



Michał Surdacki¹, Kornelia Stawińska²

Wpływ zanieczyszczenia powietrza na jamę ustną człowieka

The impact of air pollution on the human oral cavity

¹4. Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką SP ZOZ, Wrocław
4th Military Clinical Hospital, Wrocław, Poland

²SKN Wad Rozwojowych Twarzy przy Katedrze i Zakładzie Ortopedii Szczękowej i Ortodontcji, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu
Student Research Club of Facial Malformations at the Department of Maxillofacial Orthopaedics and Orthodontics, Wrocław Medical University, Poland

DOI: <http://dx.doi.org/10.20883/df.2024.5>

STRESZCZENIE

Zanieczyszczenie powietrza, wpływając negatywnie na różne układy organizmu człowieka, stanowi istotny problem zdrowotny na całym świecie. Chociaż wiele badań na temat wpływu zanieczyszczenia powietrza na zdrowie skoncentrowanych jest na jego skutkach dla układu oddechowego i sercowo-naczyniowego, coraz więcej dowodów wskazuje na jego wpływ na zdrowie jamy ustnej. Celem niniejszego artykułu jest analiza dostępnych badań naukowych z lat 2010–2023 dotyczących wpływu zanieczyszczenia powietrza na jamę ustną człowieka.

Wyniki badań potwierdziły związek między ekspozycją na zanieczyszczenia powietrza a występowaniem chorób jamy ustnej. Badania epidemiologiczne wskazują, że osoby mieszkające w regionach o wysokim poziomie zanieczyszczenia powietrza mają wyższe ryzyko rozwoju chorób przyzębia oraz próchnicy. Mechanizmy te mogą być związane z indukcją stresu oksydacyjnego oraz stanów zapalnych w tkankach jamy ustnej.

Z badań wynika, że zanieczyszczenie powietrza ma istotny wpływ na zdrowie jamy ustnej. W związku z tym działania mające na celu redukcję zanieczyszczeń powietrza mogą przyczynić się nie tylko do poprawy ogólnego stanu zdrowia populacji, ale także do zmniejszenia częstości występowania chorób jamy ustnej.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie powietrza, jama ustna, choroby przyzębia, próchnica zębów, nowotwory jamy ustnej.

ABSTRACT

Air pollution is a significant global health issue, negatively affecting various human body systems. While much research focuses on its impact on the respiratory and cardiovascular systems, increasing evidence suggests its effects on oral health. This article aims to analyze the available scientific studies from 2010 to 2023 regarding the influence of air pollution on human oral health.

The findings confirm a correlation between air pollution exposure and the occurrence of oral diseases. Epidemiological studies indicate that individuals living in regions with high levels of air pollution have a higher risk of developing periodontal diseases and dental caries. These mechanisms may be linked to the induction of oxidative stress and inflammation in oral tissues.

Available evidence suggests a significant impact of air pollution on oral health. Therefore, efforts to reduce air pollution could contribute not only to the overall improvement of public health but also to a decrease in the prevalence of oral diseases.

Keywords: air pollution, oral cavity, periodontal diseases, dental caries, oral cancers.

Wprowadzenie

Zanieczyszczenie powietrza stanowi jeden z najważniejszych problemów zdrowotnych współczesnego świata. Według Światowej Organizacji

Zdrowia (WHO) ponad 90% ludności świata oddycha powietrzem, które przekracza dopuszczalne normy zanieczyszczeń. Wpływ zanieczyszczeń powietrza na zdrowie człowieka jest wieloaspektowy,

obejmuje nie tylko choroby układu oddechowego i sercowo-naczyniowego, ale także schorzenia jamy ustnej. W ostatnich latach coraz więcej badań naukowych koncentruje się na wpływie zanieczyszczeń powietrza na rozwój patologicznych zmian w jamie ustnej: chorób przyzębia, próchnicy zębów, zapalenia dziąseł oraz nowotworów jamy ustnej. Niniejszy artykuł ma na celu omówienie patomechanizmów wpływu zanieczyszczeń powietrza na jamę ustną, ze szczególnym uwzględnieniem procesów molekularnych i genetycznych.

Metodyka

Dokonano przeglądu piśmiennictwa z lat 2010–2023, korzystając z baz danych, takich jak PubMed, Scopus oraz Web of Science. Wyszukiwano artykuły dotyczące wpływu zanieczyszczenia powietrza na zdrowie jamy ustnej, używając słów kluczowych: „zanieczyszczenie powietrza”, „jama ustna”, „zdrowie jamy ustnej”, „choroby przyzębia”, „próchnica” oraz ich odpowiedników w języku angielskim. Wyselekcjonowano badania spełniające kryteria włączenia, takie jak badania oryginalne, przeglądowe oraz metaanalizy.

Wyniki

Z piśmiennictwa wynika, że problem zanieczyszczenia powietrza coraz częściej staje się tematem dyskusji społecznych, jednak długoterminowe konsekwencje tego zjawiska są często niedoceniane. W analizie wpływu długotrwałej ekspozycji człowieka na zanieczyszczenia powietrza podkreśla się, że w kontekście postępującego starzenia się społeczeństw, liczba osób narażonych na negatywne skutki zanieczyszczeń będzie systematycznie wzrastać. Jednocześnie, dzięki rozwojowi medycyny, przewidywana długość życia również się wydłuża, co prowadzi do dłuższego okresu narażenia na wysokie stężenia szkodliwych substancji w powietrzu.

Termin „smog” pierwotnie odnosił się do połączenia dymu (ang. smoke) i mgły (ang. fog), jednak obecnie rola mgły w procesie powstawania zanieczyszczeń jest drugorzędna.

Wyróżnia się dwa główne typy smogu: smog siarkowy, zwany również londyńskim, który występuje w Polsce głównie w miesiącach zimowych, oraz smog fotochemiczny, znany jako smog typu Los Angeles. Pył zawieszony PM, często utożsamiany z zanieczyszczeniem powietrza, to drobne cząstki stałe lub ciekłe, które mogą absorbować substancje o udowodnionych właściwościach rakotwórczych, takie jak ołów, arsen, kadm, nikiel czy benzo[a]piren. Cząstki PM10 to pyły o średni-

cy nieprzekraczającej 10 mikrometrów, podczas gdy PM_{2,5} to cząstki o średnicy do 2,5 mikrometra. Szczególnie niebezpieczne są cząstki PM_{0,1}, których średnica wynosi poniżej 0,1 mikrometra, ponieważ są na tyle małe, że żadna naturalna bariera organizmu nie jest w stanie ich zatrzymać. Pył ten pełni rolę nośnika dla szkodliwych substancji, które mogą przedostawać się do krwiobiegu.

Zanieczyszczenia powietrza a choroby przyzębia

Choroby przyzębia, takie jak: gingivitis i periodontitis, są wynikiem przewlekłego stanu zapalnego wywołanego przez bakterie płytki nazębnej. Zanieczyszczenia powietrza, zwłaszcza pyły zawieszone (PM_{2.5} i PM₁₀), dwutlenek azotu (NO₂) oraz ozon (O₃), mogą nasilać ten proces poprzez indukcję stresu oksydacyjnego, zaburzenie równowagi mikrobiologicznej oraz modulację odpowiedzi immunologicznej. Pyły zawieszone, zwłaszcza PM_{2.5}, zawierają metale ciężkie, takie jak ołów, kadm i arsen, które generują reaktywne formy tlenu (ROS). ROS uszkadzają lipidy, białka i DNA komórek, prowadząc do apoptozy komórek nabłonka dziąseł i fibroblastów [1]. Badania wykazały, że ekspozycja na PM_{2.5} zwiększa ekspresję genów związanych z odpowiedzią zapalną, takich jak NF-κB i COX-2, co prowadzi do nasilenia stanu zapalnego w przyzębiu [2]. Dodatkowo ROS mogą uszkadzać kolagen, główny składnik macierzy zewnątrzkomórkowej dziąseł, co przyczynia się do utraty przyczepu łącznotkankowego i resorpcji kości wyrostka zębodołowego [3].

Zanieczyszczenia powietrza mogą również wpływać na skład mikroflory jamy ustnej, sprzyjając rozwojowi patogennych bakterii, takich jak *Porphyromonas gingivalis* i *Tannerella forsythia*. Badania wykazały, że ekspozycja na NO₂ i O₃ prowadzi do zmniejszenia różnorodności mikrobiologicznej jamy ustnej, co może przyczyniać się do rozwoju chorób przyzębia [4]. Zmniejszenie liczby korzystnych bakterii, takich jak *Streptococcus salivarius*, oraz zwiększenie liczby patogenów prowadzi do destabilizacji ekosystemu jamy ustnej, co sprzyja przewlekłym stanom zapalnym [5].

Zapalenie dziąseł jest wczesnym stadium choroby przyzębia, charakteryzującym się zaczerwienieniem, obrzękiem i krwawieniem dziąseł. Zanieczyszczenia powietrza, takie jak PM_{2.5} i NO₂, mogą nasilać zapalenie dziąseł poprzez aktywację komórek odpornościowych, takich jak makrofagi i neutrofile, które uwalniają cytokiny prozapalne, takie jak IL-1β, IL-6 i TNF-α [6]. Badania wykazały, że osoby mieszkające na obszarach o wysokim stężeniu

PM2.5 mają wyższe stężenie markerów zapalnych w ślinie, co koreluje z nasileniem zapalenia dziąseł [7].

Zanieczyszczenia powietrza a próchnica zębów

Próchnica zębów jest wynikiem demineralizacji tkanek zęba spowodowanej działaniem kwasów produkowanych przez bakterie płytki nazębnej. Zanieczyszczenia powietrza, takie jak dwutlenek siarki (SO₂) i tlenki azotu (NO_x), mogą wpływać na pH śliny, prowadząc do zwiększonej podatności na próchnicę. SO₂ rozpuszcza się w ślinie, tworząc kwas siarkowy, który obniża pH w jamie ustnej. Niskie pH sprzyja demineralizacji szkliwa i tworzeniu się ubytków próchnicowych [8]. Dodatkowo NO_x może reagować z wodą w ślinie, tworząc kwas azotowy, który przyczynia się do obniżenia pH w środowisku jamy ustnej [9]. Badania wykazały, że dzieci mieszkające na obszarach o wysokim stężeniu SO₂ mają wyższy wskaźnik próchnicy w porównaniu z dziećmi z obszarów o niższym poziomie tego zanieczyszczenia [10]. Zanieczyszczenia powietrza mogą również wpływać na skład mikroflory jamy ustnej, sprzyjając rozwojowi bakterii próchnicotwórczych, takich jak *Streptococcus mutans*. Badania wykazały, że ekspozycja na PM2.5 zwiększa ekspresję genów związanych z adhezją bakterii próchnicotwórczych i produkcją kwasów przez *Streptococcus mutans* [11]. Dodatkowo zanieczyszczenia powietrza mogą zmniejszać produkcję śliny, co prowadzi do suchości jamy ustnej (kserostomii) i zwiększonego ryzyka próchnicy [12].

Zanieczyszczenia powietrza a nowotwory jamy ustnej

Nowotwory jamy ustnej są poważnym problemem zdrowotnym, a ich występowanie może być związane z ekspozycją na szkodliwe substancje zawarte w powietrzu, takie jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH) – z ang. polycyclic aromatic hydrocarbons i metale ciężkie. PAH, takie jak benzo[a]piren, są metabolizowane w organizmie do reaktywnych metabolitów, które tworzą addukty z DNA, prowadząc do mutacji genetycznych. Badania wykazały, że ekspozycja na PAH zwiększa częstość mutacji w genach supresorowych, takich jak TP53, co może prowadzić do rozwoju nowotworów jamy ustnej [13]. Dodatkowo metale ciężkie, takie jak arsen i kadm, mogą indukować stres oksydacyjny, prowadząc do uszkodzenia DNA i zwiększonego ryzyka nowotworów [14]. Zanieczyszczenia powietrza mogą również wpływać na procesy naprawy DNA. Badania wykazały, że ekspozycja na PM2.5 zmniejsza aktywność enzymów

naprawczych, takich jak OGG1 i XRCC1, co prowadzi do akumulacji uszkodzeń DNA i zwiększonego ryzyka nowotworów [15]. Dodatkowo zanieczyszczenia powietrza mogą modulować ekspresję genów związanych z apoptozą, prowadząc do przeżycia komórek z uszkodzonym DNA i ich niekontrolowanego wzrostu [16]. Z kolei wyniki badań epidemiologicznych wskazują, że osoby narażone na wysokie stężenia PAH mają istotnie wyższe ryzyko zachorowania na raka jamy ustnej w porównaniu z osobami o niższej ekspozycji [17]. Mechanizmy te obejmują nie tylko uszkodzenie DNA, ale także modulację szlaków sygnałowych, takich jak szlak NF-κB i MAPK, które odgrywają kluczową rolę w procesach nowotworzenia [18].

Podsumowanie

Zanieczyszczenie powietrza ma znaczący wpływ na zdrowie jamy ustnej, przyczyniając się do rozwoju chorób przyzębia, próchnicy zębów, zapalenia dziąseł oraz nowotworów jamy ustnej. Mechanizmy te obejmują indukację stresu oksydacyjnego, zaburzenie równowagi mikrobiologicznej, uszkodzenie DNA oraz zaburzenie procesów naprawczych. Konieczne są dalsze badania w celu lepszego zrozumienia tych procesów oraz opracowania skutecznych strategii prewencyjnych, takich jak promocja zdrowia jamy ustnej wśród osób narażonych na wysokie stężenia zanieczyszczeń powietrza.

Oświadczenia

Oświadczenie dotyczące konfliktu interesów

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów w autorstwie oraz publikacji pracy.

Źródła finansowania

Autorzy deklarują brak źródeł finansowania.

Piśmiennictwo

- [1] Jan R, Roy R, Bhor R, Pai K, Satsangi P. Toxicological screening of airborne particulate matter in atmosphere of Pune: Reactive oxygen species and cellular toxicity. *Environ Pollut.* 2019;261:113724. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113724>.
- [2] Merid S, Bustamante M, Standl M, Sunyer J, Heinrich J, Lemonnier N, et al. Integration of gene expression and DNA methylation identifies epigenetically controlled modules related to PM2.5 exposure. *Environ Int.* 2020;146:106248. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106248>.
- [3] Wang Y, Andrukhov O, Rausch-Fan X. Oxidative stress and antioxidant system in periodontitis. *Front Physiol.* 2017;8:910. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00910>.
- [4] The Correlation between Oral Health and Air Pollution: A Systematic Review.
- [5] Rosier B, Marsh P, Mira A. Resilience of the oral microbiota in health: Mechanisms that prevent dys-

- biosis. *J Dent Res.* 2018;97(4):371-380. <https://doi.org/10.1177/0022034517742139>.
- [6] Huang D, Zhang H, Wang S, Chen X. Exposure to particulate matter 2.5 (PM2.5) induced macrophage-dependent inflammation, characterized by increased Th1/Th17 cytokine secretion and cytotoxicity. *Int Immunopharmacol.* 2017;50:139-145. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2017.06.019>.
- [7] Zhu X, Chen C, Zhang B, Ge Y, Wang W, Cai J, et al. Acute effects of personal exposure to fine particulate matter on salivary and urinary biomarkers of inflammation and oxidative stress in healthy adults. *Chemosphere.* 2021;272:129906. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129906>.
- [8] Marruganti C, Shin H, Sim S, Grandini S, Lafori A, Romandini M. Air pollution as a risk indicator for periodontitis. *Biomedicines.* 2023;11(2):443. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11020443>.
- [9] Hezel M, Weitzberg E. The oral microbiome and nitric oxide homeostasis. *Oral Dis.* 2015;21(1):7-16. <https://doi.org/10.1111/odi.12157>.
- [10] Setko N, Mustafin I. Characteristics of trace element balance in children with pollution-related dental diseases. *J Hyg Epidemiol Microbiol Immunol.* 2021;334(1):44-48. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-334-1-44-48>.
- [11] Lemos J, Palmer S, Zeng L, Wen Z, Kajfasz J, Freires I, et al. The biology of *Streptococcus mutans*. *Microbiol Spectr.* 2019;7(3). <https://doi.org/10.1128/microbiol-spec.gpp3-0051-2018>.
- [12] Gregorczyk-Maga I, Celejewska-Wójcik N, Gosiewska-Pawlica D, Darczuk D, Kęsek B, Maga M, et al. Exposure to air pollution and oxidative stress markers in patients with potentially malignant oral disorders. *J Physiol Pharmacol.* 2019;70(1). <https://doi.org/10.26402/jpp.2019.1.09>.
- [13] He H, Huang Y, Lu Y, Wang X, Ni H, Wu Y, et al. Effect of benzo[a]pyrene on proliferation and metastasis of oral squamous cell carcinoma cells: A transcriptome analysis based on RNA-seq. *Environ Toxicol.* 2022;37(10):2589-2604. <https://doi.org/10.1002/tox.23621>.
- [14] Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, Khazdair M, Sadeghi M. Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Front Pharmacol.* 2021;12:643972. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>.
- [15] Li R, Zhao L, Zhang L, Chen M, Shi J, Dong C, et al. Effects of ambient PM2.5 and 9-nitroanthracene on DNA damage and repair, oxidative stress and metabolic enzymes in the lungs of rats. *Toxicol Res.* 2017;6(5):654-663. <https://doi.org/10.1039/c7tx00065k>.
- [16] Dagher Z, Garçon G, Billet S, Gosset P, Ledoux F, Courcot D, et al. Activation of different pathways of apoptosis by air pollution particulate matter (PM2.5) in human epithelial lung cells (L132) in culture. *Toxicology.* 2006;225(1):12-24. <https://doi.org/10.1016/J.TOX.2006.04.038>.
- [17] Schneider K, Roller M, Kalberlah F, Schuhmacher-Wolz U. Cancer risk assessment for oral exposure to PAH mixtures. *J Appl Toxicol.* 2002;22(1). <https://doi.org/10.1002/jat.828>.
- [18] Quezada-Maldonado E, Sánchez-Pérez Y, Chirino Y, García-Cuellar C. Airborne particulate matter induces oxidative damage, DNA adduct formation and alterations in DNA repair pathways. *Environ Pollut.* 2021;287:117313. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117313>.

Zaakceptowano do edycji: 17.12.24
Zaakceptowano do publikacji: 20.02.25

Adres do korespondencji:
surdacki90@gmail.com