, że chociaż nadmiar białka MUC5B obserwuje się w komórkach nabłonkowych oskrzelików oddechowych i torbieli płatra miodu (44,45) osób z IPF, zależność pomiędzy ekspresją genotypu rs35705950 w tkance płuc a jego stopniem zaawansowania nie została wyryta i prawdopodobnie można uznać powszechnie podwyższony poziom białka MUC5B u pacjentów z IPF, niezależnie od ich konfiguracji allelicznej rs35705950.

Verma i wsp. (50) zbadali związek między polimorfizmem rs35705950-T a przebiegiem klinicznym COVID-19 w programie Million Veteran Program (MVP), grupie wielopokoleniowej składającej się z ponad 650 000 amerykańskich weteranów posiadających szczegółową elektroniczną kartę zdrowia (EHR) i dane dotyczące genotypowania. Badanie to również potwierdza, że allel „T” rs35705950 w MUC5B powoduje zmniejszone ryzyko hospitalizacji związanej z COVID-19 wśród uczestników MVP (50).

Witamina D3. Istnieje zależność pomiędzy stężeniem witaminy D, a ciężkością przebiegu zakażenia wirusem SARS-CoV-2. U pacjentów z prawidłowym stężeniem witaminy D istnieje mniejsze ryzyko zgonu w wyniku COVID-19 (51). Witamina D wpływa na regulację stężenia cytokin (52) i możliwa jest dzięki niej poprawa stanu pacjentów (53). Jej odpowiednie stężenie, może zapobiec lub zakończyć „burzę cytokinową” (53).

Dane z badań przeprowadzonych na terenie Portugalii pokazują, że wśród dorosłej części populacji ponad 60% ma niedobór witaminy D [$25(\text{OH})\text{D} < 20 \text{ ng/ml}$] (54). W kraju o wysokim nasłonecznieniu duży odsetek niedoboru witaminy D wśród ludności może świadczyć o znaczącym wpływie czynników genetycznych takich jak geny GC czy CYP24A1 na szlak metabolizowania witaminy D w porównaniu z innymi populacjami europejskimi. W populacji portugal-

metabolism may have a significant impact on vitamin D concentration (52).

Research have been conducted on among various world population groups to confirm the relationship between vitamin D concentration in the body and the COVID-19 severity. Charoenngam et al. in retrospective research showed that people in the age group over 65 years old, appropriate high vitamin D levels was significantly associated with a reduced risk of death or the development of severe complications in the form of sepsis, septic shock or ARDS (55). In a prospective cohort research of people over 65 years old with COVID-19 disease, Baktash et al. showed that patients in this age group have higher risk of vitamin D deficiency and researchers suggested that vitamin D deficiency may be associated with worse outcomes of COVID-19 treatment (56). The results obtained by Entrenas Castillo et al. in a randomized research also supports the hypothesis that giving vitamin D to patients with COVID-19 may improve their clinical condition (57). A meta-analysis was also conducted based on available researches on the effect of vitamin D in patients with COVID-19 disease. The researchers suggest that vitamin D supplementation may have noticeable impact on the clinical condition of patients with COVID-19 disease, but also reduces mortality and the risk of the severe disease (58).

The GC gen is responsible for encoding information about vitamin D binding protein (DBP) and is one of the genes that influence vitamin D metabolism. The GC rs2282679 polymorphism in vitamin D binding protein is associated with the severity of COVID-19 (52). Current researches indicate that the protein produced by translation of mRNA of this gene may be chemotactic factor for neutrophils and may also activate macrophages leading to the development of the inflammatory process (59,60,61). Additionally, vitamin D binding protein participates in the removal of actin, which is released during cell destruction (62,63). Excess of actin can lead to intravascular coagulation, which can consequently leads to significant damage of various organs, but also in the worst case, to cardiac arrest. Richard R. Kew (64) in his research suggests that the actin-DBP complex is able to bind with neutrophil surface receptor, which leads to release calprotectin, a 241Da heterodimer consisting of S100A8 and S100A9, from the neutrophil. S100A8/A9 has pro-inflammatory properties, facilitating chemotaxis of mature circulating cells, probably by binding to the TLR4 receptor on its plasma membrane. Although DBP-actin complexes are considered as benign by-product of cell damage, researches (both in vivo and in vitro) conducted by Richard R. Kew have shown that these complexes can act as alarmins and have a function very similar to cytokines. In addition

skiej wykazano obecność genów predysponujących do częstszego występowania niedoboru witaminy D niż w innych krajach europejskich. Polimorfizm genu DHCR7 RS12785878 występował częściej niż w innych populacjach europejskich. Zauważono, że pacjenci u których występował niedobór witaminy D, częściej rozwijali postać ciężką choroby COVID-19, ale też częściej z jej powodu umierali. Zatem w populacjach z podatnością genetyczną na niedobór witaminy D rośnie ryzyko cięższego przebiegu COVID-19. Identyfikacja polimorfizmów charakterystycznych dla danej populacji wpływających na syntezę czy metabolizm może mieć istotny wpływ na stężenie witaminy D (52).

Przeprowadzono badania na różnych grupach populacji na świecie, aby potwierdzić związek między stężeniem witaminy D w organizmie, a ciężkością przebiegu COVID-19. Charoenngam i wsp. w badaniu retrospektywnym wykazali, że u osób w grupie wiekowej powyżej 65 roku życia odpowiednio wysokie stężenie witaminy D było istotnie związane z zmniejszeniem ryzyka zgonu czy rozwinieniem ciężkich powikłań w postaci sepsy, wstrząsu septycznego czy ARDS (55). W prospektywnym badaniu kohortowym w grupie osób powyżej 65 roku życia z chorobą COVID-19 Baktash i wsp. wykazali, że u pacjentów w tej grupie wiekowej istniało większe ryzyko niedoboru witaminy D i sugerowali tezę, że niedobór witaminy D może być związany z gorszymi wynikami leczenia COVID-19 (56). Wyniki uzyskane przez Entrenas Castillo i wsp. w badaniu randomizowanym również popierają hipotezę, iż podawanie witaminy D pacjentom z COVID-19 może poprawić ich stan kliniczny (57). Przeprowadzono również metaanalizę na podstawie dostępnych badań na temat wpływu witaminy D na pacjentów z chorobą COVID-19. Badacze sugerują, iż suplementacja witaminy D może mieć znaczący wpływ na stan kliniczny pacjentów z COVID-19, ale też zmniejszać śmiertelność i ryzyko ciężkiego przebiegu choroby (58).

Gen GC jest odpowiedzialny za kodowanie informacji o białku wiążącym witaminę D (DBP) i jest jednym z genów, wpływającym na metabolizm witaminy D. Polimorfizm GC rs2282679 w białku wiążącym witaminę D wykazuje związek z ciężkością przebiegu COVID-19 (52). Obecne badania wskazują na to, że białko powstające w wyniku translacji mRNA tego genu może być czynnikiem chemotaktycznym dla neutrofilów, a także aktywować makrofagi prowadząc do rozwoju procesu zapalnego (59-61). Dodatkowo, białko wiążące witaminę D uczestniczy w usuwaniu aktyny, która jest uwalniana podczas destrukcji komórek (62,63). Nadmiar aktyny może doprowadzić do wykrzepiania wewnątrznaczyniowego, co w konsekwencji może prowadzić do znacznych uszkodzeń

neutrophils release mediators that inhibit neutrophil infiltration leading to their apoptosis. Consequently, this indicated that DBP, through its action-binding function, probably plays a role in both mediating and terminating the inflammatory process (64).

CONCLUSIONS

Nowadays, there are techniques for analyzing the human genome, which enables studies on the impact of different polymorphisms on the severity of various diseases, including COVID-19 infection. Analysis of genetic factors may allow to understand its pathogenesis, which gives a chance to find effective methods of treatment and prevention. Data collected from the literature indicate that in the case of COVID-19 disease, there are polymorphisms that affect the severity of its course. The presence of a given polymorphism in specific population may be a risk factor for developing severe symptoms as a result of SARS-CoV-2 virus infection, and for another population group it may be a factor reducing the risk of developing a severe form of COVID-19. The impact of different polymorphisms requires further research and determining the ethnic dependence of polymorphisms in given population groups.

Funding.

This research was funded by the National Science Centre, Poland grant within the program OPUS-19 [grant number 2020/37/B/NZ7/03380].

REFERENCES

1. Driggin E, Madhavan MV, Bikdeli B, Chuich T, Laracy J, Biondi-Zoccai G, et al. Cardiovascular Considerations for Patients, Health Care Workers, and Health Systems During the COVID-19 Pandemic. *J Am Coll Cardiol.* 2020;75(18):2352-2371.
2. Terpos E, Ntanas-Stathopoulos I, Elalamy I, Kastritis E, Sergentanis TN, Politou M, et al. Hematological findings and complications of COVID-19. *Am J Hematol.* 2020;95(7):834-847.
3. World Health Organisation (WHO), 2024. Number of COVID-19 cases reported to WHO (cumulative total) [cited 13 Sep 2024] Available from: <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=o>
4. Liu X, Zhou H, Zhou Y, Wu X, Zhao Y, Lu Y, et al. Risk factors associated with disease severity and length of hospital stay in COVID-19 patients. *J Infect.* 2020;81(1):e95-e97.
5. Du Y, Tu L, Zhu P, Mu M, Wang R, Yang P, et al. Clinical Features of 85 Fatal Cases of COVID-19 from Wuhan. A Retrospective Observational Study.

różnych narządów, ale też w najgorszym wypadku do zatrzymania akcji serca. Kew (64) w swoim badaniu sugeruje, że kompleks aktyna-DBP jest w stanie połączyć się z powierzchniowym receptorem neutrofila, co w konsekwencji umożliwia uwolnienie z neutrofila kalcyprotektyny, 24 kDa heterodimeru składającego się z S100A8 oraz S100A9. S100A8/A9 wykazuje właściwości prozapalne, ułatwiając między innymi chemotaksję dojrzałych krążących komórek, prawdopodobnie wiążąc się z receptorem TLR4 w obrębie jego błony plazmatycznej. Mimo, iż kompleksy DBP-aktyna uznawane są za łagodny produkt uboczny uszkodzenia komórki, badania (zarówno *in vivo* jak i *in vitro*) przeprowadzone przez Kew wykazały, że kompleksy te mogą stanowić alarminę i wykazywać funkcję zbliżoną do cytokin. Ponadto dochodzi do uwalniania przez neutrofile mediatorów, które hamują naciek neutrofilowy prowadząc do ich apoptozy. W konsekwencji oznacza to, że DBP poprzez swoją funkcję wiązania aktyny, prawdopodobnie odgrywa rolę zarówno w pośredniczeniu jak i terminacji procesu zapalnego (64).

PODSUMOWANIE

W obecnych czasach istnieją techniki analizy genomu ludzkiego dające możliwość badania wpływu występowania poszczególnych polimorfizmów na ciężkość przebiegu różnych schorzeń, w tym COVID-19. Analiza czynników genetycznych może pozwolić zrozumieć patogenezę choroby, co daje szansę na odnalezienie skutecznych metod leczenia oraz profilaktyki. Zebrane dane z piśmiennictwa wskazują, że w przypadku choroby COVID-19 istnieją polimorfizmy, które wpływają na ciężkość jej przebiegu. Obecność danego polimorfizmu w populacji może być czynnikiem ryzyka rozwinięcia ciężkich objawów w wyniku zakażenia wirusem SARS-CoV-2, a dla innej grupy populacji być czynnikiem zmniejszającym ryzyko rozwinięcia ciężkiej postaci COVID-19. Wpływ poszczególnych polimorfizmów wymaga dalszych badań oraz określenia zależności etnicznej polimorfizmów w danych grupach populacji.

Źródło finansowania.

Badanie zostało sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach programu OPUS-19 [numer grantu 2020/37/B/NZ7/03380].

- Am J Respir Crit Care Med. 2020;201(11):1372-1379.
6. Varga Z, Flammer AJ, Steiger P, Haberecker M, Andermatt R, Zinkernagel AS, et al. Endothelial cell infection and endotheliitis in COVID-19. *Lancet*. 2020;395(10234):1417-1418.
7. González D, Ayala-Ramírez P, Gelvez N, Suarez-Obando F, Ariza B, Ruiz Z, et al. Epigenetic mechanisms and host factors impact ACE2 gene expression: Implications in COVID-19 susceptibility. *Infect Genet Evol*. 2022 Oct;104:105357.
8. Millet JK, Whittaker GR. Host cell proteases: Critical determinants of coronavirus tropism and pathogenesis. *Virus Res*. 2015 Apr 16;202:120-34.
9. Vargas-Alarcón G, Posadas-Sánchez R, Ramírez-Bello J. Variability in genes related to SARS-CoV-2 entry into host cells (ACE2, TMPRSS2, TMPRSS11A, ELANE, and CTSL) and its potential use in association studies. *Life Sci*. 2020 Nov 1;260:118313.
10. Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*. 2020 Feb 15;395(10223):497-506.
11. Chen X, Zhao B, Qu Y, Chen Y, Xiong J, Feng Y, et al. Detectable Serum Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Viral Load (RNAemia) Is Closely Correlated With Drastically Elevated Interleukin 6 Level in Critically Ill Patients With Coronavirus Disease 2019. *Clin Infect Dis*. 2020 Nov 5;71(8):1937-1942.
12. Sanderson SC, Kumari M, Brunner EJ, Miller MA, Rumley A, Lowe GD, et al. Association between IL6 gene variants -174G>C and -572G>C and serum IL-6 levels: Interactions with social position in the Whitehall II cohort. *Atherosclerosis* (2009) 204:459–64.
13. Brull DJ, Montgomery HE, Sanders J, Dhamrait S, Luong L, Rumley A, et al. Interleukin-6 gene -174G>C and -572G>C promoter polymorphisms are strong predictors of plasma interleukin-6 levels after coronary artery bypass surgery. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* (2001) 21:1458–63.
14. Doyle WJ, Casselbrant ML, Li-Korotky HS, Doyle AP, Lo CY, Turner R, et al. The interleukin 6 -174 C/C genotype predicts greater rhinovirus illness. *J Infect Dis*. 2010 Jan 15;201(2):199-206.
15. Patel JA, Nair S, Revai K, Grady J, Saeed K, Matalon R, et al. Association of proinflammatory cytokine gene polymorphisms with susceptibility to otitis media. *Pediatrics*. 2006 Dec;118(6):2273-9.
16. Revai K, Patel JA, Grady JJ, Nair S, Matalon R, Chonmaitree T. Association between cytokine gene polymorphisms and risk for upper respiratory tract infection and acute otitis media. *Clin Infect Dis*. 2009 Jul 15;49(2):257-61.
17. Zhang Q, Bastard P, Liu Z, Le Pen J, Moncada-Velez M, Chen J, Ogishi M et al. Inborn errors of type I IFN immunity in patients with life-threatening COVID-19. *Science*. 2020 Oct 23;370(6515):eabd4570.
18. Di Maria E, Latini A, Borgiani P, Novelli G. Genetic variants of the human host influencing the coronavirus-associated phenotypes (SARS, MERS and COVID-19): rapid systematic review and field synopsis. *Hum Genomics*. 2020 Sep 11;14(1):30.
19. Beyerstedt S, Casaro EB, Rangel EB. COVID-19: angiotensin-converting enzyme 2 (ACE2) expression and tissue susceptibility to SARS-CoV-2 infection. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2021 May;40(5):905-919.
20. Tikellis C, Bernardi S, Burns WC. Angiotensin-converting enzyme 2 is a key modulator of the renin-angiotensin system in cardiovascular and renal disease. *Curr Opin Nephrol Hypertens*. 2011 Jan;20(1):62-8.
21. Hoffmann M, Kleine-Weber H, Schroeder S, Krüger N, Herrler T, Erichsen S, et al. SARS-CoV-2 Cell Entry Depends on ACE2 and TMPRSS2 and Is Blocked by a Clinically Proven Protease Inhibitor. *Cell*. 2020 Apr 16;181(2):271-280.e8.
22. Gupta K, Kaur G, Pathak T, Banerjee I. Systematic review and meta-analysis of human genetic variants contributing to COVID-19 susceptibility and severity. *Gene*. 2022 Nov 30;844:146790.
23. Asselta R, Paraboschi EM, Mantovani A, Duga S. ACE2 and TMPRSS2 variants and expression as candidates to sex and country differences in COVID-19 severity in Italy. *Aging (Albany NY)*. 2020;12(11):10087-10098.
24. Wu YH, Li JY, Wang C, Zhang LM, Qiao H. The ACE2 G8790A Polymorphism: Involvement in Type 2 Diabetes Mellitus Combined with Cerebral Stroke. *J Clin Lab Anal*. 2017;31(2):e22033.
25. Bosso M, Thanaraj TA, Abu-Farha M, Alanbaei M, Abubaker J, Al-Mulla F. The Two Faces of ACE2: The Role of ACE2 Receptor and Its Polymorphisms in Hypertension and COVID-19. *Mol Ther Methods Clin Dev*. 2020;18:321-327.
26. Hamet P, Pausova Z, Attaoua R, Hishmih C, Haloui M, Shin J, et al. SARS-CoV-2 Receptor ACE2 Gene Is Associated with Hypertension and Severity of COVID 19: Interaction with Sex, Obesity, and Smoking. *Am J Hypertens*. 2021;34(4):367-376.
27. Samy W, Gaber OA, Amer RM, El-Deeb NA, Abdelmoaty AA, Sharaf AL, et al. Role of ACE2 and TMPRSS2 polymorphisms in clinical severity and outcomes of COVID-19 in Egypt. *Afr J Lab Med*. 2024;13(1):2375.
28. Elnagdy MH, Magdy A, Eldars W, Elgamal M, El-Nagdy AH, Salem O, et al. Genetic association of ACE2 and TMPRSS2 polymorphisms with

- COVID-19 severity; a single centre study from Egypt. *Virol J.* 2024;21(1):27.
29. Banu N, Panikar SS, Leal LR, Leal AR. Protective role of ACE2 and its downregulation in SARS-CoV-2 infection leading to Macrophage Activation Syndrome: Therapeutic implications. *Life Sci.* 2020;1 (256), 117905.
30. Gkogkou E, Barnasas G, Vougas K, Trougakos IP. Expression profiling meta-analysis of ACE2 and TMPRSS2, the putative anti-inflammatory receptor and priming protease of SARS-CoV-2 in human cells, and identification of putative modulators. *Redox Biol.* 2020 Sep;36:101615.
31. Trougakos IP, Stamatelopoulou K, Terpos E, Tsitsilonis OE, Aivalioti E, Paraskevis D, et al. Insights to SARS-CoV-2 life cycle, pathophysiology, and rationalized treatments that target COVID-19 clinical complications. *J Biomed Sci.* 2021 Jan 12;28(1):9.
32. Kaidashev I, Izmailova O, Shlykova O, Kabaliev A, Vatsenko A, Ivashchenko D, et al. Polymorphism of tmprss2 (rs12329760) but not ace2 (rs4240157), tmprss11a (rs353163) and cd147 (rs8259) is associated with the severity of COVID-19 in the Ukrainian population. *Acta Biomed.* 2023 Feb 13;94(1):e2023030.
33. Yaghoobi A, Lord JS, Rezaiezhadeh JS, Yekaninejad MS, Amini M, Izadi P. TMPRSS2 polymorphism (rs12329760) and the severity of the COVID-19 in Iranian population. *PLoS One.* 2023 Feb 16;18(2):e0281750.
34. David A, Parkinson N, Peacock TP, Pairo-Castineira E, Khanna T, Cobat A et al.; A common TMPRSS2 variant has a protective effect against severe COVID-19. *Curr Res Transl Med.* 2022 May;70(2):103333.
35. Monticelli M, Hay Mele B, Benetti E, Fallerini C, Baldassarri M, Furini S, et al; Gen-Covid Multicenter Study. Protective Role of a TMPRSS2 Variant on Severe COVID-19 Outcome in Young Males and Elderly Women. *Genes (Basel).* 2021 Apr 19;12(4):596.
36. Atal S, Fatima Z. IL-6 Inhibitors in the Treatment of Serious COVID-19: A Promising Therapy? *Pharmaceut Med.* 2020 Aug;34(4):223-231.
37. Ulhaq ZS, Soraya GV. Interleukin-6 as a potential biomarker of COVID-19 progression. *Med Mal Infect.* 2020 Jun;50(4):382-383.
38. Soraya GV, Ulhaq ZS. Crucial laboratory parameters in COVID-19 diagnosis and prognosis: An updated meta-analysis. *Med Clin (Barc).* 2020 Aug 28;155(4):143-151.
39. Zoń-Giebel A, Giebel S. Review article. Macrophage activation syndrome – a reactive haemophagocytic lymphohistiocytosis. *Rheumatology.* 2008;46(1):21-6.
40. Kerget F, Kerget B. Frequency of interleukin-6 rs1800795 (-174G/C) and rs1800797 (-597G/A) polymorphisms in COVID-19 patients in Turkey who develop macrophage activation syndrome. *Jpn J Infect Dis.* 2021;74(6):543-548.
41. Ulhaq ZS, Soraya GV. Anti-IL-6 receptor antibody treatment for severe COVID-19 and the potential implication of IL-6 gene polymorphisms in novel coronavirus pneumonia. *Med Clin (Engl Ed).* 2020 Dec 25;155(12):548-556.
42. Yang L, Xie X, Tu Z, Fu J, Xu D, Zhou Y. The signal pathways and treatment of cytokine storm in COVID-19. *Signal Transduct Target Ther* 2021;6(1):255.
43. Rose MC, Voynow JA. Respiratory tract mucin genes and mucin glycoproteins in health and disease. *Physiol Rev* 2006;86: 245–278.
44. Seibold MA, Smith RW, Urbanek C, Groshong SD, Cosgrove GP, Brown KK, et al. The idiopathic pulmonary fibrosis honeycomb cyst contains a mucociliary pseudostratified epithelium. *PLoS One* 2013;8:e58658.
45. Nakano Y, Yang IV, Walts AD, Watson AM, Helling BA, Fletcher AA, et al. MUC5B promoter variant rs35705950 affects MUC5B expression in the distal airways in idiopathic pulmonary fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med* 2016;193:464–466.
46. Evans CM, Fingerlin TE, Schwarz MI, Lynch D, Kurche J, Warg L, et al. Idiopathic pulmonary fibrosis: a genetic disease that involves mucociliary dysfunction of the peripheral airways. *Physiol Rev* 2016;96:1567–1591.
47. Seibold MA, Wise AL, Speer MC, Steele MP, Brown KK, Loyd JE, et al. A common MUC5B promoter polymorphism and pulmonary fibrosis. *N Engl J Med* 2011;364:1503–1512.
48. Fadista J, Kraven LM, Karjalainen J, Andrews SJ, Geller F; COVID-19 Host Genetics Initiative; Baillie JK, Wain LV, Jenkins RG, Feenstra B. Shared genetic etiology between idiopathic pulmonary fibrosis and COVID-19 severity. *EBioMedicine.* 2021 Mar;65:103277.
49. Peljto AL, Zhang Y, Fingerlin TE, Ma SF, Garcia JG, Richards TJ, et al. Association between the MUC5B promoter polymorphism and survival in patients with idiopathic pulmonary fibrosis. *JAMA.* 2013 Jun 5;309(21):2232-9.
50. Verma A, Minnier J, Wan ES, Huffman JE, Gao L, Joseph J, et al. Million Veteran Program COVID-19 Science Initiative. A MUC5B Gene Polymorphism, rs35705950-T, Confers Protective Effects Against COVID-19 Hospitalization but Not Severe Disease or Mortality. *Am J Respir Crit Care Med.* 2022 Nov 15;206(10):1220-1229.
51. Freitas AT, Calhau C, Antunes G, Araújo B, Bandeira M, Barreira S, et al. Vitamin D-related polymorphisms and vitamin D levels as risk

- biomarkers of COVID-19 disease severity. *Sci Rep*. 2021 Oct 21;11(1):20837.
52. Hetta HF, Muhammad K, El-Masry EA, Taha AE, Ahmed EA, Phares C, et al. The interplay between vitamin D and COVID-19: protective or bystander? *Eur Rev Med. Pharmacol Sci*. 2021 Feb;25(4):2131-2145.
53. Slominski RM, Stefan J, Athar M, Holick MF, Jetten AM, Raman C, et al. COVID-19 and Vitamin D: A lesson from the skin. *Exp Dermatol*. 2020;29(9):885-890.
54. Duarte C, Carvalheiro H, Rodrigues AM, Dias SS, Marques A, Santiago T, et al. Prevalence of vitamin D deficiency and its predictors in the Portuguese population: a nationwide population-based study. *Arch Osteoporos*. 2020;15(1):36.
55. Charoenngam N, Shirvani A, Reddy N, Vodopivec DM, Apovian CM, Holick MF. Association of Vitamin D Status With Hospital Morbidity and Mortality in Adult Hospitalized Patients With COVID-19. *EndocrPract*. 2021;27(4):271-278.
56. Baktash V, Hosack T, Patel N, Shah S, Kandiah P, Van den Abbeele K, et al. Vitamin D status and outcomes for hospitalised older patients with COVID-19. *Postgrad Med J*. 2021;97(1149):442-447.
57. Entrenas Castillo M, Entrenas Costa LM, Vaquero Barrios JM, Alcalá Díaz JF, López Miranda J, Bouillon R, et al. Effect of calcifediol treatment and best available therapy versus best available therapy on intensive care unit admission and mortality among patients hospitalized for COVID-19: A pilot randomized clinical study. *J Steroid Biochem Mol Biol*. 2020;203:105751.
58. Pal R, Banerjee M, Bhadada SK, Shetty AJ, Singh B, Vyas A. Vitamin D supplementation and clinical outcomes in COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *J Endocrinol Invest*. 2022;45(1):53-68.
59. Wood AM, Bassford C, Webster D, Newby P, Rajesh P, Stockley RA, et al. Vitamin D-binding protein contributes to COPD by activation of alveolar macrophages. *Thorax*. 2011;66(3):205-10.
60. Chun RF. New perspectives on the vitamin D binding protein. *Cell Biochem Funct*. 2012;30(6):445-56.
61. Delanghe JR, Speeckaert R, Speeckaert MM. Behind the scenes of vitamin D binding protein: more than vitamin D binding. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2015;29(5):773-86.
62. Otterbein LR, Cosio C, Graceffa P, Dominguez R. Crystal structures of the vitamin D-binding protein and its complex with actin: structural basis of the actin-scavenger system. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2002;99(12):8003-8.
63. Meier U, Gressner O, Lammert F, Gressner AM. Gc-globulin: roles in response to injury. *Clin Chem*. 2006;52(7):1247-53.
64. Kew RR. The Vitamin D Binding Protein and Inflammatory Injury: A Mediator or Sentinel of Tissue Damage? *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2019;10:470.

Received: 22.07.2024

Accepted for publication: 11.10.2024

Otrzymano: 22.07.2024 r.

Zaakceptowano do publikacji: 11.10.2024 r.

Address for correspondence:

Adres do korespondencji:

Prof. dr hab. n. med. Anna Moniuszko-Malinowska

Klinika Chorób Zakaźnych i Neuroinfekcji,

Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

e-mail: anna.moniuszko-malinowska@umb.edu.pl

Jakub Maciej Zbrzeźniak, Iwona Paradowska-Stankiewicz

LYME DISEASE IN POLAND IN 2022*

BORELIOZA Z LYME W POLSCE W 2022 ROKU*

National Institute of Public Health NIH – National Research Institute
Department of Epidemiology of Infectious Diseases and Surveillance
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Epidemiologii Chorób Zakaźnych i Nadzoru

ABSTRACT

INTRODUCTION. In Poland, Lyme disease has been subject to mandatory reporting and registration since 1996, and in accordance with EU law, cases of neuroborreliosis have been reported to the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) since 2019. Lyme disease is transmitted by ticks of the *Ixodes* genus, and humans become infected through the bite of an infected tick. Due to the varied symptoms, diagnosis can be difficult and usually involves two-stage serological diagnostics.

AIM OF THE STUDY. The aim of the study was to assess the epidemiological situation of Lyme disease in Poland in 2022 compared to the situation in previous years.

MATERIAL AND METHODS. The epidemiological situation of Lyme disease in Poland was assessed on the basis of the data sent to NIPH NIH – NRI by voivodeship sanitary and epidemiological stations and published in the bulletin “Infectious diseases and poisoning in Poland in 2022”.

RESULTS. In 2022, 17 369 cases of Lyme disease were registered, including 776 hospitalizations. This was a significant increase in cases by 38.96% and hospitalizations by 88.81% compared to the previous year. The seasonality that characterizes Lyme disease was noticeable in individual quarters, i.e. an increase in the number of cases from 1 151 in Q1 to 7 267 in Q3 and a decrease in Q4 to 5 708. At the voivodeship level, the highest incidence was recorded in the Podlaskie (81.2 per 100 000), Małopolskie (79.8 per 100 000) and Lubelskie (76.8 per 100 000) voivodeships.

SUMMARY AND CONCLUSION. The epidemiological situation of Lyme disease is gradually returning to the state before the COVID-19 pandemic. The percentage of hospitalized cases increased slightly (from 3.3% in 2021 to 4.5% in 2022), which, combined with the increase in the number of cases, meant an increase in the number of hospitalizations due to Lyme disease by almost 89%. The highest incidence was consistently observed in the eastern part of Poland (Podlaskie, Warmińsko-mazurskie, Lubelskie voivodeships).

Keywords: *Lyme borreliosis, epidemiology, Poland, 2022*

STRESZCZENIE

WSTĘP. W Polsce borelioza podlega obowiązkowi zgłaszania i rejestracji od 1996 roku oraz zgodnie z prawem unijnym, od 2019 roku do Europejskiego Centrum ds. Zapobiegania i Kontroli Chorób (ECDC) raportowane są przypadki neuroboreliozy. Borelioza przenoszona jest przez kleszcze z rodzaju *Ixodes*, do zakażenia człowieka dochodzi poprzez ukłucie przez zakażonego kleszcza. Z uwagi na zróżnicowane objawy rozpoznanie może być trudne i zwykle obejmuje dwuetapową diagnostykę serologiczną.

CEL PRACY. Celem pracy była ocena sytuacji epidemiologicznej boreliozy w Polsce w 2022 r. w porównaniu do sytuacji w ubiegłych latach.

MATERIAŁ I METODY. Do przeprowadzenia oceny sytuacji epidemiologicznej boreliozy w Polsce wykorzystano dane nadsyłane do NIZP PZH – PIB przez Wojewódzkie Stacje Sanitarno-Epidemiologiczne i publikowane w biuletynie rocznym „Choroby zakaźne i zatrucia w Polsce w 2022 r.”.

* The work was carried out as part of task No. BE-1/2024 / Praca została wykonana w ramach zadania nr BE-1/2024

WYNIKI. W 2022 r. zarejestrowano 17369 zachorowań na boreliozę w tym 776 hospitalizacji. Był to znaczny wzrost zachorowań o 38,96% oraz hospitalizacji o 88,81% w stosunku do roku poprzedzającego. W poszczególnych kwartałach widoczna była sezonowość, jaką cechuje się borelioza, tzn. wzrost liczby przypadków z 1151 w Q1 do 7267 w Q3 oraz spadek w Q4 do 5708. Na poziomie poszczególnych województwach największą zapadalność odnotowano w województwie podlaskim (81,2 na 100 tys.), małopolskim (79,8 na 100 tys.) oraz lubelskim (76,8 na 100 tys.).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI. Sytuacja epidemiologiczna boreliozy wracała stopniowo do stanu sprzed pandemii COVID-19. Nieznacznie wzrósł odsetek przypadków hospitalizowanych (z 3,3% w 2021 roku do 4,5% w 2022 r), co przy wzroście liczby zachorowań oznaczało wzrost liczby hospitalizacji z powodu boreliozy o prawie 89%. Niezmiennie największą zapadalność obserwowano we wschodniej części Polski (województwo podlaskie, warmińsko-mazurskie, lubelskie).

Słowa kluczowe: borelioza z Lyme, epidemiologia, Polska, rok 2022

INTRODUCTION

In Poland, Lyme disease has been subject to mandatory reporting and registration since 1996, and in accordance with EU law, since 2019, cases of neuroborreliosis have been reported to the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) (1). It is one of the most common vector-borne diseases in the world, and its area of occurrence is still growing. It is caused by spirochete-type bacteria belonging to the heterogeneous group *Borrelia burgdorferi sensu lato*, in which the etiological factors of Lyme disease are most often 3 genospecies: *B. burgdorferi sensu stricto*, *Borrelia afzelii* and *Borrelia garinii* (2). Human infection occurs through the bite of infected ticks of the genus *Ixodes* feeding on the skin.

Clinical symptoms of Lyme disease can be divided into three stages: early localized, characterized by *erythema migrans* at the site of the tick bite, early disseminated and late disseminated. Due to the varied symptoms, diagnosis may be difficult and usually involves a two-step serological diagnosis (2).

AIM OF THE STUDY

The aim of the study was to assess the epidemiological situation of Lyme disease in Poland in 2022 compared to the situation in previous years.

MATERIAL AND METHODS

The epidemiological situation of Lyme disease in Poland was assessed on the basis of the data sent to NIPH NIH – NRI by voivodeship sanitary-epidemiological stations and published in annual bulletines (3), and the data from individual cases registered in Epibaza. The classification of infections was based on the case definitions of infectious diseases developed for epidemiological surveillance purposes (version in law in 2020-2021, Department of

WSTĘP

W Polsce borelioza podlega obowiązkowi zgłaszania i rejestracji od 1996 roku oraz zgodnie z prawem unijnym, od 2019 do Europejskiego Centrum ds. Zapobiegania i Kontroli Chorób (ECDC) raportowane są przypadki neuroboreliozy (1). Jest to jedna z najczęstszych chorób wektorowych na świecie, a jej obszar występowania wciąż wzrasta. Wywoływana jest przez bakterie o typie krętków należące do niejednorodnej grupy *Borrelia burgdorferi sensu lato*, w której czynnikami etiologicznymi boreliozy są najczęściej 3 genogatunki: *B. burgdorferi sensu stricto*, *Borrelia afzelii* i *Borrelia garinii* (2). Do zakażenia człowieka dochodzi poprzez ukłucie i żerowanie w skórze zakażonych kleszczy z rodzaju *Ixodes*.

Objawy kliniczne boreliozy można podzielić na trzy etapy: wczesne zlokalizowane charakteryzujące się rumieniem wędrującym w miejscu ukąszenia kleszcza, wczesne rozsiane oraz późne rozsiane. Z uwagi na zróżnicowane objawy rozpoznanie może być trudne i zwykle obejmuje dwuetapową diagnostykę serologiczną (2).

CEL PRACY

Celem pracy była ocena sytuacji epidemiologicznej boreliozy w Polsce w 2022 r. w porównaniu do sytuacji w ubiegłych latach.

MATERIAŁ I METODY

Do przeprowadzenia oceny epidemiologicznej występowania boreliozy z Lyme wykorzystano dane nadsyłane do NIZP PZH – PIB przez Wojewódzkie Stacje Sanitarne-Epidemiologiczne i publikowane w biuletynach rocznych (3) oraz dane z indywidualnych raportów o zachorowaniach na boreliozę zarejestrowanych w Epibazie. Klasyfikacji zakażeń dokonano w oparciu o definicje przypadków chorób zakaźnych opracowanych na potrzeby nadzoru epidemiologicznego (wersja

Epidemiology of Infectious Diseases and Surveillance, NIPH NIH – NRI) (4).

RESULTS

In 2022, 17 369 cases of Lyme disease and 776 hospitalizations were recorded. This was a significant increase in the number of cases compared to the previous year – by 38.96%, and an increase in hospitalizations by 88.81%. The percentage of hospitalizations also increased slightly – by 1.2 percentage points (Table I). Comparing 2022 to 2021 and to the median from 2016–2020, we can see a slow return of epidemiological indicators to pre-pandemic values (for example the number of cases in 2021 was 61% of the median for 2016–2020, while in 2022 this percentage was 83%) (Table II).

In quarters, seasonality was noticeable, which is characteristic of Lyme disease, i.e. an increase in the number of cases from 1 151 in Q1 to 7 267 in Q3 and a decrease in Q4 to 5 708. The distribution of cases in the quarters did not change, minor changes were observed in 2020, but seasonality was still preserved. For many years, regardless of other factors that may affect the incidence of Lyme disease, the lowest number of cases has been recorded in Q1, while the peak of cases is reached in Q3 (Table I).

At the voivodeship level, the highest incidence was recorded in the following voivodeships: Podlaskie (81.2 per 100 000), Małopolskie (79.8 per 100 000) and Lubelskie (76.8 per 100 000). In these 3 voivodeships, only 30% of all cases were recorded. The largest number of cases was recorded in the following voivodeships: Małopolskie (2 737 cases), Śląskie (2 132 cases) and Mazowieckie (1 599 cases). The cases in these three voivodeships accounted for 37.2% of all cases. The overall incidence per 100 000 for Poland in 2022 was 45.9 per 100 000, with an incidence lower than for Poland recorded in 7 voivodeships: Dolnośląskie, Kujawsko-Pomorskie, Łódzkie, Mazowieckie, Świętokrzyskie, Wielkopolskie and Zachodniopomorskie. In 6 of the 7 voivodeships mentioned, the incidence was below 30 per 100 000. The lowest value was recorded in the Łódzkie voivodeship (22.6 per 100 000) (Table I).

Taking into account the median from 2016–2020, also in most voivodeships (9 out of 16) the incidence was reported higher than the general incidence for Poland. In turn, (taking into account also data from 2021) the voivodeships that most often reported lower incidence than the general incidence for Poland were: Dolnośląskie, Kujawsko-Pomorskie, Łódzkie, Mazowieckie, Świętokrzyskie and Wielkopolskie (Table II).

Taking into account the clinical form of Lyme disease, *erythema migrans* was diagnosed in 88.4%

obowiązująca w roku 2020–2021, Zakład Epidemiologii Chorób Zakaźnych i Nadzoru, NIZP PZH – PIB) (4).

WYNIKI

W 2022 r. zarejestrowano 17369 zachorowań na boreliozę oraz 776 hospitalizacji. Był to znaczny wzrost liczby zachorowań w stosunku do roku poprzedniego – o 38,96%, oraz wzrost hospitalizacji o 88,81%. Także odsetek hospitalizacji nieznacznie wzrósł – o 1,2 p.p. (Tab. I). Porównując rok 2022 do roku 2021 oraz do mediany z lat 2016–2020 można zauważyć powolny powrót wskaźników epidemiologicznych do wartości sprzed pandemii (przykładowo liczba przypadków w roku 2021 wyniosła 61% mediany za lata 2016–2020, natomiast w roku 2022 odsetek ten wyniósł 83%) (Tab. II).

W poszczególnych kwartałach widoczna była sezonowość, jaką cechuje się borelioza, tzn. wzrost liczby przypadków z 1151 w Q1 do 7267 w Q3 oraz spadek w Q4 do 5708. Rozkład zachorowań w kwartałach nie uległ zmianom, niewielkie zmiany obserwowano w roku 2020, jednak nadal zachowana była sezonowość. Od wielu lat, niezależnie od innych czynników mogących mieć wpływ na zapadalność na boreliozę, najmniej zachorowań odnotowuje się w Q1, natomiast pik zachorowań zostaje osiągnięty w Q3 (Tab. I).

Na poziomie województw największą zapadalność odnotowano w województwach: podlaskim (81,2 na 100 tys.), małopolskim (79,8 na 100 tys.) oraz lubelskim (76,8 na 100 tys.). W tych 3 województwach zarejestrowano 30% ogółu przypadków. Natomiast największą liczbę przypadków odnotowano w województwach: małopolskim (2737 przypadków), śląskim (2132 przypadki) oraz mazowieckim (1599 przypadków). Zachorowania w tych trzech województwach stanowiły 37,2% ogółu przypadków. Ogólna zapadalność na 100 tys. dla Polski w 2022 roku wyniosła 45,9 na 100 tys., zapadalność na poziomie niższym niż dla Polski odnotowano w siedmiu województwach: dolnośląskim, kujawsko-pomorskim, łódzkim, mazowieckim, świętokrzyskim, wielkopolskim i zachodniopomorskim. W sześciu z wymienionych siedmiu województw zapadalność wyniosła poniżej 30 na 100 tys. Najniższą wartość odnotowano w województwie łódzkim (22,6 na 100 tys.) (Tab. I).

Biorąc pod uwagę medianę z lat 2016–2020 również w większości województw (9 z 16) raportowano zapadalność wyższą od ogólnej zapadalności dla Polski. Z kolei, (uwzględniając również dane z 2021 r.) województwami, które najczęściej raportowały niższą zapadalność niż ogółem dla Polski były: woj. dolnośląskie, kujawsko-pomorskie, łódzkie, mazowieckie, świętokrzyskie i wielkopolskie (Tab. II).

Uwzględniając postać kliniczną boreliozy w 88,4% wszystkich zarejestrowanych w 2022 r.

Table I. Lyme disease in Poland in 2022. Number of cases, incidence per 100 000 population and hospitalizations by voivodships.

Tabela I. Borelioza z Lyme w Polsce w 2022 r. Liczba zachorowań, zapadalność na 100 tys. mieszkańców oraz hospitalizacje wg województw.

Voivodeship		Number of incident cases in quarters				Number of incident cases	Incidence per 100 000	Hospitalizations	
		I	II	III	IV			Number	%
Poland	2021	1229	2233	6158	2880	12500	32.8	411	3.3
	2022	1151	3243	7267	5708	17369	45.9	776	4.5
Dolnośląskie		47	132	395	267	841	29.1	69	8.2
Kujawsko-Pomorskie		39	77	269	143	528	26.2	38	7.2
Lubelskie		142	331	539	547	1559	76.8	55	3.5
Lubuskie		16	108	194	179	497	50.6	8	1.6
Łódzkie		28	103	223	186	540	22.6	75	13.9
Małopolskie		184	546	1298	709	2737	79.8	73	2.7
Mazowieckie		66	327	633	573	1599	29.0	55	3.4
Opolskie		33	121	219	223	596	63.1	37	6.2
Podkarpackie		56	291	438	441	1226	58.9	65	5.3
Podlaskie		84	186	397	263	930	81.2	46	4.9
Pomorskie		137	246	571	526	1480	62.8	60	4.1
Śląskie		138	297	911	786	2132	48.9	73	3.4
Świętokrzyskie		13	47	116	140	316	26.7	10	3.2
Warmińsko-Mazurskie		66	153	333	288	840	61.3	41	4.9
Wielkopolskie		52	169	433	222	876	25.1	46	5.3
Zachodniopomorskie		50	109	298	215	672	40.8	25	3.7

Table II. Lyme disease in Poland. Number of cases and incidence per 100 000 population by voivodeships in 2016-2022

Tabela II. Borelioza z Lyme w Polsce. Liczba zachorowań oraz zapadalność na 100 tys. mieszkańców wg województw w latach 2016-2022

Voivodeship	Median 2016-2020		2021		2022	
	Number of incident cases	Incidence per 100 000	Number of incident cases	Incidence per 100 000	Number of incident cases	Incidence per 100 000
POLAND	20630	53.7	12500	32.8	17369	45.9
Dolnośląskie	852	29.4	470	16.3	841	29.1
Kujawsko-Pomorskie	545	26.2	520	25.3	528	26.2
Lubelskie	1906	89.2	1122	53.8	1559	76.8
Lubuskie	615	60.6	218	21.7	497	50.6
Łódzkie	623	25.3	300	12.4	540	22.6
Małopolskie	3300	96.9	2113	62.0	2737	79.8
Mazowieckie	2184	40.8	1059	19.5	1599	29.0
Opolskie	678	68.2	509	52.3	596	63.1
Podkarpackie	1401	65.9	855	40.4	1226	58.9
Podlaskie	1287	108.8	718	61.4	930	81.2
Pomorskie	1315	56.9	1064	45.4	1480	62.8
Śląskie	2625	57.8	1314	29.4	2132	48.9
Świętokrzyskie	398	31.7	270	22.2	316	26.7
Warmińsko-Mazurskie	1306	91.2	722	51.2	840	61.3
Wielkopolskie	633	18.1	605	17.3	876	25.1
Zachodniopomorskie	849	49.7	641	38.1	672	40.8

of all cases registered in 2022, and neuroborreliosis in 2%.

SUMMARY AND CONCLUSION

The epidemiological situation of Lyme disease in 2022 gradually returned to the state before the COVID-19 pandemic, as can be seen in the comparison to the median of cases and incidence from 2016-2020. Compared to 2021, the increase in 2022 was particularly noticeable, because in 2021 the decrease in Lyme disease cases associated with COVID-19 was not yet leveled off (5). In the case of the distribution of cases in individual quarters, there was a noticeable increase in the last two quarters (over 1 000 cases per quarter), slightly lower in Q2, and a slight decrease in cases in Q1 compared to 2021.

The percentage of hospitalizations increased slightly (by 1.2 percentage points compared to 2021), which, combined with the increase in the number of cases, resulted in an increase in hospitalizations by almost 89% (411 hospitalizations in 2021 compared to 776 in 2022). The highest percentage of hospitalizations was recorded in the Łódzkie voivodeship, which significantly lagged behind other voivodeships (13.9% compared to the second highest percentage of hospitalizations, Dolnośląskie voivodeship - 8.2%).

The highest incidence was consistently observed in the eastern part of Poland (Podlaskie, Lubelskie, Warmińsko-Mazurskie voivodeships), but it is also worth mentioning the following voivodeships: Małopolskie with 79.8 per 100 000, Pomorskie – 62.8 per 100 000 and Opolskie – 63.1 per 100 000, in which the incidence exceeded 60 people per 100 000. Looking at the incidence in individual voivodeships, it can be said that the return to the pre-pandemic level is uneven (especially in the Podlaskie and Warmińsko-Mazurskie voivodeships, a slower levelling is noticeable).

The only protection against Lyme disease are still anti-tick agents (repellents, appropriate clothing) and early detection of the bitten tick. This is due to the lack of a vaccine against Lyme disease, which is still in phase III of clinical trials. This experimental vaccine uses a mechanism that targets protein A from the outer surface (OspA) of *Borrelia burgdorferi*. Blocking OspA inhibits the bacteria's ability to leave the tick and infect humans. The vaccine covers the six most common OspA serotypes found in the *Borrelia burgdorferi sensu lato* species, which are common in North America and Europe. The strong immune response and safety in the studies conducted so far give hope for the future. However, due to Good Clinical Practice (GCP) violations, a significant percentage of participants in the US were discontinued (6).

przypadków rozpoznano rumień wędrujący, a w 2% neuroboreliozę.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Sytuacja epidemiologiczna boreliozy w 2022 r. wracała stopniowo do stanu sprzed pandemii COVID-19, co widać w porównaniu do mediany zachorowań i zapadalności z lat 2016-2020. W porównaniu do roku 2021 wzrost w 2022 r. był szczególnie zauważalny, gdyż w 2021 r. nie obserwowano jeszcze wyrównywania spadku zachorowań na boreliozę związanego z COVID-19 (5). W przypadku rozkładu zachorowań w poszczególnych kwartałach, zauważalny był wzrost w dwóch ostatnich kwartałach (powyżej 1000 przypadków na kwartał), nieco mniejszy w Q2, oraz nieznaczny spadek przypadków w Q1 w porównaniu do 2021 roku.

Nieznacznie wzrósł odsetek hospitalizacji (o 1,2 p.p. względem 2021 roku), co w połączeniu ze wzrostem liczby zachorowań spowodowało wzrost hospitalizacji o prawie 89% (411 hospitalizacji w 2021 w porównaniu do 776 w 2022 roku). Największy odsetek hospitalizacji odnotowano w woj. łódzkim, które znacząco odstawało od innych województw (13,9% hospitalizowanych przypadków w porównaniu do 8,2% w drugim pod względem odsetka hospitalizacji woj. dolnośląskim).

Niezmienne najwyższa zapadalność dotyczyła wschodniej części Polski (województwo podlaskie, lubelskie, warmińsko-mazurskie), jednak warto również wspomnieć o województwach: małopolskim – 79,8 na 100 tys., pomorskim – 62,8 na 100 tys. oraz opolskim – 63,1 na 100 tys., w których to zapadalność przekroczyła 60 osób na 100 tys. Obserwując zapadalność w poszczególnych województwach, można stwierdzić, że powrót do poziomu sprzed pandemii jest nierównomierny (szczególnie w woj. podlaskim i warmińsko-mazurskim widoczne było wolniejsze wyrównywanie).

Nadal jedynymi środkami do ochrony przed boreliozą są środki przeciw kleszczom (repelenty, odpowiedni ubiór) oraz wczesne wykrywanie wkłutego kleszcza. Wynika to z braku szczepionki przeciwko boreliozie, która nadal jest w III fazie badań klinicznych. Ta eksperymentalna szczepionka wykorzystuje mechanizm ukierunkowany na białko A z zewnętrznej powierzchni (OspA) *Borrelia burgdorferi*. Blokowanie OspA hamuje zdolność bakterii do opuszczenia kleszcza i zakażenia ludzi. Szczepionka obejmuje sześć najczęstszych serotypów OspA występujących w gatunkach *Borrelia burgdorferi sensu lato*, które są powszechne w Ameryce Północnej i Europie. Silna odpowiedź immunologiczna i bezpieczeństwo w dotychczasowych badaniach dają nadzieję na przyszłość.

REFERENCES

1. Paradowska-Stankiewicz I, Zbrzeźniak J, Skufca J, Nagarajan A, Ochocka P, Pilz A, et. al. A Retrospective Database Study of Lyme Borreliosis Incidence in Poland from 2015 to 2019: A Public Health Concern. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2023 Apr; 23(4): 247-255. doi: 10.1089/vbz.2022.0049.
2. Cardenas-de la Garza JA, De la Cruz-Valadez E, Ocampo-Candiani J, Welsh O. Clinical spectrum of Lyme disease. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2019 Feb; 38(2): 201-208. doi: 10.1007/s10096-018-3417-1.
3. Infectious Diseases and Poisonings in Poland. Annals 2016-2022. Bulletins of the National Institute of Public Health – National Research Institute and Chief Sanitary Inspectorate: Warszawa, 2017-2023.
4. Definicje przypadków chorób zakaźnych na potrzeby nadzoru epidemiologicznego, Zakład Epidemiologii NIZP PZH-PIB, Available from: https://wwwold.pzh.gov.pl/oldpage/epimeld/inne/Def_PL2_6b.pdf
5. Zbrzeźniak J, Paradowska-Stankiewicz I. Lyme disease in Poland in 2021. *Przegl Epidemiol* 2023;77(3):381-386. Doi:10.32394/pe.77.34
6. Pfizer and Valneva Initiate Phase 3 Study of Lyme Disease Vaccine Candidate VLA15. <https://www.pfizer.com/news/press-release/press-release-detail/pfizer-and-valneva-initiate-phase-3-study-lyme-disease>

Jednak z powodu naruszeń Dobrej Praktyki Klinicznej (GCP) przerwano udział w badaniach znacznego odsetka uczestników w USA (6).

Received: 23.07.2024

Accepted for publication: 23.10.2024

Otrzymano: 23.07.2024 r.

Zaakceptowano do publikacji: 23.10.2024 r.

Address for correspondence:

Adres do korespondencji:

Jakub Maciej Zbrzeźniak

Zakład Epidemiologii Chorób Zakaźnych i Nadzoru,
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – PIB,
ul. Chocimska 24, 00-791 Warszawa

e-mail: jzbrzezniak@pzh.gov.pl

Jakub Maciej Zbrzeźniak, Iwona Paradowska-Stankiewicz

CHICKENPOX IN POLAND IN 2022*

OSPA WIETRZNA W POLSCE W 2022 ROKU*

National Institute of Public Health NIH – National Research Institute
Department of Epidemiology of Infectious Diseases and Surveillance
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Epidemiologii Chorób Zakaźnych i Nadzoru

ABSTRACT

INTRODUCTION. Chickenpox is an infectious disease caused by the *Varicella zoster virus*, usually occurring in children. It is characterized by a rash with a rapid eruption of small red lumps. The disease is mild, but for people with weakened immunity it can be severe.

AIM OF THE STUDY. The aim of the study was to assess the epidemiological situation of chickenpox in Poland in 2022 compared to the situation in previous years.

MATERIAL AND METHODS. Data from epidemiological surveillance, including mandatory reporting of cases by physicians, were used to assess the epidemiological situation of chickenpox in Poland.

RESULTS. In 2022, 171 708 cases of chickenpox were recorded, of which 87.5% were children under 9 years old. Hospitalization due to chickenpox was not one of the most common, the percentage of hospitalized cases oscillated between 0.12% and 1.24% depending on the voivodeship. Analyzing the incidence for the whole of Poland for the last 10 years, we see a drastic decrease from 470.6 in 2019 to 186.6 in 2020 and another decrease in 2021 to 151.1 per 100 000, to then return to an incidence of 453.9 in 2022.

SUMMARY AND CONCLUSION. The incidence of chickenpox in 2022 returned to pre-pandemic levels, similar to those seen in 2016-2018. Despite preventive measures taken throughout the pandemic, significant incidence was observed, underlining the key role of vaccination in preventing this disease. The use of a quadrivalent vaccine against rubella, measles, mumps, and varicella could help reduce the costs associated with chickenpox, with a small increase in the costs of the vaccination program.

Keywords: chickenpox, epidemiology, Poland, 2022

STRESZCZENIE

WSTĘP. Ospa wietrzna to choroba zakaźna powodowana przez wirus *Varicella zoster*, z reguły występująca u dzieci. Charakteryzuje się wysypką z szybkim wysiewem małych czerwonych grudek. Przebieg choroby jest łagodny, jednak w przypadku osób z obniżoną odpornością może być on ciężki.

CEL PRACY. Celem pracy jest ocena sytuacji epidemiologicznej ospy wietrznej w Polsce w 2022 r. w porównaniu do sytuacji w ubiegłych latach.

MATERIAŁ I METODY. Do przeprowadzenia oceny sytuacji epidemiologicznej ospy wietrznej w Polsce wykorzystano dane z rutynowego nadzoru epidemiologicznego, obejmującego obowiązkowe zgłaszanie zachorowań przez lekarzy.

WYNIKI. W 2022 roku zarejestrowano 171 708 przypadków ospy wietrznej, z czego 87,5% dotyczyło dzieci do 9 roku życia. Hospitalizacja z powodu ospy wietrznej nie należała do najczęstszych, odsetek hospitalizowanych przypadków oscylował w zależności od województwa w granicach 0,12% – 1,24%. Analizując zapadalność dla całej Polski za ostatnie 10 lat, widzimy drastyczny spadek z poziomu 470,6 w 2019 do 186,6 w 2020 oraz następny spadek w roku 2021 do 151,1 na 100 000, żeby następnie powrócić do zapadalności na poziomie 453,9 w 2022 roku.

* The work was carried out as part of task No. BE-1/2024 / Praca została wykonana w ramach zadania nr BE-1/2024

PODSUMOWANIE I WNIOSKI. Wskaźnik zapadalności na ospę wietrzną w 2022 roku powrócił do poziomu sprzed pandemii, zbliżonego do wskaźnika występującego w latach 2016-2018. Pomimo środków zapobiegawczych stosowanych przez czas pandemii, obserwowano znaczącą zapadalność, co podkreśla kluczową rolę szczepień w zapobieganiu tej chorobie. Zastosowanie czterowalentnej szczepionki przeciwko różyczce, odrze, śwince i ospie wietrznej mogłoby przyczynić się do zmniejszenia kosztów związanych z ospą wietrzną, przy niewielkim wzroście kosztów programu szczepień.

Słowa kluczowe: ospa wietrzna, epidemiologia, Polska, 2022

INTRODUCTION

Chickenpox is an infectious disease caused by the *Varicella zoster virus*, usually occurring in children. It is characterized by a rash with a rapid eruption of small red papules. The eruptions initially appear on the torso, then on the face and scalp. The rash can also appear on the mucous membranes of the oral cavity and nasopharynx. Less frequently in other places (mucous membranes of the larynx, trachea, anus or vagina, on the cornea or conjunctiva). The papules quickly turn into clear, oval vesicles, which eventually dry into scabs. Falling off scabs can leave small scars. On the other hand, lesions on the mucous membranes turn into painful ulcers. The vesicles are accompanied by intense itching. The eruption occurs for 2-5 days, after about 4-7 days the lesions dry into scabs, which usually fall off on the 20th day of the disease. Chickenpox is transmitted mainly through direct contact with respiratory droplets or fluid from blisters from an infected person (1).

The course of the disease is mild, but it can be severe in immunocompromised individuals. In the case of shingles, we are talking about reactivation of a latent viral infection, in which the virus replicates (2). It is worth mentioning that in adolescents and adults, the disease can proceed with significant severity of symptoms. The most common complications include bacterial superinfection of chickenpox lesions causing secondary purulent skin infection, pneumonia (viral and bacterial), aseptic encephalitis with cerebellar ataxia, and Reye's syndrome (3). In Poland, between 2006 and 2021, 25 804 cases required hospitalization due to complications and 52 deaths were recorded due to chickenpox complications (4), while the total number of hospitalizations due to chickenpox was significantly higher. In addition, 23 432 hospitalizations were recorded for shingles in the years 2012-2021 (5). Despite its typically mild course, chickenpox is associated with significant costs for the healthcare system.

Chickenpox is a disease with a very high and wide viral reproduction rate of 3.3 to 16.9 (6). This means that one patient infects on average 3 to almost 17 people, which means that it spreads more easily than

WSTĘP

Ospa wietrzna to choroba zakaźna powodowana przez wirus *Varicella zoster*, z reguły występująca u dzieci. Charakteryzuje się wysypką z szybkim wysiewem małych czerwonych grudek. Wykwity początkowo występują na tułowie, następnie na twarzy oraz owłosionej skórze głowy. Wysypka może także pojawić się na śluzówkach jamy ustnej i nosowo-gardłowej. Rzadziej w innych miejscach (śluzówki krtani, tchawicy, odbytu czy pochwy, na rogówce czy spojówkach). Grudki szybko zmieniają się w przejrzyste, owalne pęcherzyki, które z czasem zasychają w strupy. Odpadające strupy mogą pozostawiać drobne blizny. Natomiast zmiany na śluzówkach przemieniają się w bolesne owrzodzenia. Pęcherzykom towarzyszy nasilony świąd. Wysiewy występują przez 2-5 dni, po około 4-7 dniach zmiany wysychają w strupki, które odpadają zazwyczaj 20 dnia choroby. Przenoszenie ospy wietrznej odbywa się głównie poprzez bezpośredni kontakt z kropelkami oddechowymi lub płynem z pęcherzy od zakażonej osoby (1).

Przebieg choroby jest łagodny, jednak w przypadku osób z obniżoną odpornością może być on ciężki. W przypadku półpaśca mówimy o reaktywacji utajonego zakażenia wirusem, w którym dochodzi do replikacji wirusa (2). Warto wspomnieć, że u młodzieży i osób dorosłych choroba może przebiegać ze znacznym nasileniem objawów. Najczęstsze powikłania dotyczą m.in. bakteryjnego nadkażenia zmian ospy wietrznej powodujące wtórne ropne zakażenie skóry, zapalenie płuc (wirusowe jak i bakteryjne), aseptyczne zapalenie mózgu z ataksją mózdzkową oraz zespół Reye'a (3). W Polsce w latach 2006-2021 25 804 przypadków wymagało hospitalizacji z powodu powikłań i odnotowano 52 zgony z powodu powikłań ospy wietrznej (4), natomiast całkowita liczba hospitalizacji z powodu ospy wietrznej była znacząco wyższa. Dodatkowo w latach 2012-2021 odnotowano 23 432 hospitalizacje z powodu półpaśca (5). Pomimo typowo łagodnego przebiegu ospa wietrzna wiąże się więc z istotnymi kosztami dla systemu ochrony zdrowia.

Ospa wietrzna jest chorobą o bardzo wysokim i szerokim wskaźniku reprodukcji wirusa na poziomie od 3,3 do 16,9 (6). Oznacza to, że jeden chory średnio

the influenza virus or the SARS-CoV-2 virus, and similarly to measles, where the viral reproduction rate is 12-18 (7).

AIM OF THE STUDY

The aim of the study was to assess the epidemiological situation of chickenpox in Poland in 2022 compared to the situation in previous years (8).

MATERIAL AND METHODS

The comparative analysis and epidemiological assessment of the occurrence of chickenpox were carried out using data submitted to NIPH NIH – NRI by the voivodeship sanitary and epidemiological stations and published in the bulletin “Infectious diseases and poisonings in Poland in 2022” and in the bulletin “Vaccinations in Poland in 2022” (9,10).

RESULTS

In 2022, 171 708 cases of chickenpox were registered, of which 87.5% concerned children up to 9 years old (Table I and Table II). This is an almost 3-fold (297.75%) increase compared to the previous year. However, compared to the median from 2016-2020, the increase was only 6.85%. In more than half of the voivodeships, the incidence was higher than the average for the whole of Poland. This concerned the following voivodeships: Kujawsko-Pomorskie, Lubelskie, Lubuskie, Opolskie, Podlaskie, Pomorskie, Śląskie, Wielkopolskie and Zachodniopomorskie. The lowest incidence was recorded in the Dolnośląskie voivodeship, which was the only voivodeship not to exceed the incidence of 300 per 100 000 (Table I).

The percentage of cases requiring hospitalization ranged between 0.12% and 1.24% in the voivodeships. The lowest percentage of hospitalizations was recorded in the Opolskie (0.12%), Śląskie (0.15%) and Lubuskie (0.2%) voivodeships. The highest percentage was recorded in the Podlaskie voivodeship and amounted to 1.24%, it was the only voivodeship that exceeded 1% of hospitalizations, despite not the highest incidence. The fact that the highest incidence was recorded (617.1 per 100 000) in the voivodeship, where the percentage of hospitalizations is one of the lowest (0.2% of hospitalizations) is intriguing. Such differences usually indicate a different completeness of reporting depending on the area. That may also result from differences in voivodeships in the level of vaccination in age groups.

In terms of seasonality, cases in Q1 and Q4 were between 38 000 and 40 000 cases, the peak in 2022 occurred in Q2 and amounted to almost 69 600. It is

zakaża od 3 do prawie 17 osób, czyli rozprzestrzenienia się łatwiej niż wirus grypy czy wirus SARS-CoV-2, oraz podobnie do odry, gdzie wskaźnik reprodukcji wirusa jest na poziomie 12-18 (7).

CEL PRACY

Celem pracy była ocena sytuacji epidemiologicznej ospy wietrznej w Polsce w 2022 r. w porównaniu do sytuacji w ubiegłych latach (8).

MATERIAŁ I METODY

Do przeprowadzenia analizy porównawczej i oceny epidemiologicznej występowania ospy wietrznej wykorzystano dane nadsyłane do NIZP PZH – PIB przez Wojewódzkie Stacje Sanitarно-Epidemiologiczne i publikowane w biuletynie „Choroby zakaźne i zatrucia w Polsce w 2022 roku” oraz w biuletynie „Szczepienia ochronne w Polsce w 2022 roku” (9,10).

WYNIKI

W 2022 roku zarejestrowano 171 708 przypadków ospy wietrznej, z czego 87,5% dotyczyło dzieci do 9 roku życia (Tab. I i II). Jest to widoczny prawie 3-krotny (297,75%) wzrost względem poprzedniego roku. Jednak w porównaniu do mediany z lat 2016-2020 wzrost wyniósł tylko 6,85%. W ponad połowie województw zapadalność była większa od średniej zapadalności dla Polski. Dotyczyło to województw: kujawsko-pomorskiego, lubelskiego, lubuskiego, opolskiego, podlaskiego, pomorskiego, śląskiego, wielkopolskiego oraz zachodniopomorskiego. Najniższą zapadalność odnotowano natomiast w województwie dolnośląskim, które jako jedyne nie przekroczyło zapadalności na poziomie 300 na 100 000 ludności (Tab. I).

Odsetek przypadków wymagających hospitalizacji oscylował w województwach w granicach 0,12% – 1,24%. Najniższy odsetek hospitalizacji odnotowano w województwie opolskim (0,12%) oraz śląskim (0,15%) i lubuskim (0,2%). Najwyższy odsetek odnotowano w województwie podlaskim – wynosił 1,24%, było to jedyne województwo które przekroczyło 1% hospitalizacji, pomimo nie najwyższej zapadalności. Zastanawiający jest fakt odnotowania najwyższej zapadalności (617,1 na 100 000) w województwie, gdzie odsetek hospitalizacji jest jednym z najniższych (0,2% hospitalizacji). Takie różnice zwykle wskazują na zróżnicowaną kompletność zgłaszalności w zależności od terenu. Mogą także wynikać z różnic wojewódzkich w poziomie zaszczepienia w grupach wieku.

Pod względem sezonowości, zachorowania w kwartałach Q1 oraz Q4 wyniosły w granicach 38 000-40 000 przypadków, szczyt zachorowań

Table I. Chickenpox. Number of cases and incidence per 100 000 population by voivodeships in 2022

Tabela I. Ospa wietrzna. Liczba zachorowań oraz zapadalność na 100 tys. wg województw w 2022 roku

Voivodeship	Median 2016-2020		2021		2022		Hospitalization	
	Cases	Incidence per 100 000	Cases	Incidence per 100 000	Cases	Incidence per 100 000	Number	%
POLAND	160707	418.2	57669	151.1	171708	453.9	839	0.49
Dolnośląskie	8638	297.9	2862	99.2	7683	265.7	52	0.68
Kujawsko-Pomorskie	9900	476.0	2998	145.9	9964	495.3	59	0.59
Lubelskie	7989	374.1	2829	135.6	10449	514.6	53	0.51
Lubuskie	4600	453.4	1150	114.6	6064	617.1	12	0.20
Łódzkie	8109	329.6	2957	121.8	8019	336.1	74	0.92
Małopolskie	15031	445.2	4860	142.6	15427	449.9	89	0.58
Mazowieckie	25006	465.4	7435	137.2	22996	417.2	116	0.50
Opolskie	4722	479.7	1591	163.5	4840	512.1	6	0.12
Podkarpackie	6925	325.3	2606	123.2	6476	311.1	27	0.42
Podlaskie	3933	332.6	2278	194.8	5392	470.6	67	1.24
Pomorskie	10617	457.7	3885	165.6	11277	478.2	88	0.78
Śląskie	22855	502.0	9651	215.8	25671	588.8	38	0.15
Świętokrzyskie	4568	367.1	1851	152.0	4835	409.0	27	0.56
Warmińsko-Mazurskie	4851	338.1	1758	124.6	5806	423.8	23	0.40
Wielkopolskie	15224	437.8	6443	184.5	18972	542.6	84	0.44
Zachodniopomorskie	6459	378.0	2515	149.5	7837	476.4	24	0.31

Table II. Chickenpox in Poland in 2021-2022. Number of cases, incidence per 100,000 population and percentage in age groups

Tabela II. Ospa wietrzna w Polsce w latach 2021-2022. Liczba zachorowań, zapadalność na 100 000 ludności i udział procentowy wg wieku

Age in years	2021			2022		
	Cases	Incidence per 100 000	%	Cases	Incidence per 100 000	%
POLAND	57669	151.1	100.0	171708	453.9	100.0
0-4	28958	1542.9	50.2	77836	4306.0	45.3
0	2026	598.5	3.5	5316	1678.4	3.1
1	3766	1035.0	6.5	10013	2929.2	5.8
2	4899	1285.2	8.5	13407	3699.0	7.8
3	8510	2143.7	14.8	22248	5791.7	13.0
4	9757	2462.1	16.9	26852	6671.6	15.6
5-9	23093	1211.6	40.0	72528	3687.6	42.2
5	8604	2260.2	14.9	25684	6360.1	15.0
6	7027	1869.4	12.2	20515	5235.6	11.9
7	3669	979.7	6.4	12471	3202.5	7.3
8	2259	593.0	3.9	8234	2124.1	4.8
9	1534	389.4	2.7	5624	1427.2	3.3
10-14	2823	136.2	4.9	12025	575.8	7.0
15-19	474	26.3	0.8	1909	105.9	1.1
20-29	808	18.8	1.4	2596	63.6	1.5
30-39	951	15.9	1.6	3180	54.4	1.8
40+	562	2.8	1.0	1634	8.1	1.0

worth noting the decrease to less than 24 500 cases (a 64.9% decrease) in Q3. Compared to the previous year, the only similarity in seasonality is the decrease in the number of cases between Q2 and Q3, which in 2021 was not as noticeable as in 2022. In 2021, the decrease in the number of cases between Q2 and Q3 was 44.9% (Table III).

The overall incidence of chickenpox in Poland is around 400 cases per 100 000, which can be seen when comparing the incidence for the whole of Poland over the last 10 years (the average incidence for the years 2013-2022 is 404.8) (Table IV).

However, when analyzing the graph presenting the incidence for the whole of Poland over the last 10 years, we see a drastic decrease from 470.6 in 2019 to 186.6 in 2020 and to 151.1 per 100 000 in 2021. The incidence rate returned to the pre-pandemic level in 2022, reaching 453.9 per 100 000. This means that in 2020, only 39.6% of the incidence from the previous year was recorded, and 96.4% when comparing 2019 to 2022. Additionally, when comparing the incidence in individual provinces, in each one, a sudden decrease in incidence can be noted in 2020 and a sudden rebound to the level of 2019 in 2022. (Fig. I).

62 301 vaccinations were performed as part of the mandatory vaccinations of people exposed in 2022, while 61 135 recommended vaccinations were

w 2022 wystąpił w kwartale Q2 i wyniósł prawie 69 600. Warto zwrócić uwagę na spadek do poziomu niecałych 24 500 przypadków (spadek o 64,9%) w Q3. W porównaniu do roku poprzedniego jedynym podobieństwem w sezonowości jest jedynie spadek liczby przypadków pomiędzy kwartałami Q2 a Q3, który w 2021 r. nie był jednak tak zauważalny jak w 2022 r. W 2021 roku spadek liczby przypadków pomiędzy Q2, a Q3 wyniósł 44,9% (Tab. III).

Ogólna zapadalność na ospę wietrzną w Polsce oscyluje około 400 przypadków na 100 000, co można zauważyć przy zestawieniu zapadalności dla całej Polski z 10 ostatnich lat (średnia zapadalność za lata 2013-2022 wynosi 404,8) (Tab. IV).

Natomiast analizując wykres przedstawiający zapadalność dla całej Polski za ostatnie 10 lat, widzimy drastyczny spadek z poziomu 470,6 w 2019 do 186,6 w 2020 r. oraz do 151,1 na 100 000 w 2021 r. Wskaźnik zapadalności powrócił do poziomu sprzed pandemii w 2022 r. osiągając wartość 453,9 na 100 000 ludności. Oznacza to, że w roku 2020 odnotowano jedynie 39,6% zapadalności z roku poprzedniego, a 96,4% porównując rok 2019 do roku 2022. Dodatkowo, porównując zapadalność w poszczególnych województwach, w każdym można odnotować nagły spadek zapadalności w 2020 oraz nagłe odbicie do poziomu z roku 2019 w 2022 r. (Ryc. I).

Table III. Chickenpox. Number of cases and incidence per 100 000 population by voivodeships in quarters of 2022

Tabela III. Ospa wietrzna. Liczba zachorowań oraz zapadalność na 100 tys.wg województw i kwartałów 2022 roku

Voivodeship		Number of incident cases in quarters				Number of incident cases	Incidence per 100 000
		I	II	III	IV		
Poland	2021	15091	11475	6327	24776	57669	151.1
	2022	38074	69587	24436	39611	171708	453.9
Dolnośląskie		1 451	3006	1125	2101	7683	265.7
Kujawsko-Pomorskie		1645	3145	1305	3869	9964	495.3
Lubelskie		2066	4485	1722	2176	10449	514.6
Lubuskie		1230	2434	954	1446	6064	617.1
Łódzkie		2469	2972	1008	1570	8019	336.1
Małopolskie		3524	6676	2253	2974	15427	449.9
Mazowieckie		5807	8922	3627	4640	22996	417.2
Opolskie		731	1265	547	2297	4840	512.1
Podkarpackie		1656	2681	961	1178	6476	311.1
Podlaskie		1266	2187	583	1356	5392	470.6
Pomorskie		2597	4756	1516	2408	11277	478.2
Śląskie		6832	11094	3016	4729	25671	588.8
Świętokrzyskie		1241	2026	506	1062	4835	409.0
Warmińsko-Mazurskie		982	2760	782	1282	5806	423.8
Wielkopolskie		3084	7899	3105	4884	18972	542.6
Zachodniopomorskie		1493	3279	1426	1639	7837	476.4

Table IV. Chickenpox. Incidence per 100 000 population by voivodeships in 2013-2022

Tabela IV. Ospa wietrzna. Zapadalność na 100 tys. mieszkańców wg województw w latach 2013-2022

Voivodeship	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Poland	463.6	575.9	487.9	418.2	450.8	389.4	470.6	186.6	151.1	453.9
Dolnośląskie	291.6	464.4	358.7	330.9	324.6	267.5	297.9	123.2	99.2	265.7
Kujawsko-Pomorskie	604.0	675.8	619.3	430.3	542.9	476.0	478.9	263.5	145.9	495.3
Lubelskie	461.3	415.8	426.6	374.1	424.0	360.9	500.0	183.6	135.6	514.6
Lubuskie	435.5	907.9	458.5	453.4	527.2	389.4	454.1	137.3	114.6	617.1
Łódzkie	416.9	390.6	416.8	368.5	385.9	280.2	329.6	177.9	121.8	336.1
Małopolskie	549.5	571.7	477.3	445.2	480.5	426.9	518.6	219.8	142.6	449.9
Mazowieckie	516.7	663.4	555.3	472.9	465.4	387.1	514.1	193.1	137.2	417.2
Opolskie	505.1	630.7	369.9	457.1	601.0	500.5	479.7	234.2	163.5	512.1
Podkarpackie	303.0	290.0	278.9	259.3	346.5	325.3	427.4	132.0	123.2	311.1
Podlaskie	308.1	448.0	381.9	315.6	350.9	332.6	401.1	168.2	194.8	470.6
Pomorskie	484.7	564.8	585.5	444.2	457.7	502.0	514.6	190.9	165.6	478.2
Śląskie	546.0	763.2	494.7	542.9	502.0	447.4	555.8	242.6	215.8	588.8
Świętokrzyskie	447.4	566.4	575.7	340.5	488.5	367.1	436.8	118.5	152.0	409.0
Warmińsko-Mazurskie	301.9	515.1	512.1	360.2	338.1	328.1	467.9	155.6	124.6	423.8
Wielkopolskie	529.0	637.2	575.3	437.8	551.0	411.1	504.8	166.2	184.5	542.6
Zachodniopomorskie	390.8	513.6	546.1	378.0	358.3	386.8	463.6	175.1	149.5	476.4

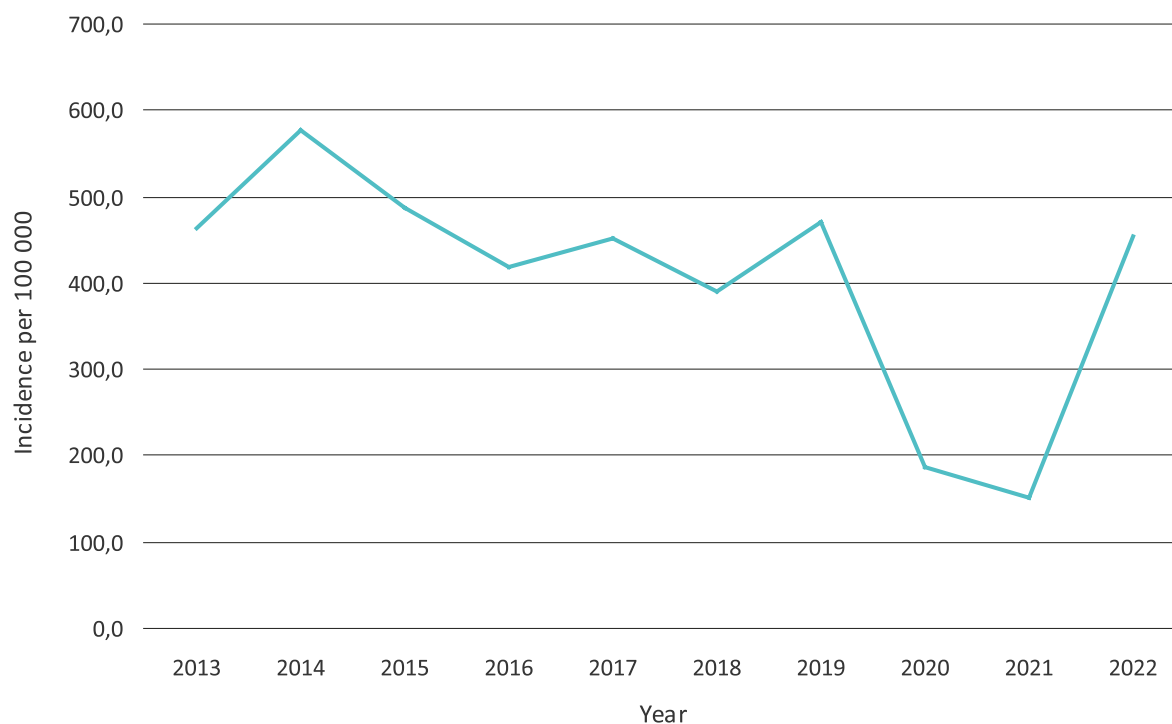


Fig. 1 Chickenpox. Incidence per 100 000 population by years

Ryc. 1 Ospa wietrzna. Zapadalność na 100 tys. mieszkańców w latach

performed, giving a total of 123 436. Vaccinations against chickenpox mainly concern children and adolescents up to 19 years old (95.3% of vaccinations performed). The total number of mandatory vaccinations and the number of recommended vaccinations were very similar (60 000 each), however, in the case of people over 19 years old we can see

Wykonano 62 301 szczepień w ramach szczepień obowiązkowych osób narażonych w 2022 roku, natomiast zalecanych wykonano 61 135, co daje łącznie 123 436. Szczepienia przeciwko ospie wietrznej głównie dotyczą dzieci i młodzieży do 19 r.ż. (95,3% wykonanych szczepień). Liczba ogółem szczepień obowiązkowych oraz liczba szczepień zalecanych była do

a significant advantage in the number of recommended vaccinations (in the range of 2500-3000 in adults) over the number of mandatory vaccinations (in the range of 250-350 in adults) (10).

SUMMARY AND CONCLUSION

The incidence rate of chickenpox in 2022 returned to pre-pandemic levels, similar to the rate in 2016-2018. Such a sudden decrease from over 400 cases per 100 000 people in 2019 to less than 200 per 100 000 in 2020, and the maintenance of this level for another year, and then a sudden increase again to over 400 cases, shows results of the pandemic. It is noteworthy that from 2014 to 2019 there was a mild decrease in cases. The question remains whether, after returning to the incidence rate from 2019, we should expect a further downward trend or continued increases in incidence related to the accumulation of susceptible people in the population. Data from European countries that have introduced vaccination against chickenpox into the vaccination schedule have not shown significant increases after the pandemic (11-13), although a relatively higher incidence was observed in the English study in the group of infants under 1 year old (12). In Poland, vaccination against chickenpox is still the recommended vaccination, with a relatively low percentage of vaccinated children, so the risk of a compensatory epidemic may be higher.

Despite the rigorous preventive measures used during the pandemic, chickenpox was still able to spread effectively. This indicates the need to introduce vaccination against chickenpox into the vaccination schedule.

Along with vaccinations, it is worth remembering about chickenpox prophylaxis, because to a large extent, the prevention of infectious diseases, apart from vaccinations, consists of personal hygiene, isolation of patients, and the use of personal protective equipment. Appropriate prophylaxis, together with a vaccination rate of at least 90%, contributes to avoiding complications in the exposed population (14). Vaccination against chickenpox is the most effective method for controlling the incidence of this disease. As found in studies conducted by the Department of Pediatrics and Adolescent Medicine in Denmark, in European countries where vaccination has been introduced at a national or regional level, it has led to a rapid decrease in the incidence of chickenpox and the number of hospitalizations due to this disease (15). Of course, we are talking about vaccination of children, due to the fact that a significant proportion of chickenpox cases concern children up to 9 years old.

Vaccination with the quadrivalent vaccine against rubella, measles, mumps and varicella used in the

siebie bardzo zbliżona (po 60 000), jednak w przypadku osób powyżej 19 r.ż. możemy zauważyć znaczną przewagę w przypadku liczby szczepień zalecanych (w granicach 2 500-3 000 u osób dorosłych) nad liczbą szczepień obowiązkowych (w granicach 250-350 u osób dorosłych) (10).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wskaźnik zapadalności na ospę wietrzną w 2022 r. powrócił do poziomu sprzed pandemii, zbliżonego do wartości wskaźnika w latach 2016-2018. Nagły spadek z ponad 400 zachorowań na 100 000 osób w 2019 do niecałych 200 na 100 000 w 2020 oraz utrzymanie się tego poziomu przez kolejny rok, a następnie nagły wzrost znów do ponad 400 zachorowań przedstawia ślad jaki pozostawiła pandemia. Zwraca uwagę, że od roku 2014 do 2019 roku odnotowano łagodny spadek zachorowań. Pozostaje więc pytanie, czy po powrocie do zapadalności z 2019 należy spodziewać się dalszej tendencji spadkowej, czy nadal wzrostów zapadalności związanych z nagromadzeniem osób wrażliwych w populacji. Dane z krajów europejskich, w których wprowadzono szczepienia przeciwko ospie wietrznej do kalendarza szczepień nie pokazały istotnych wzrostów po pandemii (11-13), choć w badaniu angielskim zaobserwowano stosunkowo wyższą zapadalność w grupie niemowląt poniżej 1 roku życia (12). W Polsce szczepienie przeciwko ospie wietrznej jest nadal szczepieniem zalecanym, ze stosunkowo niskim odsetkiem zaszczepionych dzieci, więc ryzyko epidemii wyrównawczej może być większe.

Pomimo rygorystycznych środków zapobiegawczych stosowanych przez czas pandemii, nadal ospa wietrzna była w stanie skutecznie się rozprzestrzeniać. Świadczy to o konieczności wprowadzenia szczepienia przeciwko ospie wietrznej do kalendarza szczepień.

Wraz ze szczepieniami warto pamiętać o profilaktyce przeciwko ospie, ponieważ w dużej mierze profilaktyka chorób zakaźnych, poza szczepieniami, polega na dbaniu o higienę osobistą, izolacji chorych czy stosowaniu środków ochrony osobistej. Odpowiednia profilaktyka wraz z poziomem zaszczepienia sięgającym minimum 90% przyczynia się do uniknięcia komplikacji u populacji narażonej (14). Szczepienia przeciw ospie wietrznej są najskuteczniejszą metodą kontroli zapadalności na tę chorobę. Jak stwierdzono w badaniach prowadzonych przez Katedrę Pediatrii i Medycyny Młodzieżowej w Danii, w krajach europejskich, w których wprowadzono szczepienia na szczeblu krajowym lub regionalnym, doprowadziły one do szybkiego spadku zachorowań na ospę wietrzną i liczby hospitalizacji z powodu tej choroby (15). Mowa oczywiście o szczepieniach dzieci, z uwagi na

United States of America is worth considering. This vaccine is characterized by good tolerance, and as found by a team of researchers from France, routine vaccination would contribute to reducing the costs associated with chickenpox (15). On the other hand, since combined vaccination against measles, mumps and rubella is routinely used in Poland, this would allow for optimizing the costs of introducing vaccination against chickenpox in this formula.

REFERENCES

1. Stefanoff P, Ospa wietrzna i półpasiec [w:] Magdzik W, Naruszewicz-Lesiuk D, Zieliński A, Choroby zakaźne i pasożytnicze – epidemiologia i profilaktyka, Bielsko-Biała, wydanie VI, p. 221-225
2. Gershon AA, Breuer J, Cohen JI, Cohrs RJ, Gershon MD, Gilden D, et. al. Varicella zoster virus infection, *Nature Reviews Disease Primers* 2015 Jul 2;1:15016. doi:10.1038/nrdp.2015.16.
3. Głuchowska M, Paradowska-Stankiewicz I. Chickenpox in Poland in 2010. *Przegl Epidemiol.* 2012;66(2):205-209.
4. Halik R, Paradowska-Stankiewicz I, Trochonowicz A, Dittmer S. Burden of chickenpox complications in Poland, 2006 to 2021: A comprehensive registry-based study. *Euro Surveill.* 2024 Feb;29(9):2300355. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2024.29.9.2300355.
5. Rząd M, Kanecki K, Lewtak K, Tyszko P, Gorynski P, Nitsch-Osuch A. Hospitalizations of patients with herpes zoster in Poland during 2012-2021: A population-based study. *Vaccine.* 2024 Mar 19;42(8):1928-1933. doi: 10.1016/j.vaccine.2024.02.022.
6. Nardone A, de Ory F, Carton M, Cohen D, van Damme P, Davidkin I et. al. The comparative sero-epidemiology of varicella zoster virus in 11 countries in the European region. *Vaccine.* 2007;25(45):7866-72. doi: 10.1016/j.vaccine.2007.07.036.
7. Guerra FM, Bolotin S, Lim G, Heffernan J, Deeks SL, Li Y, et. al. The basic reproduction number (R0) of measles: a systematic review, *Lancet Infect Dis.* 2017;17(12):420-428, doi: 10.1016/S1473-3099(17)30307-9.
8. Bogusz J, Paradowska-Stankiewicz I. Chickenpox in Poland in 2021. *Przegl Epidemiol.* 2024 May 20;77(4):489-495. doi: 10.32394/pe.77.40.
9. Infectious diseases and poisonings in Poland in 2022. *Bulletin of the National Institute of Public Health – National Research Institute and Chief Sanitary Inspectorate: Warszawa, 2023.*
10. Vaccinations in Poland in 2022. *Bulletin of the National Institute of Public Health – National Research Institute and Chief Sanitary Inspectorate: Warszawa, 2023.*
11. Salo H, Perälä J, Hannila-Handelberg T, Sarvikivi E, Luomala O, Ollgren J, et. al. Decline in varicella cases contacting primary health care after introduction of varicella vaccination in Finland – A population-based register study. *Vaccine.* 2023 Oct 13;41(43):6535-6541. doi: 10.1016/j.vaccine.2023.09.024.
12. Bardsley M, Loveridge P, Bednarska NG, Smith S, Morbey RA, Amirthalingam G, et. al. The Epidemiology of Chickenpox in England, 2016-2022: An Observational Study Using General Practitioner Consultations. *Viruses.* 2023 Oct 27;15(11):2163. doi: 10.3390/v15112163.
13. Moek F, Siedler A. Trends in age-specific varicella incidences following the introduction of the general recommendation for varicella immunization in Germany, 2006-2022. *BMC Public Health.* 2023 Nov 8;23(1):2191. doi: 10.1186/s12889-023-17098-1.
14. Presti CL, Curti C, Montana M, Bornet C, Vanelle P. Chickenpox: An update. *Med Mal Infect.* 2019 Feb;49(1):1-8. doi: 10.1016/j.medmal.2018.04.395.
15. Helmuth IG, Poulsen A, Suppli CH, Mølbak K. Varicella in Europe – A review of the epidemiology and experience with vaccination. *Vaccine.* 2015 May 15;33(21):2406-13. doi:10.1016/j.vaccine.2015.03.055.

Received: 23.07.2024

Accepted for publication: 08.11.2024

Otrzymano: 23.07.2024 r.

Zaakceptowano do druku: 08.11.2024 r.

Address for correspondence:

Adres do korespondencji:

Jakub Maciej Zbrzeźniak

Zakład Epidemiologii Chorób Zakaźnych i Nadzoru,
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – PIB,
ul. Chocimska 24, 00-791 Warszawa

e-mail: jzbrzezniak@pzh.gov.pl

Karolina Mrozowska-Nyckowska, Iwona Paradowska-Stankiewicz

MUMPS IN POLAND IN 2022*

ŚWINKA W POLSCE W 2022 ROKU*

National Institute of Public Health NIH – National Research Institute
Department of Epidemiology of Infectious Diseases and Surveillance
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Epidemiologii Chorób Zakaźnych i Nadzoru

ABSTRACT

INTRODUCTION. Mumps, also known as parotid gland inflammation, is a viral disease whose main source of infection is the sick person / infected person. It posed a serious public health threat in Poland before the introduction of compulsory vaccination. In 2003, Poland introduced the Measles, Mumps and Rubella (MMR) vaccination programme, which includes a two-dose vaccination against mumps for all children.

OBJECTIVE. The aim of this study was to assess the epidemiological situation of mumps in Poland in 2022 compared to previous years, including an analysis of the impact of the pandemic COVID-19.

MATERIAL AND METHODS. The analysis of the epidemiological situation of mumps in Poland in 2022 was based on the interpretation of data published in the annual bulletin: “Infectious diseases and poisonings in Poland in 2022” and “Vaccinations in Poland in 2022”.

RESULTS. In 2022, 922 cases of mumps were registered in Poland. This was a 90.5% increase in the number of cases compared to 2021, when 484 cases were recorded. The total incidence was 2.4/100 000 population, 84.6% higher than in 2021. The highest incidence of 3.4/100 000 inhabitants was registered in the Mazowieckie voivodeship, and the lowest incidence of 1.0/100 000 inhabitants was registered in the Dolnośląskie voivodeship, as in the previous year. The highest incidence (12.9/100 000) was recorded in children aged 0-4 and 5-9 years (16.1/100 000). The incidence in men (3.0/100 000) was higher than in women (1.9/100 000). In 2022, the number of hospitalizations for mumps in Poland was 20, an increase of 122.2% compared to 2021, when 9 people were hospitalized.

SUMMARY AND CONCLUSIONS. 2022 showed an overall upward trend in the number of recorded mumps cases. The decrease in the number of mumps cases in 2021 was a result of the ongoing COVID-19 pandemic. The restrictions introduced during the pandemic period contributed to a decrease in the number of cases of various droplet-transmitted diseases, including mumps. Still, the observed number of mumps cases in 2022 remains below the levels observed during the pre-pandemic COVID-19 period (2019).

Keywords: mumps, parotitis, epidemiology, Poland, 2022

STRESZCZENIE

WSTĘP. Świnka, znana również jako nagminne zapalenie ślinianek przyusznych, jest chorobą wirusową, której głównym źródłem zakażenia jest chory człowiek /osoba zakażona. Stanowiła poważne zagrożenie dla zdrowia publicznego w Polsce przed wprowadzeniem obowiązkowych szczepień. W 2003 roku Polska wprowadziła Program Szczepień Ochronnych obejmujący dwudawkowe szczepienie przeciwko śwince w ramach szczepionki MMR (przeciw odrze, śwince i różyczce) dla wszystkich dzieci.

CEL PRACY. Celem pracy była ocena epidemiologiczna występowania zachorowań na świnkę w Polsce w 2022 r. w porównaniu do lat wcześniejszych, z uwzględnieniem analizy wpływu pandemii COVID-19.

* The work was carried out as part of task No. BE-1/2024 / Praca została wykonana w ramach zadania nr BE-1/2024

MATERIAŁ I METODY. Analizę sytuacji epidemiologicznej świnki w Polsce w roku 2022 przeprowadzono na podstawie interpretacji danych publikowanych w biuletynie rocznym: „Choroby zakaźne i zatrucia w Polsce w 2022 r.” oraz „Szczepienia ochronne w Polsce w 2022 roku”.

WYNIKI. W 2022 r., zarejestrowano w Polsce 922 zachorowania na świnkę. Był to wzrost liczby zachorowań o 90,5% w porównaniu do 2021 r., kiedy odnotowano 484 zachorowań. Zapadalność ogółem wyniosła 2,4/100 000 mieszkańców i była wyższa w porównaniu z rokiem 2021 o 84,6%. Najwyższą zapadalność 3,4/100 000 mieszkańców zarejestrowano w województwie mazowieckim, a najniższą jak w roku poprzednim – 1,0/100 000 mieszkańców w woj. dolnośląskim. Najwyższą zapadalność (12,9/100 000) odnotowano u dzieci w wieku 0-4 oraz 5-9 lat (16,1/100 000). Zapadalność mężczyzn (3,0/100 000) była wyższa niż kobiet (1,9/100 000). W 2022 roku w Polsce liczba hospitalizacji z powodu świnki wyniosła 20, co stanowi wzrost o 122,2% w porównaniu do 2021 roku, kiedy to hospitalizowano 9 osób.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI. W 2022 roku wykazano ogólną tendencję wzrostową liczby rejestrowanych przypadków świnki. Spadek liczby zachorowań na świnkę w 2021 roku był wynikiem trwającej pandemii COVID-19. Obostrzenia wprowadzone w okresie pandemii przyczyniły się do zmniejszenia liczby zachorowań na różne choroby przenoszone drogą kropelkową, w tym również na świnkę. Nadal jednak obserwowana liczba zachorowań na świnkę w 2022 roku pozostaje poniżej poziomów obserwowanych w okresie przed pandemią COVID-19 (2019 r.).

Słowa kluczowe: *świnka, nagminne zapalenie przyusznic, epidemiologia, Polska, 2022 rok*

INTRODUCTION

Mumps (Epidemic parotitis) is a viral infectious disease that can be prevented by vaccination. The source of infection is the sick person/infected person. The infection is spread by the droplet route or through contact with objects that have been contaminated with the throat secretions of the sick person. Mumps usually presents with a headache, fever, fatigue and malaise, followed by the classic hallmark of the disease – salivary gland inflammation. Although the disease is usually mild, in some cases meningitis, testicular inflammation sometimes leading to infertility, pancreatitis, less commonly arthritis, myocarditis or inflammation of the auditory nerve, which can lead to permanent deafness, can occur (1). Thanks to widespread vaccination, the incidence of mumps has decreased significantly.

Mandatory mumps vaccination was introduced in Poland in 2003 (2,3). In countries without mumps vaccination programmes, many children and adolescents contract the disease every year. In most European countries, vaccination of children against mumps has been carried out since the 1980s, most often with a vaccine combined with the measles and rubella vaccine (MMR). Between 2014 and 2018, the total number of mumps cases in the 28 EU/EEA countries ranged from 11 069 to 14 795 per year, with an incidence of 2.7 to 3.4 per 100 000 population (4).

In 2022, according to the ECDC mumps incidence report, the 27 EU/EEA countries reported a total of 2 593 mumps cases (incidence 0.7/100 000) of which 1 089 (42%) were confirmed (the remainder were classified as probable (14%) or possible (44%). The incidence was slightly higher than in 2021,

WSTĘP

Świnka (nagminne zapalenie ślinianek przyusznych) jest wirusową chorobą zakaźną, której można zapobiegać poprzez szczepienie. Źródłem zakażenia jest chory człowiek/osoba zakażona. Infekcja szerzy się drogą kropelkową lub poprzez kontakt z przedmiotami, które zostały zanieczyszczone wydzieliną z gardła chorej osoby. Świnka zwykle objawia się bólem głowy, gorączką, zmęczeniem i złym samopoczuciem, po których następuje klasyczna cecha charakterystyczna choroby – zapalenie ślinianek. Chociaż choroba zazwyczaj przebiega łagodnie, w niektórych przypadkach może dojść do zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych, zapalenia jąder prowadzącego czasami do bezpłodności, zapalenia trzustki, rzadziej zapalenia stawów, mięśnia sercowego lub nerwu słuchowego, co może prowadzić do trwałej głuchoty (1). Dzięki powszechnym szczepieniom częstość występowania świnki znacznie spadła.

Obowiązek szczepień przeciw śwince wprowadzono w Polsce w 2003 roku (2,3). W krajach bez programów szczepień przeciw śwince, każdego roku wiele dzieci i młodzież choruje na tę chorobę. W większości państw europejskich szczepienia dzieci przeciw śwince są prowadzone od lat 80., najczęściej szczepionką skojarzoną ze szczepionką chroniącą przed odrą i różyczką (MMR). W latach 2014-2018 łączna liczba zachorowań na świnkę w 28 krajach EU/EEA wahała się od 11 069 do 14 795 rocznie, a zapadalność od 2,7 do 3,4 na 100 000 ludności (4).

W 2022 roku według raportu ECDC dotyczącego zachorowań na świnkę, 27 krajów UE/EOG zgłosiło łącznie 2 593 przypadków zachorowań na świnkę (zapadalność 0,7/100 000) w tym 1089 (42%) potwier-

but significantly lower than in the previous three years (range 1.7/100 000–4.2/100 000). In 2021, the incidence was 0.4/100 000. Variable incidence trends were observed in European countries between 2014 and 2018, with cyclical increases every 3–5 years. In 2022, a renewed increase was noted, however, the number of cases was still lower than before the pandemic.

As in 2021, 68% of all cases in 2022 were reported in 3 EU countries – Italy, Poland and Spain. However, the authors of the 2022 mumps cases report emphasise that all cases reported in Poland meet only the definition of a possible case, based on clinical criteria. The ECDC notes that the observed decrease in 2021 may have been a result of the COVID-19 pandemic (2020–2021). At that time, there was a significant reduction in the sensitivity of epidemiological surveillance for most infectious diseases, and the incidence of droplet-transmitted diseases was also influenced by the large-scale sanitary restrictions introduced. The observed increase in the incidence of mumps in 2022 is a result of the lifting of sanitary restrictions, which has contributed to a greater spread of droplet-transmitted diseases, including mumps.

Compared to previous years, there has been a shift in incidence to younger age groups – in 2022, the median age of mumps patients was 10 years, whereas in previous years it ranged between 13 and 21 years (5). This shift in the age of cases has also been observed in Poland, indicating a possible change in the dynamics of virus spread in younger age groups.

OBJECTIVE

The aim of this study was to assess the epidemiological situation of mumps in Poland in 2022 compared to the situation in previous years, taking into account the impact of the COVID-19 pandemic.

MATERIAL AND METHODS

The assessment of the epidemiological situation was based on a review of data from the bulletin “Infectious diseases and poisonings in Poland in 2022” (7), and the assessment of the immunization status of the population was based on data from the bulletin “Vaccinations in Poland in 2022” (8). Case classification was done based on the definition used in the 2022 surveillance (9). Individual data on mumps cases registered by the PSSE in the “EpiBase” system were also used.

dzonych (pozostałe zaklasyfikowano jako przypadki prawdopodobne (14%) lub możliwe (44%). Zapadalność była nieco wyższa niż w 2021 roku, ale znacznie niższa niż w poprzednich trzech latach (zakres 1,7–4,2/100 000). W 2021 roku zapadalność wynosiła 0,4/100 000. W krajach europejskich obserwowano w latach 2014–2018 zmienne tendencje zachorowań, w tym cykliczne wzrosty co 3–5 lat. W 2022 roku zauważono ponowny wzrost, jednakże liczba przypadków była nadal niższa niż przed pandemią.

Podobnie jak w 2021 roku, w 2022 roku 68% wszystkich przypadków odnotowano w 3 krajach UE – we Włoszech, Polsce i w Hiszpanii. Autorzy raportu dotyczącego zachorowań na świnkę w 2022 roku podkreślają jednak, że wszystkie zachorowania zgłoszone w Polsce spełniają jedynie definicję przypadku możliwego, opartą na kryteriach klinicznych. ECDC zwraca uwagę, iż obserwowany spadek w 2021 roku mógł być wynikiem pandemii COVID-19 (lata 2020–2021). Odnotowano wówczas istotne zmniejszenie czułości nadzoru epidemiologicznego nad większością chorób zakaźnych, wpływ na częstość występowania chorób przenoszonych drogą kropelkową miały również wprowadzone na szeroką skalę restrykcje sanitarne. Zaobserwowany wzrost liczby zachorowań na świnkę w 2022 roku jest rezultatem zniesienia restrykcji sanitarnych, co przyczyniło się do większego rozprzestrzeniania się chorób przenoszonych drogą kropelkową, w tym świnkę.

W porównaniu z poprzednimi latami odnotowano przesunięcie zachorowań na młodsze grupy wiekowe – w 2022 mediana wieku chorych na świnkę wyniosła 10 lat, natomiast w latach poprzednich wahała się między 13 a 21 lat (5). To przesunięcie wieku zachorowań zostało również zaobserwowane w Polsce, co wskazuje na możliwe zmiany w dynamice rozprzestrzeniania się wirusa w młodszych grupach wiekowych.

CEL PRACY

Celem pracy była ocena sytuacji epidemiologicznej świnki w Polsce w 2022 r. w porównaniu do sytuacji w latach poprzednich, z uwzględnieniem wpływu pandemii COVID-19.

MATERIAŁ I METODY

Ocenę sytuacji epidemiologicznej przeprowadzono w oparciu o przegląd danych z biuletynu „Choroby zakaźne i zatrucia w Polsce w 2022 roku” (7), zaś oceny stanu uodpornienia populacji dokonano na podstawie danych z biuletynu „Szczepienia Ochronne w Polsce w 2022 roku” (8). Klasyfikacji przypadków dokonano w oparciu o definicję stosowaną w nadzorze w 2022 r. (9). Wykorzystane zostały również dane indywidualne

RESULTS

In 2022, 922 cases of mumps were registered in Poland, an increase of 438 cases compared to 2021. The total incidence was 2.4/100 000 population, 84.6% higher than in 2021. In 2022, the highest incidence was recorded, as in the previous year, in the Mazowieckie voivodeship (187 cases), where the highest incidence of 3.4/100 000 was also recorded. The lowest incidence was recorded in the Dolnośląskie voivodeship 1.0/100 000. The lowest

o zachorowaniach na świnkę zarejestrowanych przez PSSE w systemie „EpiBaza”.

WYNIKI

W 2022 roku w Polsce zarejestrowano 922 zachorowania na świnkę, co stanowi wzrost o 438 przypadków w porównaniu z rokiem 2021. Zapadalność ogółem wyniosła 2,4/100 000 mieszkańców i była wyższa o 84,6% w porównaniu z 2021 r. W 2022 r. najczęściej zachorowań odnotowano, podobnie jak w poprzednim

Table I. Mumps in Poland 2015-2022. Number of cases and incidence per 100 000 population by voivodeship
Tabela I. Świnka w Polsce w latach 2015-2022. Liczba zachorowań i zapadalność na 100 000 ludności wg województw

Voivodeship	Median 2015-2019		2019		2020		2021		2022	
	Number	Incidence per 100 000	Number	Incidence per 100 000	Number	Incidence per 100 000	Number	Incidence per 100 000	Number	Incidence per 100 000
POLAND	1 678	4.3	1 338	3.5	582	1.5	484	1.3	922	2.4
1. Dolnośląskie	99	3.4	78	2.7	21	0.7	19	0.7	29	1
2. Kujawsko-Pomorskie	92	4.4	73	3.5	41	2	24	1.2	30	1.5
3. Lubelskie	92	4.3	72	3.4	19	0.9	19	0.9	67	3.3
4. Lubuskie	49	4.8	42	4.1	19	1.9	9	0.9	24	2.4
5. Łódzkie	84	3.4	78	3.2	25	1	17	0.7	40	1.7
6. Małopolskie	187	5.5	130	3.8	66	1.9	35	1	103	3
7. Mazowieckie	212	3.9	204	3.8	105	1.9	83	1.5	187	3.4
8. Opolskie	46	4.6	45	4.6	15	1.5	14	1.4	15	1.6
9. Podkarpackie	93	4.4	53	2.5	26	1.2	31	1.5	31	1.5
10. Podlaskie	63	5.3	46	3.9	18	1.5	17	1.5	26	2.3
11. Pomorskie	123	5.3	95	4.1	33	1.4	43	1.8	68	2.9
12. Śląskie	204	4.6	173	3.8	71	1.6	71	1.6	140	3.2
13. Świętokrzyskie	37	3	33	2.7	24	2	18	1.5	36	3
14. Warmińsko-Mazurskie	46	3.3	42	2.9	17	1.2	13	0.9	18	1.3
15. Wielkopolskie	149	4.3	97	2.8	49	1.4	49	1.4	60	1.7
16. Zachodniopomorskie	86	5	77	4.5	33	1.9	22	1.3	48	2.9

incidence was recorded in the Opolskie voivodeship (15 cases). Compared to 2021, the number of cases increased in most provinces (Table I). The highest number of mumps cases was registered in the second quarter of 2022 (306 cases), the lowest in the first quarter (154 cases).

As in previous years, in 2022, the highest number of cases was registered among children and adolescents aged up to 14 years – 690. The incidence of children in the age group 0-4 and 5-9 years prevailed – a total of 550 cases, accounting for 56% of the total number of cases (Table II). Since 2003, when compulsory mumps vaccination was introduced, there has been a noticeable downward trend in the incidence of mumps in all age groups.

In 2022, men were more likely to be ill (541 cases, incidence 3.0/100 000) than women (381 cases, incidence 1.9/100 000). The incidence of mumps in urban areas (566 cases; 2.5/100 000) was higher than in rural areas (356; 2.3/100 000). The lowest incidence was in cities with a population between 50 000 and 99 000. The incidence in age groups taking into account the environment of residence did not differ significantly, the greatest difference was observed among 4-year-old children – the incidence in the city was higher than that in the countryside (26.5/100 000 vs. 18.9/100 000). The highest incidence was

roku, w województwie mazowieckim (187 przypadków), gdzie również zarejestrowano najwyższą zapadalność 3,4/100 000. Najniższą zapadalność odnotowano w woj. dolnośląskim – 1,0/100 000. Najmniej zachorowań zarejestrowano w województwie opolskim (15 zachorowań). W porównaniu do 2021 roku, liczba przypadków zwiększyła się w większości województw (Tab. I). Najwięcej zachorowań na świnkę zarejestrowano w II kwartale 2022 r. (306 zachorowań), najmniej w I kwartale 154 zachorowań).

Podobnie jak w latach ubiegłych, w 2022 r. najwięcej zachorowań zarejestrowano wśród dzieci i młodzieży w wieku do 14 lat – 690. Przeważały zachorowania dzieci w grupie wieku 0-4 oraz 5-9 lat – łącznie 550 przypadków, co stanowi 56% ogólnej liczby zachorowań (Tab. II). Od 2003 roku, gdy wprowadzono obowiązkowe szczepienia przeciwko śwince, zauważalna jest tendencja spadkowa zapadalności na świnkę we wszystkich grupach wieku.

W 2022 r. częściej chorowali mężczyźni (541 zachorowań, zapadalność 3,0/100 000) niż kobiety (381 przypadków, zapadalność 1,9/100 000). Zapadalność na świnkę w miastach (566 przypadków; 2,5/100 000) była wyższa niż na wsi (356; 2,3/100 000). Najniższą zapadalność odnotowano w miastach liczących pomiędzy 50 a 99 000 mieszkańców. Zapadalność w grupach wieku z uwzględnieniem środowiska zamieszkania

Table II. Mumps in Poland 2022. Number of cases, incidence per 100 000 population in age groups

Tabela II. Świnka w Polsce w latach 2019-2022 r. Zapadalność na 100 000 ludności wg grup wieku

Age (years)	2019		2020		2021		2022	
	Incidence per 100 000	%	Incidence per 100 000	%	Incidence per 100 000	%	Incidence per 100 000	%
0 - 4	15.5	22.1	5.7	18.6	6.4	25.0	12.9	9.4
0	1.6	0.4	1.1	0.7	2.1	1.4	0.9	0.3
1	6.1	1.8	1.3	0.9	3.8	2.9	7.6	1.3
2	15.0	4.4	5.8	4.0	5.8	4.5	10.5	2.1
3	2.3	6.9	5.8	4.0	9.6	7.9	19.0	3.8
4	30.7	8.6	13.9	9.1	10.1	8.3	23.1	5.3
5 - 9	23.0	33.9	7.4	24.6	6.4	25.2	16.1	6.7
5	27.0	7.5	6.7	4.8	7.6	6.0	26.7	3.0
6	32.3	9.2	8.9	4.3	6.4	5.0	16.3	1.5
7	20.6	6.1	8.4	5.8	9.1	7.0	17.2	1.8
8	22.9	7.0	8.5	5.7	5.8	4.5	10.8	1.0
9	13.2	4.2	5.7	4.0	3.3	2.7	9.1	0.8
10 - 14	11.1	16.4	5.9	20.6	4.6	19.6	6.7	5.3
15 - 19	5.3	7.2	2.8	8.8	2.3	8.7	3.3	1.8
20 - 29	2.2	7.5	1.1	8.3	1.3	3.6	1.3	1.0
30 - 39	1.2	5.4	0.9	9.0	0.6	5.6	1.0	0.8
40+	0.5	7.3	0.3	10.3	0.3	5.9	0.3	0.1
Total	3.5	100.0	1.5	100.0	1.3	100.0	2.4	100.0

registered in the second and third quarters of the year – June and July (101 and 113 cases, respectively). In 2022, 20 people were hospitalised due to mumps (11 more than in 2021). Among the patients, 234 unvaccinated persons were recorded, 519 persons were vaccinated and there was no information on the vaccination status of 169 persons.

Impact of the COVID-19 pandemic on the mumps epidemiological situation in 2022. As of 16 May 2022, the epidemic state in Poland was lifted. At the same time, a state of epidemic emergency was introduced.

In 2022, the number of cases of mumps in Poland was 922, which was 45.1% less than the median of the pre-pandemic years (2015-2019), which was 1 678 cases per year. It was also 31.1% less than the 2019 median of 1 338 cases. However, compared to the pandemic years of 2020 and 2021, there was a marked increase in the number of cases in 2022. The observed increase in the number of mumps cases in 2022 was a result of the lifting of sanitary restrictions, strictures, and the wearing of masks, which contributed to a greater spread of droplet-transmitted diseases, including mumps. Compared to 2020, when 582 cases were registered, the number increased by 58.4% in 2022. Compared to 2021, when 484 cases were recorded, the increase was 90.5% (6).

In 2022, there was an increase in the incidence of mumps (by 84.6% compared to 2021), but still the observed incidence of mumps in 2022 remains below the levels observed in the period before the COVID-19 pandemic (2019). The highest incidence rates in 2022 were recorded in the voivodeships of Mazowieckie (3.4/100 000), Śląskie (3.2/100 000), Małopolskie (3.0/100 000) and Zachodniopomorskie (2.9/100 000). Compared to 2021, the increase in incidence was particularly noticeable in the voivodeships of Lubelskie (from 0.9/100 000 to 3.3/100 000), Mazowieckie (from 1.5/100 000 to 3.4/100 000) and Śląskie (from 1.6/100 000 to 3.2/100 000). Compared to the average incidence in EU/EEA countries, which was 0.7/100 000, Poland continued to have a high incidence. In comparison, Poland also had a high mumps incidence of 1.3/100 000 in 2021, ranking second among EU/EEA countries behind Ireland (2.2 /100 000) (5). In pre-pandemic years, the average incidence was 4.3/100 000, while in 2019 it was 3.5/100 000. In 2022, the incidence was lower (2.4/100 000) compared to pre-pandemic years. It is noteworthy that during the COVID-19 pandemic, particularly in 2020 and 2021, the incidence dropped significantly to 1.5 and 1.3 per 100 000, respectively. This was due to the introduction of strict preventive measures, such as wearing masks, closing schools and kindergartens and limiting social contact, which significantly reduced the transmission of the virus (6).

nie różniła się znacząco, największą różnicę obserwowano wśród dzieci 4-letnich – zapadalność w mieście była wyższa niż zapadalność we wsi (26,5/100 000 vs. 18,9/100 000). Najwięcej zachorowań zarejestrowano w drugim i trzecim kwartale roku – w czerwcu i lipcu (odpowiednio 101 i 113 przypadków). W 2022 roku z powodu świnki hospitalizowano 20 osób (o 11 osób więcej niż w 2021 r.). Wśród chorych odnotowano 234 osoby niezaszczone, 519 osób było zaszczepionych oraz u 169 osób brak było informacji o stanie zaszczepienia.

Wpływ pandemii COVID-19 na sytuację epidemiologiczną świnki w 2022 r. Z dniem 16 maja 2022 roku nastąpiło zniesienie stanu epidemii w Polsce. Jednocześnie wprowadzono stan zagrożenia epidemicznego.

W 2022 roku liczba zachorowań na świnkę w Polsce wyniosła 922, co stanowiło 45,1% mniej niż mediana z lat przedpandemicznych (2015-2019), która wynosiła 1 678 przypadków rocznie. Było to również 31,1% mniej niż w 2019 roku, kiedy to odnotowano 1 338 przypadków. Jednakże, w porównaniu do lat pandemicznych, czyli 2020 i 2021, w 2022 roku nastąpił wyraźny wzrost liczby zachorowań. Zaobserwowany wzrost liczby zachorowań na świnkę w 2022 roku był rezultatem zniesienia restrykcji sanitarnych, obostrzeń, noszenia maseczek, co przyczyniło się do większego rozprzestrzeniania się chorób przenoszonych drogą kropelkową, w tym świnkę. W porównaniu do 2020 roku, kiedy zarejestrowano 582 przypadki, w 2022 roku liczba ta wzrosła o 58,4%. W stosunku do 2021 roku, w którym odnotowano 484 przypadki zachorowań, wzrost wyniósł 90,5% (6).

W 2022 roku, odnotowano wzrost zapadalności na świnkę (o 84,6 % w stosunku do 2021 r), jednak nadal obserwowana liczba zachorowań na świnkę w 2022 roku, pozostaje poniżej poziomów obserwowanych w okresie przed pandemią COVID-19 (w 2019 r.). Najwyższe wskaźniki zapadalności w 2022 roku zanotowano w województwach: mazowieckim (3,4/100 000), śląskim (3,2/100 000), małopolskim (3,0/100 000) oraz zachodniopomorskim (2,9/100 000). W porównaniu do 2021 roku, wzrost zachorowań był szczególnie zauważalny w województwach lubelskim (z 0,9/100 000 do 3,3/100 000), mazowieckim (z 1,5/100 000 do 3,4/100 000) oraz śląskim (z 1,6/100 000 do 3,2/100 000). W porównaniu do średniej zapadalności w krajach EU/EEA, która wyniosła 0,7/100 000, Polska nadal utrzymywała się na wysokim poziomie zachorowań. Dla porównania, w 2021 roku Polska również odnotowała wysoką zapadalność na świnkę, wynoszącą 1,3/100 000, zajmując drugie miejsce wśród krajów EU/EEA za Irlandią (2,2/100 000) (5). W latach przedpandemicznych średnia zapadalność wynosiła 4,3/100 000, podczas gdy w 2019 roku wynosiła 3,5/100 000.

Mumps vaccination in 2022. Compulsory vaccination against mumps was introduced into the Immunization Calendar in 2003. The combined measles, mumps and rubella (MMR) vaccine is used for this purpose (1-3,9). According to the Immunization Programme, the vaccine is administered twice: the first dose in the second year of life (between 13 and 15 months) and, from 2019, the booster dose has been moved from 10 to 6 years of age. Children born in 2013 or earlier who have not received the second dose of the vaccine are included in the booster vaccination at age 10 (10).

In 2022, the vaccination status of children at 3 years of age against mumps in Poland was 90.9 per cent, a slight increase of 0.1 percentage points compared to 2021. This increase is significant given the challenges associated with the COVID-19 pandemic, which may have affected vaccination implementation (8). Significant variation was observed in mumps vaccination rates across voivodeships. The highest vaccination rate was observed in the Warmińsko-Mazurskie voivodeship, where up to 97.4% of children received the MMR vaccine. High results were also achieved in Podlaskie and Podkarpackie voivodeships, where the rate was 96.9%. In the Małopolskie voivodeship 96.8% of children were vaccinated, and in the Lubuskie voivodeship 96.4%. Such high rates may be the result of effective educational campaigns and good access to vaccination in these regions. On the other hand, the lowest mumps vaccination status was recorded in Opolskie voivodeship, where only 85.7% of children received the vaccination. Similarly low rates were recorded in Lubelskie (86.2%), Świętokrzyskie (86.7%), Łódzkie (87.0%) and Zachodniopomorskie (88.2%) voivodeships (8). There may be many reasons for such low rates, ranging from logistical problems to limited access to healthcare to lower levels of public awareness of the benefits of vaccination. Other voivodeship ranked between these extremes. For example, the Mazowieckie voivodeship achieved a vaccination rate of 90.9%, while the Śląskie voivodeship achieved 94.4% (8).

SUMMARY AND CONCLUSIONS

There was a significant increase in the number of mumps cases in 2022 compared to 2020 and 2021, when the COVID-19 pandemic and associated sanitary restrictions limited the spread of many infectious diseases, including mumps. The number of registered mumps cases increased to 922, an increase of 90.5% compared to the previous year. The incidence increased by 84.6%, reaching 2.4 per 100,000 population. The highest incidence was

W 2022 roku zapadalność była niższa (2,4/100 000) porównaniu do lat sprzed pandemii. Warto zauważyć, że podczas pandemii COVID-19, szczególnie w latach 2020 i 2021, zapadalność znacznie spadła do poziomu odpowiednio 1,5/100 000 i 1,3/100 000. Było to wynikiem wprowadzenia rygorystycznych środków zapobiegawczych, takich jak noszenie maseczek, zamknięcie szkół i przedszkoli oraz ograniczenie kontaktów społecznych, które znacząco zmniejszyły transmisję wirusa (6).

Szczepienia przeciw śwince w 2022 r. Obowiązek szczepienia przeciwko śwince został wprowadzony do Kalendarza Szczepień Ochronnych w 2003 roku. W tym celu stosuje się skojarzoną szczepionkę przeciwko odrze, śwince i różyczce (MMR) (1-3,9). Zgodnie z Programem Szczepień Ochronnych, szczepionkę podaje się dwukrotnie: pierwszą dawkę w drugim roku życia (między 13 a 15 miesiącem), a od 2019 roku dawkę przypominającą przesunięto z 10 na 6 rok życia. Dzieci urodzone w 2013 roku lub wcześniej, które nie otrzymały drugiej dawki szczepionki, są objęte przypominającym szczepieniem w wieku 10 lat (10).

W 2022 roku stan zaszczepienia dzieci w 3. roku życia przeciw śwince w Polsce wyniósł 90,9%, co oznacza niewielki wzrost o 0,1 punktu procentowego w porównaniu z rokiem 2021. Wzrost ten jest istotny, biorąc pod uwagę wyzwania związane z pandemią COVID-19, które mogły wpływać na realizację szczepień (8). Zaobserwowano znaczące zróżnicowanie w poziomie zaszczepienia przeciw śwince w poszczególnych województwach. Najwyższy wskaźnik zaszczepienia odnotowano w województwie warmińsko-mazurskim, gdzie aż 97,4% dzieci otrzymało szczepionkę MMR. Wysokie wyniki osiągnęły również województwa podlaskie i podkarpackie, gdzie wskaźnik wyniósł 96,9%. W województwie małopolskim zaszczepiono 96,8% dzieci, a w województwie lubuskim 96,4%. Tak wysokie wskaźniki mogą być rezultatem skutecznych kampanii edukacyjnych i dobrego dostępu do szczepień w tych regionach. Z drugiej strony, najniższy stan zaszczepienia przeciw śwince zanotowano w województwie opolskim, gdzie tylko 85,7% dzieci otrzymało szczepienie. Podobnie niskie wskaźniki odnotowano w województwach lubelskim (86,2%), świętokrzyskim (86,7%), łódzkim (87,0%) oraz zachodniopomorskim (88,2%) (8). Przyczyn tak niskich wskaźników może być wiele, od problemów logistycznych, przez ograniczony dostęp do opieki zdrowotnej, po niższy poziom świadomości społecznej dotyczącej korzyści ze szczepień. Pozostałe województwa plasowały się pomiędzy tymi skrajnymi wartościami. Na przykład województwo mazowieckie osiągnęło wskaźnik zaszczepienia na poziomie 90,9%, natomiast województwo śląskie 94,4% (8).

recorded in the Mazowieckie voivodeship, while the lowest incidence was registered in the Dolnośląskie voivodeship. In 2022, the most common incidence was in children aged 0-9 years and men. A similar shift of the peak incidence to younger age groups observed in Poland was also seen in Europe, where the median age of patients fell to 10 years in 2022. This phenomenon requires further monitoring and consideration in future epidemiological analyses and public health strategies.

There was a noticeable drop in vaccination rates below 90% in many voivodeships, which could explain the higher incidence rates in Poland compared to other European countries, where vaccination levels are usually higher. At the district level in Poland, there were areas where MMR (mumps, measles and rubella) vaccination levels were even lower than at the provincial level. This suggests that the problem of low vaccination may be more complex and region-specific, which may favour local mumps outbreaks (11). The low level of vaccination in some provinces may be one of the factors contributing to the higher incidence in Poland.

The higher incidence in Poland may also be due to the way cases are registered. In Poland, all possible cases based on clinical criteria are included, which may lead to a higher number of registered cases compared to other countries where stricter criteria, such as laboratory confirmation, are used. In this regard, it is worth referring to studies conducted in France that question the effectiveness of mumps case surveillance based solely on clinical data, without laboratory confirmation, especially in populations with high vaccination rates (12). These studies suggest that, in such cases, symptom-only reporting may not be sufficiently reliable and lead to an overestimation of the number of cases.

The analysis of the epidemiological situation showed that, despite the increase in the number of cases in 2022, it is still at a lower level than before the COVID-19 pandemic. This shows that the sanitary restrictions introduced during the pandemic, such as the wearing of masks and the closure of schools and kindergartens, had a significant impact on reducing mumps virus transmission. However, the lifting of these measures contributed to an increase in the number of cases, highlighting the importance of prevention and systematic monitoring of the epidemiological situation.

Migration of refugees from Ukraine may have contributed to the increased incidence of mumps in Poland due to the generally lower vaccination levels among Ukrainian migrants. The potential impact of this group on overall vaccination rates and mumps incidence in Poland should be considered, given the

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W 2022 roku w Polsce odnotowano znaczący wzrost liczby zachorowań na świnkę w porównaniu do roku 2020 i 2021, kiedy to pandemia COVID-19 i związane z nią restrykcje sanitarne ograniczyły rozprzestrzenianie się wielu chorób zakaźnych, w tym świnki. Liczba zarejestrowanych przypadków świnki wzrosła do 922, co stanowiło wzrost o 90,5% w porównaniu z rokiem poprzednim. Zapadalność wzrosła o 84,6%, osiągając poziom 2,4/100000 ludności. Najwięcej zachorowań odnotowano w województwie mazowieckim, podczas gdy najniższą zapadalność zarejestrowano w województwie dolnośląskim. W 2022 roku najczęstsze zachorowania dotyczyły dzieci w wieku 0-9 lat oraz mężczyzn. Podobne przesunięcie szczytu zachorowań na młodsze grupy wiekowe jak obserwowane w Polsce, było widoczne również w Europie, gdzie mediana wieku chorych spadła do 10 lat w 2022 roku. To zjawisko wymaga dalszego monitorowania i uwzględnienia w przyszłych analizach epidemiologicznych oraz strategiach zdrowia publicznego.

Zauważalny był wyraźny spadek wskaźnika zaszczepienia poniżej 90% w wielu województwach, co mogło wyjaśniać wyższe wskaźniki zachorowań w Polsce w porównaniu do innych krajów europejskich, gdzie poziomy zaszczepienia są zazwyczaj wyższe. Na poziomie powiatów w Polsce istniały obszary, gdzie poziom zaszczepienia przeciwko MMR (świnie, odrze i różyczce) był jeszcze niższy niż na poziomie wojewódzkim. To sugeruje, że problem niskiego zaszczepienia może być bardziej złożony i dotyczyć konkretnych regionów, co może sprzyjać lokalnym wybuchom epidemii świnki (11). Niski poziom zaszczepienia w niektórych województwach może być jednym z czynników wpływających na wyższą liczbę zachorowań w Polsce.

Wyższa zapadalność w Polsce może również wynikać ze sposobu rejestracji przypadków. W Polsce uwzględnia się wszystkie przypadki możliwe, oparte na kryteriach klinicznych, co może prowadzić do wyższej liczby zarejestrowanych zachorowań w porównaniu do innych krajów, gdzie stosuje się bardziej rygorystyczne kryteria, takie jak potwierdzenie laboratoryjne. W związku z tym warto odnieść się do badań prowadzonych we Francji, które poddają w wątpliwość skuteczność nadzoru nad przypadkami świnki opartymi wyłącznie na danych klinicznych, bez potwierdzenia laboratoryjnego, zwłaszcza w populacjach o wysokim poziomie wyszczepienia (12). Badania te sugerują, że w takich przypadkach zgłaszalność tylko na podstawie objawów może nie być wystarczająco wiarygodna i prowadzić do przeszacowania liczby zachorowań.

results of studies on the immune status of migrants and their vaccination beliefs (13-15).

REFERENCES

1. Baumann-Popczyk A, Sadkowska-Todys M, Zieliński A. Infectious and parasitic diseases – epidemiology and prevention. Bielsko-Biała: α-medica press, 2014.
2. Ordinance of the Minister of Health of 19 December 2002 on the list of mandatory immunizations and the rules for carrying out and documenting immunizations. Available from [cited 2023 Mai 03]: <https://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20022372018>.
3. Janaszek-Seydlitz W, Bucholt B, Wysokińska T, et al. [Prevalence of antibodies and vaccination against measles, mumps and rubella in Polish population]. *Przegl Epidemiol* 2003; 57(2):281-288.
4. European Centre for Disease Prevention and Control. Mumps. In: ECDC. Annual epidemiological report for 2018. Stockholm: ECDC; 2021.
5. European Centre for Disease Prevention and Control. Mumps. In: ECDC. Annual epidemiological report for 2022. Stockholm: ECDC; 2024.
6. Bogusz J, Paradowska-Stankiewicz I. Mumps in Poland in 2021. *Przegl Epidemiol* 2023; 77(4):476-481 <https://doi.org/10.32394/pe.77.38>.
7. Infectious diseases and poisonings in Poland in 2022. Bulletin of the National Institute of Public Health – National Research Institute and Chief Sanitary Inspectorate: Warszawa, 2023
8. Vaccinations in Poland in 2022. Bulletin of the National Institute of Public Health – National Research Institute and Chief Sanitary Inspectorate, Warszawa, 2023
9. Infectious diseases case definitions for epidemiological surveillance (67 definitions). Draft version (6b), February, 2020. Department of Epidemiology of Infectious Diseases and Surveillance, NIZP PZH – PIB
10. Communication of the Chief Sanitary Inspector of 28 October 2021 on the Immunization Programme for 2022 (Official Journal of the Minister of Health, item 90).
11. Samel-Kowalik P, Jankowski M, Tomaszewska A, Sobeczek K, Rakocy K, Samoliński BK, et al. A national registry-based study on uptake of the first dose of MMR vaccine in 380 administrative regions in Poland, 2013-2016-2020. *Ann Agric Environ Med*. 2024;31(1):65-71. doi: 10.26444/aaem/172887.
12. Prévot-Monsacré P, Hamaide-Defrocourt F, Guyonvarch O, Masse S, Souty C, Mamou T, et al. What is the relevancy of a surveillance of mumps without a systematic laboratory confirmation in highly immunized populations? *Epidemiology*

Analiza sytuacji epidemiologicznej wykazała, że mimo wzrostu liczby przypadków w 2022 roku, nadal utrzymuje się ona na niższym poziomie niż przed pandemią COVID-19. To pokazuje, że wprowadzone w czasie pandemii restrykcje sanitarne, takie jak noszenie maseczek, zamknięcie szkół i przedszkoli, miały istotny wpływ na zmniejszenie transmisji wirusa świnki. Zniesienie tych środków przyczyniło się jednak do zwiększenia liczby zachorowań, co podkreśla, jak istotne są działania prewencyjne i systematyczne monitorowanie sytuacji epidemiologicznej.

Migracja uchodźców z Ukrainy mogła przyczyniać się do wzrostu zapadalności na świnkę w Polsce ze względu na zazwyczaj niższy poziom zaszczepienia wśród ukraińskich migrantów. Należy uwzględnić potencjalny wpływ tej grupy na ogólny poziom zaszczepienia oraz zapadalność na świnkę w Polsce, biorąc pod uwagę wyniki badań nad statusem immunologicznym migrantów oraz ich przekonaniami dotyczącymi szczepień (13-15).

of suspected and biologically confirmed mumps cases seen in general practice in France between 2014 and 2020. *Vaccine*. 2024;42(5):1065-1070. doi: 10.1016/j.vaccine.2023.12.017.

13. Cherri Z, Lau K, Nellums LB, Himmels J, Deal A, McGuire E, et al. The immune status of migrant populations in Europe and implications for vaccine-preventable disease control: a systematic review and meta-analysis. *J Travel Med*. 2024;31(6):taae033. doi: 10.1093/jtm/taae033
14. Ganczak M, Bielecki K, Drozd-Dąbrowska M, Topczewska K, Biesiada D, Molas-Biesiada A, et al. Vaccination concerns, beliefs and practices among Ukrainian migrants in Poland: a qualitative study. *BMC Public Health*. 2021;21(1):93. doi: 10.1186/s12889-020-10105-9
15. Troiano G, Torchia G, Nardi A. Vaccine hesitancy among Ukrainian refugees. *J Prev Med Hyg*. 2022;63(4):E566-E572. doi: 10.15167/2421-4248/jpmh2022.63.4.2774

Received: 06.08.2024

Accepted for publication: 18.10.2024

Otrzymano: 06.08.2024 r.

Zaakceptowano do druku: 18.10.2024 r.

Address for correspondence:

Adres do korespondencji:

Iwona Paradowska-Stankiewicz

Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – PIB

Zakład Epidemiologii Chorób Zakaźnych i Nadzoru

ul. Chocimska 24, 00-791 Warszawa

tel.: + 48 22 54 21 286

e-mail: istankiewicz@pzh.gov.pl

INSTRUCTION FOR AUTHORS

PRINCIPLES FOR PREPARATION OF MANUSCRIPTS SUBMITTED FOR PUBLICATION IN PRZEGLĄD EPIDEMIOLOGICZNY – EPIDEMIOLOGICAL REVIEW

INSTRUKCJA DLA AUTORÓW

ZASADY PRZYGOTOWANIA MANUSKRYPTÓW KIEROWANYCH DO PUBLIKACJI W PRZEGLĄDZIE EPIDEMIOLOGICZNYM – EPIDEMIOLOGICAL REVIEW

1. General principles:

- The manuscript must be submitted via the Editorial System: <https://www.editorialsystem.com/epi/>
- The manuscript entered into the system is subjected to editorial review, after which the Editorial Team decides to accept the work and send it to two independent Reviewers, or to reject it. The Reviewers' comments serve to increase the scientific value of the work. The Author is obliged to respond to all Reviewers' comments or to justify their rejection.
- Amendments made to the article after review should be marked precisely, preferably in a different color or in the "track changes" mode.
- The Editorial Team reserves the right to reject the work at any stage, providing a justification for its decision.
- After receiving the decision to qualify the article for publication, the Authors are obliged to send the "License statement" to the Editorial Office. The document will be generated automatically by the system and requires the signature of the Corresponding Author..
- When preparing the manuscript for publication, the Editorial Team reserves the right to make minor editorial corrections, mainly related to the linguistic correction of the text, i.e. corrections of typos, sentence order or the format of the citation list.

2. Procedure for submitting works:

- To submit an article to Przegląd Epidemiologiczny – Epidemiological Review, log in/register in the Editorial System (hereinafter referred to as ES). To create an account, go to the ES website and click "Create a new account", then enter your e-mail address as the login, complete the form and enter the password. After logging in, click "Send new article" and follow the instructions displayed: select the type of article and the language in which

1. Zasady ogólne:

- Pracę należy złożyć przez Editorial System: <https://www.editorialsystem.com/epi/>
- Wprowadzony do systemu manuskrypt zostaje poddany ocenie redakcyjnej, po przeprowadzeniu której zespół redakcyjny decyduje o przyjęciu pracy i skierowaniu jej do dwóch niezależnych Recenzentów lub też o jej odrzuceniu. Uwagi Recenzentów służą podniesieniu wartości naukowej pracy. Autor jest zobowiązany odpowiedzieć na wszystkie uwagi recenzentów lub też uzasadnić ich odrzucenie.
- Poprawki wniesione do artykułu po recenzji powinny zostać dokładnie oznaczone, najlepiej innym kolorem lub w trybie „śledź zmiany”.
- Zespół redakcyjny zastrzega sobie prawo od odrzucenia pracy na dowolnym etapie, z podaniem uzasadnienia swojej decyzji.
- Podczas przygotowywania manuskryptu do publikacji zespół redakcyjny zastrzega sobie prawo do wprowadzania drobnych poprawek redakcyjnych, dotyczących głównie korekty językowej tekstu, tj.: korekt literówek, szyku zdania bądź formatu wykazu cytowań.

2. Procedura zgłaszania prac:

- Aby zgłosić pracę do Przeglądu Epidemiologicznego – Epidemiological Review należy załogować się/zarejestrować się w Editorial System (dalej ES). W celu utworzenia konta należy wejść na stronę Editorial System i kliknąć „Utwórz nowe konto”, a następnie jako login podać swój adres e-mail, wypełnić formularz i wprowadzić hasło. Po załogowaniu należy kliknąć w „Wyślij nowy artykuł” i postępować zgodnie z wyświetlanymi instrukcjami: wybrać typ artykułu oraz język w jakim przygotowana została jego treść. Określenie typu artykułu będzie miało znaczenie podczas dodawania streszczenia.

- its content was prepared. Specifying the article type will be important when adding an abstract.
- The summary in Polish and English should be identical and not exceed 300 words.
- In the case of review articles, the structure of the summary is arbitrary. In the case of original articles, the abstract should be divided into sections: INTRODUCTION, PURPOSE, MATERIAL AND METHODS, RESULTS AND CONCLUSIONS.
- The person submitting the text will be automatically considered the Corresponding Author, which means that all communication with the Editorial Office will be sent to the e-mail address of this person. The Corresponding Author can be changed when adding additional Authors of the article. In the case of Authors who already have an account in the system, simply provide their e-mail address and their data will be filled in automatically. Please include information on additional funding sources in the “Additional information” section.
- Authors have the option to provide suggested Reviewers. The Editorial Team is under no obligation to use these suggestions.
- The main text of the manuscript should be prepared in doc, docx, rtf, odt formats. Due to the principle of mutual anonymity of Reviewers and Authors, before adding the text, please make sure that it does not contain any data that could be used to identify the Authors. The Editors also allow adding tables (doc, docx, rtf, odt, xlsx formats) and figures (jpg, gif, tif, png, pdf, xlsx formats) in separate files with a mandatory signature in Polish and English versions.
- In the last step, the system will assign the article a number that can be used in contacts with the Editorial Office. After sending, the Corresponding Author will receive an automatic e-mail confirming the submission of the manuscript.
- Streszczenie w języku polskim i w języku angielskim powinno być tożsame i nie przekraczać 300 wyrazów.
- W przypadku prac poglądowych struktura streszczenia jest dowolna. W przypadku prac oryginalnych streszczenie należy podzielić na sekcje: WPROWADZENIE, CEL, MATERIAŁ I METODY, WYNIKI I WNIOSKI.
- Osoba składająca tekst zostanie automatycznie uznana za Autora korespondencyjnego, oznacza to, że cała komunikacja z Redakcją będzie przesyłana na adres e-mail tej osoby. Autora korespondencyjnego można zmienić przy dodawaniu kolejnych Autorów pracy. W przypadku Autorów, którzy już posiadają konto w systemie, wystarczy podać ich adres e-mail, a ich dane zostaną uzupełnione automatycznie. W sekcji „Dodatkowe informacje” należy umieścić informacje na temat dodatkowych źródeł finansowania.
- Autorzy mają możliwość podania sugerowanych Recenzentów. Zespół redakcyjny nie ma obowiązku z tych sugestii skorzystać.
- Tekst główny manuskryptu powinien zostać przygotowany w formatach doc, docx, rtf, odt. W związku z zasadą wzajemnej anonimowości Recenzentów i Autorów, prosimy aby przed dodaniem tekstu upewnić się, że nie zawiera on żadnych danych mogących posłużyć do identyfikacji Autorów. Redakcja dopuszcza również dodanie w oddzielnych plikach tabel (formaty doc, docx, rtf, odt, xlsx) oraz rycin (formaty: jpg, gif, tif, png, pdf, xlsx) wraz z obowiązkowym podpisem w wersji polskiej oraz angielskiej.
- W ostatnim kroku system nada artykułowi numer, którym można posługiwać się w kontaktach z Redakcją. Po wysłaniu, Autor korespondencyjny otrzyma automatycznego e-maila potwierdzającego złożenie pracy.

3. Editorial guidelines:

- The Editorial Office accepts papers in Polish and English versions. Polish-language Authors are obliged to provide an English-language version after reviews and editorial work. NOTE: The Editorial Office does not offer text translation services, you must prepare the English version yourself.
- The volume of submitted manuscripts, including all tables, figures and references, should not exceed 15 pages.
- Manuscripts sent to the Editorial Office should be written in Times New Roman font, size 12, with line spacing of 1.5.
- Redakcja przyjmuje prace w wersji polskiej i angielskiej. Autorzy polskojęzyczni mają obowiązek dostarczenia wersji anglojęzycznej po recenzjach i opracowaniu redakcyjnym. UWAGA: Redakcja nie oferuje usługi tłumaczenia tekstów, wersję anglojęzyczną należy przygotować we własnym zakresie.
- Objętość przysyłanych manuskryptów wraz ze wszystkimi tabelami, rycinami i piśmiennictwem nie powinna przekraczać 15 stron.
- Prace nadesłane do Redakcji powinny być pisane czcionką Times New Roman, rozmiar 12, z interlinią 1,5.

- **Summary and abstract:** should recapitulate the facts and conclusions contained in the article and should not exceed 300 words.
- **Keywords:** 3 to 5 in both language versions, should refer to the main topic of the article.
- The **introduction** of the article should discuss the justification for taking up the topic or the research undertaken in the original papers. The literature cited in the introduction should be limited only to items directly related to the content of the introduction. The introduction should not include the results or conclusions of the research conducted.
- **Material and methods** – for commonly known methods, references should be provided, including statistical methods in the article. For methods already published but generally unknown, provide a short description with references, and for new or significantly modified methods, provide their full description. Epidemiological studies should provide information about the study plan (protocol) covering the study population (age, gender and other important characteristics, e.g. living environment, vaccination history), randomization method or allocation to specific groups. If a form developed by another institution, e.g. WHO, was used for the study, the Author is obliged to obtain the consent of the above-mentioned institution to use the form, if required.
- **Results** should be presented in a logical sequence in the text, with possible reference to tables and figures. Data from tables and figures should not be repeated in the text, where only the most important information should be included.
- The **discussion** should highlight new or important aspects of the results and discuss their implications and limitations. The results of your own research should be assessed against the background of the literature used by the Authors. The detailed data presented in the previous parts of the article should not be repeated here.
- **Conclusions** can be specified in bullet points or presented briefly in descriptive form. Conclusions should be logically connected with the goals set in the article. You should avoid statements and conclusions that do not result from your own observation. Authors should avoid making statements about costs or benefits unless their paper includes economic data and analysis. If a hypothesis is proposed, it must be clearly stated that it is a hypothesis. Results should also not be included in applications.
- **References** – should be limited only to items quoted in the text and directly related to the topic of the articles. The number of cited items should not
- **Streszczenie i abstrakt:** powinno rekapitulować fakty i wnioski zawarte w pracy i nie przekraczać 300 wyrazów.
- **Słowa kluczowe:** w ilości od 3 do 5 w obu wersjach językowych, powinny odnosić się do głównego tematu artykułu.
- We **wstępie** pracy należy omówić uzasadnienie podjęcia tematu lub podjętych badań w pracach oryginalnych. Cytowane we wstępie piśmiennictwo należy ograniczyć tylko do pozycji mających bezpośredni związek z treścią wstępu. We wstępie nie należy podawać wyników ani wniosków z przeprowadzonych badań.
- **Materiał i metody** – dla powszechnie znanych metod należy podać pozycje piśmiennictwa, łącznie z metodami statystycznymi w pracy. Dla metod już opublikowanych, ale powszechnie nieznanymi, podać krótki opis z pozycjami piśmiennictwa, natomiast dla nowych lub istotnie zmodyfikowanych – podać ich pełny opis. W pracach epidemiologicznych należy podać informację o planie (protokole) badania obejmującym badaną populację (wiek, płeć i inne ważne cechy np. środowisko zamieszkania, historię szczepień ochronnych), metody randomizacji czy przydziału do poszczególnych grup. W przypadku, gdy do badania został użyty formularz opracowany przez inną instytucję, np. WHO, autor ma obowiązek uzyskać zgodę wyżej wymienionej instytucji na wykorzystanie formularza, jeśli taki jest wymóg.
- **Wyniki** należy podać w logicznej sekwencji w tekście, z ewentualnym odniesieniem do tabel i rycin. Danych z tabel i rycin nie należy powtarzać w tekście, gdzie powinny zostać zawarte tylko najważniejsze informacje.
- W **dyskusji** należy podkreślić nowe lub ważne aspekty wyników i omówić ich implikacje oraz podać ich ograniczenia. Wyniki badań własnych powinny być ocenione na tle piśmiennictwa wykorzystywanego przez autorów. Nie należy tutaj powtarzać szczegółowych danych przedstawionych w poprzednich częściach artykułu.
- **Wnioski** można sprecyzować w punktach lub przedstawić krótko w formie opisowej. Wnioski powinny łączyć się logicznie z celami postawionymi w pracy. Należy wystrzegać się stwierdzeń i wniosków niewynikających z własnej obserwacji. Autorzy powinni wystrzegać się stwierdzeń na temat kosztów lub korzyści, jeśli ich praca nie zawiera danych ekonomicznych i ich analizy. Jeśli proponuje się hipotezę, należy jasno podać, że jest to hipoteza. We wnioskach nie należy również zamieszczać wyników.

exceed 30, however, the Editorial Office reserves the right to agree to increase this number in the case of review papers. Items in the reference list should be arranged in accordance with the order they appear in the text. When citing publication in the text, only the ordinal number of the relevant publication in the reference list should be provided in round brackets. The position should also be given in tables or figure legends. Articles accepted for publication, but not yet published, should be marked as “in press”, and the Authors should obtain written consent to cite such article, as well as confirmation that the cited article has been accepted for publication. The current citation style in our journal is the Vancouver style, a description of which with examples can be found at: https://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

4. Review process:

- Przegląd Epidemiologiczny - Epidemiological Review uses the “double blind review” principle in the review procedure. This means full anonymity of the review, the Authors and Reviewers do not know each other’s identities. Therefore, we ask the Authors to pay special attention to ensuring that the manuscript is prepared in such a way as not to reveal the identity of the Authors. The Authors’ names and affiliations should be placed only in specially designated places in the ES and should not be repeated in the content of the article.
- All submitted articles undergo a preliminary assessment by the Editorial Office in terms of compliance with the topics and fields in which the journal specializes.
- Articles that meet the substantive and editorial criteria are then sent to two independent Reviewers who assess the scientific value of the paper.
- Reviews are prepared in an electronic review form available after accepting the invitation to review directly from the link in the e-mail or after logging in to your account in the ES.
- The duration of the review process is closely related to the availability of Reviewers and may be longer during holiday or holiday seasons or when the publication concerns a field with a limited number of specialists.
- Reviews (including Reviewer comments directly in the manuscript, if added) are sent to Authors. In the event of the Editorial Office’s decision on the possibility of publishing the work after making corrections or a major revision, the Editorial Office requires the Authors to refer to all comments submitted by the Reviewers and to precisely mark all corrections, changes and additions in the text,

- **Piśmiennictwo** – należy ograniczyć tylko do pozycji cytowanych w tekście i mających bezpośredni związek z tematem pracy. Liczba cytowanych pozycji nie powinna przekraczać 30, jednak Redakcja zastrzega sobie prawo do wyrażenia zgody na zwiększenie tej liczby w przypadku prac przeglądowych. Pozycje w wykazie piśmiennictwa powinny być ułożone zgodnie z ich kolejnością pojawiania się w tekście. Przy cytowaniu prac w tekście należy podać w okrągłych nawiasach tylko liczbę porządkową odnośnej publikacji w wykazie piśmiennictwa. Pozycję należy również podać w tabelach lub legendach rycin. Prace zaakceptowane do druku, ale jeszcze nieopublikowane, powinny być oznaczone jako „w druku”, a autorzy powinni uzyskać pisemną zgodę na zacytowanie takiej pracy, jak też potwierdzenie, że cytowana praca została zaakceptowana do druku. Obowiązującym stylem cytowania w naszym czasopiśmie jest styl Vancouver, którego opis wraz z przykładami można znaleźć na stronie: https://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

4. Proces recenzowania:

- W Przeglądzie Epidemiologicznym – Epidemiological Review w procedurze recenzowania stosowana jest zasada „double blind review”. Oznacza to pełną anonimowość recenzji, Autorzy i Recenzenci nie znają swoich tożsamości. W związku z tym zwracamy się do Autorów o zwrócenie szczególnej uwagi na to, aby manuskrypt został przygotowany w taki sposób, aby nie zdradzać tożsamości Autorów. Nazwiska i afiliacje Autorów należy umieścić tylko w specjalnie wyznaczonych do tego miejscach w Editorial System i nie powielać ich w treści artykułu.
- Wszystkie nadesłane prace przechodzą wstępną ocenę przez Redakcję pod kątem zgodności z tematyką i dziedzinami, w których specjalizuje się czasopismo.
- Artykuły spełniające kryteria merytoryczne i edytorskie są następnie przesyłane do dwóch niezależnych Recenzentów, którzy dokonują oceny wartości naukowej pracy.
- Recenzje sporządzane są w elektronicznym formularzu recenzji dostępnym po zaakceptowaniu zaproszenia do recenzji bezpośrednio z linku w mailu lub po zalogowaniu się do swojego konta w systemie redakcyjnym
- Długość trwania procesu recenzji jest ściśle powiązana z dostępnością recenzentów i może wydłużać się w czasie trwania sezonu urlopowego, świątecznego lub w przypadku, gdy publikacja dotyczy dziedziny o ograniczonej liczbie specjalistów.

- and if it is not possible to introduce a correction, to respond to the comment in a letter to the Reviewers.
- The revised article undergoes another editorial review, and then the Editorial Office makes the final decision regarding publication of the manuscript.
- The final publication date depends on the number of manuscripts waiting for publication.
- Recenzje (wraz z komentarzami recenzentów bezpośrednio w manuskrypcie, jeśli zostaną dodane) są przesyłane do autorów. W przypadku decyzji Redakcji o możliwości opublikowania pracy po dokonaniu poprawek lub dużej rewizji Redakcja wymaga, aby Autorzy odnieśli się do wszystkich uwag zgłoszonych przez Recenzentów i dokładnie oznaczyli w tekście wszystkie poprawki, zmiany i uzupełnienia, a w przypadku braku możliwości wprowadzenia poprawki, ustosunkowali się do uwagi w piśmie do recenzentów.
- Poprawiony artykuł przechodzi ponowną ocenę redakcyjną, a następnie Redakcja podejmuje ostateczną decyzję dotyczącą publikacji manuskryptu.
- Ostateczny termin publikacji jest uzależniony do liczby manuskryptów oczekujących na publikację.