

Received: 04.01.2017
Accepted: 11.10.2017
Published: 16.02.2018

Wpływ zanieczyszczeń powietrza na rozród człowieka

The influence of air pollution on human reproduction

Artur Wdowiak¹, Edyta Wdowiak², Iwona Bojar³, Grzegorz Bakalczuk⁴

¹Pracownia Techniki Diagnostycznych, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

²Międzynarodowe Naukowe Towarzystwo Wspierania i Rozwoju Technologii Medycznych

³Zakład Zdrowia Kobiet, Instytut Medycyny Wsi w Lublinie

⁴Zakład Położnictwa, Ginekologii i Pielęgniarstwa Położniczo-Ginekologicznego, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

Streszczenie

Zanieczyszczenia powietrza są główną przyczyną globalnych zagrożeń dla środowiska i człowieka. Powstają w wyniku emisji różnych związków chemicznych przez przemysł, środki transportu drogowego oraz gospodarstwa domowe. Substancje te wdychane z powietrzem przenikają z krwią do niemal wszystkich tkanek, zaburzając ich fizjologię. Szkodliwe działanie tych substancji tłumaczy się generowaniem stresu oksydacyjnego. Powoduje to peroksydację błon komórkowych i zaburza podstawowe funkcje komórki. Badania prowadzone na całym świecie w ostatnich latach udowodniły związek między ekspozycją na zanieczyszczenia powietrza a zwiększoną umieralnością z powodu chorób układu sercowo-naczyniowego oraz oddechowego. W ostatnich latach pojawiło się wiele doniesień naukowych potwierdzających także negatywny wpływ zanieczyszczeń powietrza na funkcje rozrodcze człowieka.

Celem pracy jest analiza aktualnego stanu wiedzy na temat związku obecności szkodliwych substancji w powietrzu ze zdolnościami reprodukcyjnymi człowieka.

Liczne doniesienia naukowe udowadniają, że zanieczyszczenia zawarte w powietrzu niekorzystnie wpływają na parametry nasienia męskiego, a zwłaszcza na budowę morfologiczną plemnika. Dostępne wyniki badań różnią się jednak w ustaleniach, która z substancji chemicznych najbardziej wpływa na dany parametr nasienia. Zanieczyszczenia powietrza odpowiadają również za zmiany epigenetyczne plemników, co może doprowadzić do mutacji genetycznych w przyszłych pokoleniach. Potwierdzony jest związek ekspozycji na zanieczyszczenia powietrza z obniżeniem płodności kobiet, ryzykiem występowania poronień i wad genetycznych (zespół Downa), działaniem teratogennym (wady serca, cewy nerwowej, rozszczep podniebienia), a także hipotrofią płodu. Udowodniono także niekorzystny wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych w miejscu pracy laboratorium IVF na skuteczność przeprowadzanych zabiegów. Rodzi to potrzebę dalszego usystematyzowania wiedzy w tej dziedzinie, a także prowadzenia badań w przyszłości.

Słowa kluczowe:

zanieczyszczenia powietrza • ciąża • płodność • nasienie • wady płodu

Summary

Air pollution is the main reason for global environmental hazards and human population. It is caused by different chemical compounds emitted by industry, vehicles and households. When inhaled with air, such substances get into the blood and they penetrate almost all the tissues, disturbing thus their physiology. Their detrimental effect is caused by the generation

of oxidative stress, which results in the peroxidation of cell membranes and disturbance of basic cell functions. The latest worldwide research has proven the relationship between the exposure to air pollution and an increased mortality rate due to cardiovascular and respiratory diseases. Recently, it has been confirmed in numerous publications that air pollution also has an adverse effect on the human reproductive potential.

It is the objective of the present article to analyze the current knowledge about the relationship between hazardous substances present in the air and human fertility function.

Numerous research studies have shown that air pollution negatively affects men's semen parameters, especially the morphological structure of sperm. However, the available research results present the inconsistent hierarchy of the impact that the individual chemical substances have on a given sperm's parameter. Air pollution is also responsible for the epigenetic changes in sperm, which may result in genetic mutations of future generations. The relationship between the exposure to air pollution and reduced female fertility, as well as the risk of miscarriage and genetic disorders (e.g. Down syndrome), teratogenic effects (congenital heart defects, neural tube defects, cleft palate) and the low birth weight of fetus, has been already confirmed. The adverse impact of air pollution on the operating efficiency of an IVF laboratory has been also proven. Thus, all of the above creates the need for further research on that issue and organization of the existing knowledge.

Keywords: air pollution • pregnancy • fertility • semen • fetus defects

GICID: 01.3001.0010.8700
DOI: 10.5604/01.3001.0010.8700
Word count: 4533
Tables: 1
Figures: 1
References: 62

Adres autora: dr hab. n. med. Artur Wdowiak, Pracownia Technik Diagnostycznych, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, ul. S. Staszica 4-6, 20-081 Lublin; e-mail: wdowiakartur@gmail.com

Wykaz skrótów: **CO** – tlenek węgla, **IVF** – zapłodnienie pozaustrojowe, **NO₂** – dwutlenek azotu, **O₃** – ozon, **PM** – pyły zawieszone, **PM_{2,5}** – pyły zawieszone o średnicy cząstki poniżej 2,5 mikrometra, **PM₁₀** – pyły zawieszone o średnicy cząstki poniżej 10 mikrometrów, **SO₂** – dwutlenek siarki.

WSTĘP

Zdolności rozrodcze człowieka ulegają osłabieniu w ostatnich latach, co potwierdzają liczne doniesienia naukowe [1,6,55]. Niewątpliwie znaczący wpływ na spadek płodności ma odkładanie decyzji o posiadaniu potomstwa na coraz późniejszy wiek, obserwowane w wielu krajach Europy [12,35,56]. Nie bez znaczenia w kształtowaniu płodności człowieka są czynniki środowiskowe, do których należą m.in. zanieczyszczenia przyziemnej warstwy atmosfery [3,9].

Zanieczyszczenia powietrza są główną przyczyną globalnych zagrożeń środowiska i człowieka [11,18,21,57]. Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju stwierdziła, że do 2050 r. zanieczyszczenie powietrza w miastach będzie główną środowiskową przyczyną zgonów na całym świecie [48]. Obecnie najwięcej zanieczyszczeń

powietrza wytwarza przemysł paliwowo-energetyczny, metalurgiczny oraz chemiczny. Zanieczyszczenia powietrza są ubocznym skutkiem wielu przemysłowych procesów technologicznych [48]. Skutkiem tego jest emisja do atmosfery znacznych ilości gazów spalinowych, do których należą: tlenki siarki, węgla, azotu oraz pyły, popioły i sadze [21,32]. Zawarte w powietrzu pyły PM₁₀ i PM_{2,5} są szczególnie niebezpieczne dla zdrowia ludzi, gdyż zawierają w składzie siarkę, rtęć, związki azotu, ołów i inne metale ciężkie [18,48].

Emisja zanieczyszczeń w Europie podlega stałemu monitoringowi. W Polsce zadanie to jest realizowane w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska, którego zasady działania były opracowywane przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, a zatwierdzone przez ministra środowiska [18]. W Polsce monitorowana jest jakość powietrza pod kątem jego zanieczysz-

czenia 12 substancjami: dwutlenkiem siarki, azotu, tlenkiem węgla, benzenem i ozonem, pyłami zawieszonymi PM10 i PM2,5 oraz zanieczyszczeniami zawartymi w pyłe PM10: ołowiem, arsenem, kadmem, niklem i benzo(a)pirenem. Polska – po Bułgarii – należy do państw, gdzie zanieczyszczenia powietrza są najwyższe w całej Unii Europejskiej [18]. Dzięki analizie danych pochodzących z monitoringu zanieczyszczeń powietrza połączonej z oceną wybranych wskaźników stanu zdrowia osób ekspozowanych na te substancje rozwija się wiedza dotycząca negatywnych oddziaływań poszczególnych związków chemicznych na ludzki organizm.

W 2005 r. Światowa Organizacja Zdrowia ogłosiła, że pyły PM2,5 i PM10 mogą wywierać szkodliwy wpływ na zdrowie ludzi, przyczyniając się do rozwoju chorób układu oddechowego, sercowo-naczyniowego oraz niektórych nowotworów, nawet gdy ich stężenia osiągną o połowę niższe wartości niż te, które są uważane za dopuszczalne w Unii Europejskiej [18]. Ostrzeżenia WHO zostały potwierdzone przez wyniki badań populacyjnych, takich jak ESCAPE (European Study of Cohorts for Air Pollution Effects), rozpoczętych w 2008 r. w celu oceny długoterminowych skutków zanieczyszczenia powietrza dla obywateli europejskich, jak również badaniu przeprowadzonym wśród miliona mieszkańców Rzymu, w którym oceniano wpływ PM2,5 i NO₂ na ogólną śmiertelność w ostatniej dekadzie [7,41]. Badania wykazały, że każdy wzrost o 10 µg/m³ PM2,5 zwiększa o 4-6% ogólną śmiertelność, powoduje 10% wzrost występowania chorób układu krążenia (arytmii, zawału serca i niewydolności krążenia), a także wywołuje 22% wzrost nowotworów płuc [7,41].

Coraz więcej doniesień naukowych potwierdza także negatywny wpływ na funkcje rozrodcze człowieka. U kobiet szkodliwe substancje zawarte w powietrzu zaburzają folikulogenezę oraz wczesny okres rozwoju zarodka. Ekspozycja na te substancje zwiększa ryzyko porodu przedwczesnego, niskiej masy urodzeniowej oraz niektórych wad genetycznych [11,20,28,39,50,58]. Wśród mężczyzn w wyniku ekspozycji na zanieczyszczenia powietrza dochodzi do zaburzeń spermatogenezy oraz zmiany ekspresji genów. Następstwem tego jest obniżenie jakości nasienia, nasilenie fragmentacji DNA, a także występowanie innych nieprawidłowości materiału genetycznego.

Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na rozród rozpoczyna się już od jego najwcześniejszych etapów. Rozgraniczenie wpływu na męskie i żeńskie gamety jest bardzo trudne. Szkodliwe substancje zawarte w powietrzu wpływają jednocześnie na komórki rozrodcze męskie i żeńskie. Uszkodzenia materiału genetycznego plemnika wywołane stresem oksydacyjnym mogą być naprawione jedynie przez oocyt, ponieważ męska komórka rozrodcza nie jest zdolna do naprawy swojego DNA. Zdolności komórki jajowej do naprawy uszkodzeń genetycznych plemnika zależą od ich nasilenia, a także od jakości oocytu. W warunkach naturalnego rozrodu

nie jest możliwe stwierdzenie, w jakim stopniu szkodliwe substancje chemiczne wpływają na funkcje plemnika i komórki jajowej.

Szkodliwe związki chemiczne wdychane z powietrzem bardzo szybko przenikają z krwią do niemal wszystkich tkanek, zaburzając ich fizjologię [11]. Substancje te, jako reaktywne formy tlenu i azotu, przyczyniają się do generowania stresu oksydacyjnego i nitrozacyjnego. W wyniku tego zjawiska następuje peroksydacja błon komórkowych, zmiana ekspresji genów, zaburzenia podstawowych funkcji komórki lub jej apoptoza [50]. Równowaga w układzie oksydo-redukcyjnym wpływa na przebieg procesów rozrodczych, od gametogenezy, przez owulację, zapłodnienie, wczesny okres rozwoju zarodka, aż do implantacji [20]. Mechanizmy odpowiedzialne nie są jednak w pełni poznane [54]. Komórka jajowa jest prawdopodobnie uszkodzana przez mikrośrodowisko pęcherzyka owulacyjnego podczas dojrzewania oocytu [54]. Podobnie stres oksydacyjny w czasie spermatogenezy przyczynia się do wywoływania zaburzeń funkcji plemników [30]. Szok tlenowy także zaburza pracę łożyska w czasie trwania ciąży [53].

Celem pracy było podsumowanie stanu wiedzy na temat wpływu, jaki wywierają zanieczyszczenia obecne w powietrzu na zdolności rozrodcze człowieka.

WPLYW ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA NA PŁODNOŚĆ

Płodność to współczynnik określający liczbę urodzonych dzieci przypadających na jedną kobietę w wieku rozrodczym [38]. W badaniach prowadzonych przez Slama i wsp. [46] wśród par rozpoczynających starania o dziecko w sposób naturalny w Cieplicach (Czechy) wykazano, że wyższe stężenie PM2,5 oraz NO₂ obniża możliwości poczęcia. Nieuwenhuijsen i wsp. [38] podczas badań prowadzonych wśród kobiet w Barcelonie (Hiszpania) wykazali, że na liczbę ciąż występujących w całej populacji wpływa niekorzystnie jedynie stężenie PM10. Przyczyn tego zjawiska można upatrywać we wpływie szkodliwych substancji zawartych w powietrzu na gamety męskie i żeńskie.

Badania przeprowadzone przez Legro i wsp. [34] w grupie 7403 kobiet pierwszy raz korzystających z metody zapłodnienia pozaustrojowego w północno-wschodniej części USA wykazały, że wzrost stężenia NO₂ w miejscu zamieszkania pacjentki był istotnie związany z obniżeniem szansy na zająście w ciąży, jak również urodzenia żywego dziecka [34]. Największy wpływ NO₂ na występowanie tego zjawiska stwierdzano po zagnieżdżeniu się zarodka. Wyższe stężenia ozonu w miejscu zamieszkania pacjentów podczas indukcji owulacji zwiększały szansę na urodzenie żywego dziecka, ale podczas ekspozycji na O₃ po transferze skutek był zupełnie odwrotny. Podczas oceny wpływu poszczególnych zanieczyszczeń powietrza występujących w laboratorium IVF Legro i wsp. [34] stwierdzili, że wzrost stężenia NO₂ zmniejszał szanse na urodzenie żywego dziecka, ekspozycja na PM2,5 obniżała

prawdopodobieństwo zajścia w ciążę, natomiast stężenie ozonu nie wpływało na skuteczność leczenia metodą zapłodnienia pozaustrojowego.

ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA A PRZEBIEG CIĄŻY

Ryzyko poronienia

Istniejące doniesienia naukowe udowadniają związek między zanieczyszczeniami powietrza a występowaniem poronień. Analiza przeprowadzona przez Di Ciaula i wsp. [15] wśród 514 996 pacjentek we Włoszech wykazała, że ze wzrostem stężeń PM10 i O₃ w powietrzu wzrasta częstość poronień, podczas gdy NO₂ nie miało wpływu na występowanie tego zjawiska. Badanie dotyczyło włoskich miast, gdzie normy zanieczyszczeń były przekraczane ponad dopuszczalne granice [15]. Podobne badanie przeprowadzone w Mongolii u 1219 kobiet przez Enkhmaa i wsp. [16] wiązało wzrost zanieczyszczenia powietrza przez SO₂, NO₂, CO, PM10 i PM2,5 z częstszym występowaniem poronień. Perin i wsp. [40] wykazali, że przedkoncepcyjna ekspozycja na PM10 wiąże się ze zwiększonym ryzykiem poronienia wczesnej ciąży, niezależnie od metody poczęcia. Faiz i wsp. [19] oraz Mohorovic i wsp. [33] wiązały występowanie poronień z wysokimi poziomami NO₂ i SO₂. Green i wsp. [23] natomiast stwierdzili, że zwiększone ryzyko poronień występuje u niepalących afroamerykańskich kobiet mieszkających do 50 m od ruchliwych dróg w Kalifornii (USA).

Niska masa urodzeniowa

Liczne doniesienia naukowe świadczą o związku zanieczyszczeń powietrza z niską masą urodzeniową płodu oraz z wadami rozwojowymi [14,27,33,59,60]. Jacobs i wsp. [27] przeanalizowali 25 badań przeprowadzonych w Chinach w latach 1980-2015, które dotyczyły ekspozycji ciężarnych na wybrane zanieczyszczenia powietrza. Zespół wykazał, że wzrost stężenia SO₂ we wdychanym powietrzu zwiększa szansę na hipotrofię płodu. Przeprowadzone przez nich badanie udowodniło także, że ekspozycja ciężarnych na PM10 zwiększa ryzyko występowania wad wrodzonych, zwłaszcza dotyczących układu krążenia [27]. Badania zespołu Díaz i wsp. [14] przeprowadzone w Madrycie w 298 705 przypadkach porodów wiązały występowanie niskiej masy urodzeniowej z ekspozycją na PM2,5. Niekorzystny wpływ PM 2,5 na hipotrofię płodu wykazały również badania Erickson i wsp. [17], Wylie i wsp. [59], a także Tu i wsp. [49], jednak w ich wynikach podobny skutek wywoływała ekspozycja na ozon.

Coker i wsp. [10] wykazali podobną zależność, dodatkowo wskazując NO₂ i NO, jako czynniki wpływające na występowanie niskiej masy urodzeniowej płodu. Badanie Laurent i wsp. [33] w 72 632 przypadkach w Kalifornii nie wykazało zależności między narażeniem ogólnie na PM a masą urodzeniową. Jednak podczas analizy z podziałem na pochodzenie PM okazało się, że w przy-

padku ekspozycji na wtórne aerozole organiczne rośnie ryzyko wystąpienia niskiej masy urodzeniowej. Podobny skutek wywołany był kontaktem ze związkami węgla, nitratami i pochodnymi amoniaku, ale tylko wtedy, gdy ekspozycja dotyczyła trzeciego trymestru ciąży. Również narażenie na zanieczyszczenia pochodzące ze spalin silników diesla oraz komercyjnych miejsc wypieku mięsa wiązało się z występowaniem niskiej masy urodzeniowej [33]. Częstki pochodzące ze spalania drewna nie miały już takiego wpływu na masę urodzeniową [33]. Badania przeprowadzone w Kanadzie przez zespół Stieb i wsp. [47] na 2,5 mln przypadków porodów wykazały związek między ekspozycją na NO₂ i niską masą urodzeniową. Arroyo i wsp. [2] zauważyli związek między ekspozycją na PM2,5 i O₃ a ryzykiem wystąpienia porodu przedwczesnego.

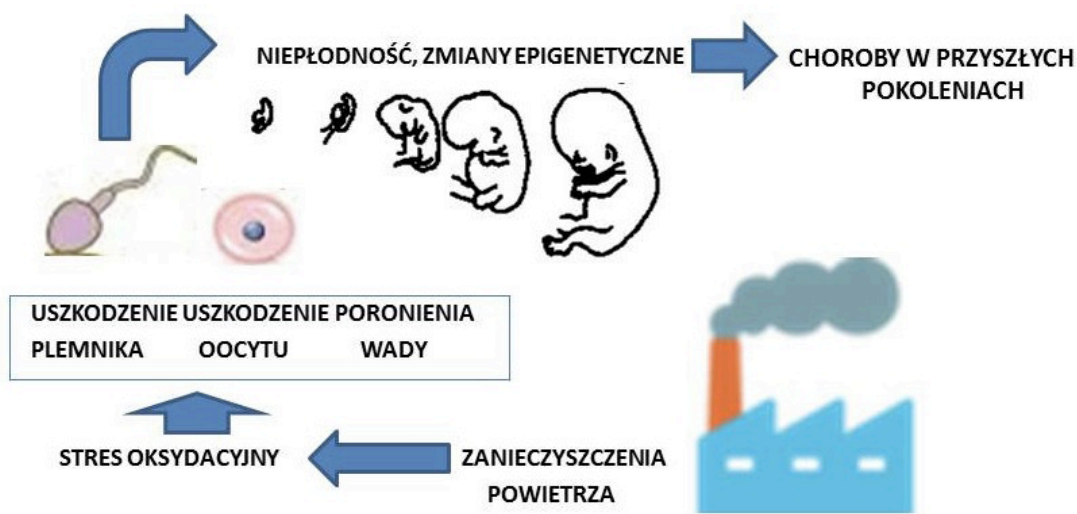
Wpływ teratogeny

Gianicolo i wsp. [22] wśród kobiet z Brindisi (Włochy) zaobserwowali związek wad serca noworodków z ekspozycją na SO₂ podczas ciąży. Wang i wsp. [52] wykazali, że w chińskiej populacji kobiet zanieczyszczenia powietrza pochodzące ze spalania węgla przyczyniają się do występowania wad cewy nerwowej płodu. Inne chińskie badania Zhu i wsp. [62] donoszą, że przedkoncepcyjna ekspozycja na CO i PM10 zwiększa ryzyko występowania rozszczepu podniebienia u płodu, natomiast SO₂ wpływa na izolowany rozszczep wargi i połączenie tej wady z rozszczepem podniebienia. Badania prowadzone w północnych Włoszech przez Vinceti i wsp. [51] wykazały istnienie związku między przekraczaniem ponad normę stężeniem PM10 a występowaniem nieprawidłowości mięśniowo-szkieletowych oraz chromosomalnych u płodu. Autorzy wykazali, że w wyniku ekspozycji na PM10 zwiększa się prawdopodobieństwo wystąpienia zespołu Downa [51]. Ich badania dotyczące benzenu nie udowodniły wpływu tej substancji na występowanie jakichkolwiek wad płodu.

ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA A JAKOŚĆ NASIENIA

Istnieje wiele doniesień potwierdzających niekorzystny wpływ zanieczyszczeń powietrza na parametry nasienia męskiego [4,5,13,24,25,31,42,43,44,58,61]. Obniżenie ruchliwości plemników w wyniku ekspozycji na zanieczyszczenia powietrza opisał wiele badaczy bez uwzględnienia analizy wpływu poszczególnych związków chemicznych zawartych w powietrzu na ten parametr nasienia [4,5,13,24]. Hammoud i wsp. [25] uznali PM2,5 za czynnik wpływający na obniżenie ruchliwości plemników w badaniach, podczas gdy Wu i wsp. [58] oraz Santi i wsp. [44] nie zaobserwowali takiej zależności (również dotyczącej PM10). Zhou i wsp. [61] opisali natomiast PM10, SO₂ i NO₂ jako powodujące ograniczenie odsetka plemników ruchomych.

Niekorzystny wpływ PM10, NO₂ i SO₂ na budowę morfologiczną plemników dowiedli Zhou i wsp. [61], podczas gdy Michniewicz i wsp. [36] nie potwierdzili takiego



Ryc. 1. Wpływ zanieczyszczeń powietrza na rozród człowieka

oddziaływania (jak również CO). Santi i wsp. [42] wykazali związek między zanieczyszczeniem PM_{2,5} i PM₁₀ a zaburzeniami budowy morfologicznej plemników, co potwierdziły badania Radwana i wsp. [44] (dodatkowo w przypadku CO i NO₂).

Wu i wsp. [58] oraz Santi i wsp. [44] opisali negatywne oddziaływanie PM_{2,5} na gęstość nasienia. Badacze pracujący pod kierunkiem Wu za szkodliwe (jak również w przypadku obniżenia objętości nasienia) uznali także PM₁₀, natomiast zespół Santiego nie stwierdził wpływu tego rodzaju pyłów na gęstość nasienia, a jedynie niekorzystne oddziaływanie na jego objętość.

Badania prowadzone przez Rubes i wsp. [43], Calogero i wsp. [5] oraz Selevan i wsp. [45] wykazały, że ekspozycja na zanieczyszczenia powietrza przyczynia się do nasilenia zjawiska fragmentacji DNA w nasieniu męskim. De Rosa i wsp. [13], a także Radwan i wsp. [42] w badaniach dotyczących ekspozycji na PM_{2,5}, PM₁₀, SO₂, NO₂ i CO uznali brak związku między zanieczyszczeniem powietrza a zaburzeniami integralności chromatyny plemnika. Do podobnych wniosków doszli Hansen i wsp. [26] na temat oddziaływania O₃ i PM_{2,5}. Jurewicz i wsp. [29] opisali natomiast wpływ PM_{2,5} na rozwój disomii Y, 21.

Lafuente i wsp. [31] podjęli się metaanalizy doniesień na temat wpływu zanieczyszczeń powietrza na parametry nasienia, która nie wykazała na obecnym etapie możliwości jednoznacznego stwierdzenia, który z czynników i na jakie właściwości ejakulatu wpływa najbardziej. W podsumowaniu badań skłonili się do powiązania nieprawidłowości budowy morfologicznej plemnika z oddziaływaniem zanieczyszczeń powietrza. Występo-

wanie nieprawidłowości dotyczących pozostałych parametrów (gęstości, ruchliwości, fragmentacji DNA) nie było na tyle jednoznacznie powiązane z wpływem zanieczyszczeń, żeby sformułować pewne wnioski. Niewątpliwie przyczyną tego były różnice modeli badawczych stosowanych przez różne zespoły naukowców [31].

Inna metaanaliza dokonana przez Vecoli i wsp. [50] udowodniła niekorzystny wpływ zanieczyszczeń powietrza na procesy epigenetyczne w nasieniu. Autorzy zwrócili szczególną uwagę na: nieprawidłową metylację DNA, zmienioną ekspresję mitochondrialnego RNA, zaburzoną modyfikację białek histonowych, zmiany ekspresji genów oraz fragmentację DNA, jako patomechanizmy powodujące uszkodzenia materiału genetycznego plemnika. Skutkiem tych nieprawidłowości mogą być obniżona jakość nasienia, występowanie poronień oraz wad wrodzonych płodu, a także niektórych chorób w przyszłych pokoleniach [50].

PODSUMOWANIE

Zanieczyszczenia zawarte w powietrzu niewątpliwie niekorzystnie wpływają na funkcje rozrodcze człowieka, lecz wiedza na ten temat wymaga dalszego usystematyzowania. Liczne doniesienia naukowe nie są spójne i nie pozwalają na jednoznaczną odpowiedź na pytanie, która z substancji chemicznych obecnych we wdychanym powietrzu jest najbardziej szkodliwa i na jakie funkcje rozrodcze najsilniej oddziałuje. Ocena wpływu zanieczyszczeń atmosferycznych na rozród człowieka jest trudna ze względu na jednoczesne oddziaływania wielu substancji chemicznych w tym samym czasie w połączeniu z innymi szkodliwymi czynnikami środowiskowymi.

Tabela 1. Wpływ poszczególnych zanieczyszczeń powietrza na wybrane parametry nasienia

Autorzy i rok badania	Liczba badanych ejakulatów (n)	Badane zanieczyszczenie	Wpływ na gęstość nasienia	Wpływ na objętość nasienia	Wpływ na odsetek plemników w ruchu postępowym	Wpływ na odsetek plemników prawidłowych	Inne
Wu i wsp. 2017 [58]	1759	PM2,5 PM10	Obniżenie Obniżenie	Obniżenie Obniżenie	Brak Brak		
Zhou i wsp. 2014 [61]	1346	PM10 SO ₂ NO ₂			Zmniejszenie Zmniejszenie Zmniejszenie	Zmniejszenie Zmniejszenie	
Santi i wsp. 2016 [44]	406	PM2,5 PM10	Obniżenie Brak	Obniżenie	Brak	Zmniejszenie	
Radwan i wsp. 2016 [42]	327	PM2,5 PM10 CO NO _x				Zmniejszenie Zmniejszenie Zmniejszenie	Niedojrzała Nied.chrom.
Jurewicz i wsp. 2015 [29]	212	PM2,5 CO SO ₂ NO _x					Disomia Y,21 Bez Bez Bez
Hammoud i wsp. 2010 [25]	1699	PM2,5			Obniżenie		
Michniewicz i wsp. 2001 [36]	1363	NO ₂ SO ₂ CO				Brak Brak Brak	

Trudności w ocenie sprawia także przemieszczanie się osób. Zmienna ekspozycja na te substancje zależy m.in. od warunków i charakteru aktywności zawodowej, zmian pogodowych czy indywidualnego stosowania zasad bezpieczeństwa i higieny pracy. Indywidualne są także mechanizmy chroniące przed stresem oksydacyjnym wywołanym przez zanieczyszczenia powietrza.

Znaczącą rolę w poznaniu tego zjawiska będą miały czynności związane z nieustannym monitoringiem stężenia szkodliwych substancji w środowisku. W przyszłości najlepszym rozwiązaniem byłaby konstrukcja i indywidualne zastosowanie dozymetru, który mógłby mierzyć ekspozycję na zanieczyszczenia przez przemieszczającą się osobę. Być może rozwój techniki i zapotrzebowanie świata nauki w tym zakresie w najbliższym czasie przyczynią się do wynalezienia takiego urządzenia.

Doniesienia naukowe dotyczące szkodliwego wpływu, jaki wywierają zanieczyszczenia środowiska na zdrowie człowieka, rodzą potrzebę działań mających na celu obniżenie ich emisji do środowiska, a także indywidualną ochronę przed ich wpływem. W medycynie rozrodu oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza może być odpowiedzialne za występowanie niepłodności idiopatycznej. Rolą lekarza zajmującego się parą w okresie starań o ciążę oraz w czasie jej trwania jest odpowiednia

edukacja mająca na celu wdrożenie profilaktyki zdrowotnej chroniącej przed nadmierną ekspozycją na szkodliwe związki chemiczne zawarte w powietrzu. Istotne jest także uświadomienie osobom planującym ciążę, że niekorzystny wpływ zanieczyszczeń powietrza na rozród dotyczy także co najmniej trzech miesięcy przed planowaną koncepcją w przypadku mężczyzny. Uwarunkowane jest to czasem trwania spermatogenezy.

Istniejące doniesienia naukowe dotyczące niekorzystnego wpływu zanieczyszczeń atmosferycznych na hodowlę zarodków w procedurze zapłodnienia pozaustrojowego powinny wpływać na stosowanie odpowiedniej ochrony w laboratoriach IVF. Zapewnienie możliwie najbezpieczniejszych warunków do przeprowadzenia tej procedury może być uwarunkowane wyborem lokalizacji laboratorium, która nie byłaby w najmniejszym stopniu narażona na występowanie szkodliwych substancji w powietrzu. Wybór miejsca powinien zostać poprzedzony pomiarami stężeń zanieczyszczeń w planowanej lokalizacji. Dobre warunki hodowli zarodków można uzyskać także przez zastosowanie filtrów eliminujących zanieczyszczenia powietrza.

Alarmujące doniesienia służb odpowiedzialnych za monitoring zanieczyszczeń powietrza, dotyczące okresowego przekraczania dopuszczalnych stężeń tych

substancji z pewnością będą motywowały środowisko naukowe do dalszych badań nad ich szkodliwym wpływem na ludzki organizm. Wyniki uzyskanych dotychczas badań powinny skłaniać do zdecydowanego rozwiązania problemu emisji zanieczyszczeń na szczeblach central-

nej władzy. Wskazane byłoby podjęcie działań mających na celu tworzenie bardziej skutecznych rozwiązań prawnych połączonych ze wsparciem budżetowym. Istotne jest także budowanie świadomości społecznej o skali zagrożenia tym problemem.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Aanesen A., Westerbotn M.: Prospective study of a Swedish infertile cohort 2005-08: population characteristics, treatments and pregnancy rates. *Fam. Pract.*, 2014; 31: 290-297
- [2] Arroyo V., Díaz J., Ortiz C., Carmona R., Sáez M., Linares C.: Short term effect of air pollution, noise and heat waves on preterm births in Madrid (Spain). *Environ. Res.*, 2016; 145: 162-168
- [3] Baldacci S., Gorini F., Minichilli F., Pierini A., Santoro M., Bianchi F.: Review of epidemiological studies on individual and environmental risk factors in the aetiology of congenital heart defects. *Epidemiol. Prev.*, 2016; 40: 185-196
- [4] Boggia B., Carbone U., Farinero E., Zarrilli S., Lombardi G., Colao A., De Rosa N., De Rosa M.: Effects of working posture and exposure to traffic pollutants on sperm quality. *J. Endocrinol. Invest.*, 2009; 32: 430-434
- [5] Calogero A.E., La Vignera S., Condorelli R.A., Perdichizzi A., Valentini D., Asero P., Carbone U., Boggia B., De Rosa N., Lombardi G., D'Agata R., Vicari L.O., Vicari E., De Rosa M.: Environmental car exhaust pollution damages human sperm chromatin and DNA. *J. Endocrinol. Invest.*, 2011; 34: e139-e143
- [6] Carlsen E., Giwercman A., Keiding N., Skakkebaek N.E.: Evidence for decreasing quality of semen during past 50 years. *BMJ*, 1992; 305: 609-613
- [7] Cesaroni G., Badaloni C., Gariazzo C., Stafoggia M., Sozzi R., Davoli M., Forastiere F.: Long-term exposure to urban air pollution and mortality in a cohort of more than a million adults in Rome. *Environ. Health Perspect.*, 2013; 121: 324-331
- [8] Chen E.K., Zmirou-Navier D., Padilla C., Deguen S.: Effects of air pollution on the risk of congenital anomalies: a systematic review and meta-analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2014; 11: 7642-7668
- [9] Chmielowiec-Korzeniowska A., Tymczyna L., Drabik A., Krzosek Ł.: Microbial contamination level of air in animal waste utilization plants. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 2016; 23: 54-58
- [10] Coker E., Liverani S., Ghosh J.K., Jerrett M., Beckerman B., Li A., Ritz B., Molitor J.: Multi-pollutant exposure profiles associated with term low birth weight in Los Angeles County. *Environ. Int.*, 2016; 91: 1-13
- [11] Colao A., Muscogiuri G., Piscitelli P.: Environment and health: not only cancer. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2016; 13: 724
- [12] Daly I., Bewley S.: Reproductive ageing and conflicting clocks: King Midas' touch. *Reprod. Biomed. Online*, 2013; 27: 722-732
- [13] De Rosa M., Zarrilli S., Paesano L., Carbone U., Boggia B., Petretta M., Maisto A., Cimmino F., Puca G., Colao A., Lombardi G.: Traffic pollutants affect fertility in men. *Hum. Reprod.*, 2003; 18: 1055-1061
- [14] Díaz J., Arroyo V., Ortiz C., Carmona R., Linares C.: Effect of environmental factors on low weight in non-premature births: a time series analysis. *PLoS One*, 2016; 11: e0164741
- [15] Di Ciaula A., Bilancia M.: Relationships between mild PM10 and ozone urban air levels and spontaneous abortion: clues for primary prevention. *Int. J. Environ. Health Res.*, 2015; 25: 640-655
- [16] Enkhmaa D., Warburton N., Javzandulam B., Uyanga J., Khishiguren Y., Lodoysamba S., Enkhur S., Warburton D.: Seasonal ambient air pollution correlates strongly with spontaneous abortion in Mongolia. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2014; 14: 146
- [17] Erickson A.C., Ostry A., Chan L.H., Arbour L.: The reduction of birth weight by fine particulate matter and its modification by maternal and neighbourhood-level factors: a multilevel analysis in British Columbia, Canada. *Environ. Health*, 2016; 15: 51
- [18] European Environment Agency. Air quality in Europe – 2016 report. ISSN 1977-8449
- [19] Faiz A.S., Rhoads G.G., Demissie K., Kruse L., Lin Y., Rich D.Q.: Ambient air pollution and the risk of stillbirth. *Am. J. Epidemiol.*, 2012; 176: 308-316
- [20] Frutos V., González-Comadrán M., Solà I., Jacquemin B., Carreras R., Checa Vizcaíno M.A.: Impact of air pollution on fertility: a systematic review. *Gynecol. Endocrinol.*, 2015; 31: 7-13
- [21] Gąsiorowski M., Sienkiewicz E.: The sources of carbon and nitrogen in mountain lakes and the role of human activity in their modification determined by tracking stable isotope composition. *Water Air Soil Pollut.*, 2013; 224: 1498
- [22] Gianicolo E.A., Mangia C., Cervino M., Bruni A., Andreassi M.G., Latini G.: Congenital anomalies among live births in a high environmental risk area—a case-control study in Brindisi (southern Italy). *Environ. Res.*, 2014; 128: 9-14
- [23] Green R.S., Malig B., Windham G.C., Fenster L., Ostro B., Swan S.: Residential exposure to traffic and spontaneous abortion. *Environ. Health Perspect.*, 2009; 117: 1939-1944
- [24] Guven A., Kayikci A., Cam K., Arbak P., Balbay O., Cam M.: Alterations in semen parameters of toll collectors working at motorways: does diesel exposure induce detrimental effects on semen? *Andrologia*, 2008; 40: 346-351
- [25] Hammond A., Carrell D.T., Gibson M., Sanderson M., Parker-Jones K., Peterson C.M.: Decreased sperm motility is associated with air pollution in Salt Lake City. *Fertil. Steril.*, 2010; 93: 1875-1879
- [26] Hansen C., Luben T.J., Sacks J.D., Olshan A., Jeffay S., Strader L., Perreault S.D.: The effect of ambient air pollution on sperm quality. *Environ. Health Perspect.*, 2010; 118: 203-209
- [27] Jacobs M., Zhang G., Chen S., Mullins B., Bell M., Jin L., Guo Y., Huxley R., Pereira G.: The association between ambient air pollution and selected adverse pregnancy outcomes in China: a systematic review. *Sci. Total Environ.*, 2017; 579: 1179-1192
- [28] Jia X., Guo X.: Bibliometric analysis of associations between ambient pollution and reproductive and developmental health. *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi*, 2014; 48: 521-526
- [29] Jurewicz J., Radwan M., Sobala W., Polańska K., Radwan P., Jakubowski L., Ułańska A., Hanke W.: The relationship between exposure to air pollution and sperm disomy. *Environ. Mol. Mutagen*, 2015; 56: 50-59
- [30] Kasperczyk A., Dobrakowski M., Czuba Z.P., Kapka-Skrzypczak L., Kasperczyk S.: Influence of iron on sperm motility and selected oxidative stress parameters in fertile males – a pilot study. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 2016; 23: 292-296
- [31] Lafuente R., García-Blàquez N., Jacquemin B., Checa M.A.: Outdoor air pollution and sperm quality. *Fertil. Steril.*, 2016; 106: 880-896
- [32] Lalvani I.J., Parthasarathy M., Dhinesh B., Annamalai K.: Pooled effect of injection pressure and turbulence inducer piston on performance, combustion, and emission characteristics of a DI die-

sel engine powered with biodiesel blend. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2016; 134: 336-343

[33] Laurent O., Hu J., Li L., Kleeman M.J., Bartell S.M., Cockburn M., Escobedo L., Wu J.: Low birth weight and air pollution in California: which sources and components drive the risk? *Environ. Int.*, 2016; 92-93: 471-477

[34] Legro R.S., Sauer M.V., Mottla G.L., Richter K.S., Li X., Dodson W.C., Liao D.: Effect of air quality on assisted human reproduction. *Hum. Reprod.*, 2010; 25: 1317-1324

[35] Meldrum D.R., Casper R.F., Diez-Juan A., Simon C., Domar A.D., Frydman R.: Aging and the environment affect gamete and embryo potential: can we intervene? *Fertil. Steril.*, 2016; 105: 548-559

[36] Michniewicz J., Pajak J., Hirnle L., Barwiński I., Heimrath J.: Semen analysis results and air pollution in the group of men from infertile couples in the Lower Silesia in 1977-2000. *Ginekol. Pol.*, 2001; 72: 977-982

[37] Mohorovic L., Petrovic O., Haller H., Micovic V.: Pregnancy loss and maternal methemoglobin levels: an indirect explanation of the association of environmental toxics and their adverse effects on the mother and the fetus. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, 2010; 7: 4203-4212

[38] Nieuwenhuijsen M.J., Basagaña X., Dadvand P., Martinez D., Ciraach M., Beelen R., Jacquemin B.: Air pollution and human fertility rates. *Environ. Int.*, 2014; 70: 9-14

[39] Patelarou E., Kelly F.J.: Indoor exposure and adverse birth outcomes related to fetal growth, miscarriage and prematurity – a systematic review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, 2014; 11: 5904-5933

[40] Perin P.M., Maluf M., Czeresnia C.E., Nicolosi Foltran Januário D.A., Nascimento Saldiva P.H.: Effects of exposure to high levels of particulate air pollution during the follicular phase of the conception cycle on pregnancy outcome in couples undergoing in vitro fertilization and embryo transfer. *Fertil. Steril.*, 2010; 93: 301-303

[41] Raaschou-Nielsen O., Andersen Z.J., Beelen R., Samoli E., Stafoglia M., Weinmayr G., Hoffmann B., Fischer P., Nieuwenhuijsen M.J., Brunekreef B., Xun W.W., Katsouyanni K., Dimakopoulou K., Sommar J., Forsberg B. i wsp.: Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol.*, 2013; 14: 813-822

[42] Radwan M., Jurewicz J., Polańska K., Sobala W., Radwan P., Bouchenek M., Hanke W.: Exposure to ambient air pollution-does it affect semen quality and the level of reproductive hormones? *Ann. Hum. Biol.*, 2016; 43: 50-56

[43] Rubes J., Selevan S.G., Evenson D.P., Zudova D., Vozdova M., Zudova Z., Robbins W.A., Perreault S.D.: Episodic air pollution is associated with increased DNA fragmentation in human sperm without other changes in semen quality. *Hum. Reprod.*, 2005; 20: 2776-2783

[44] Santi D., Vezzani S., Granata A.R., Roli L., De Santis M.C., Ongaro C., Donati F., Baraldi E., Trenti T., Setti M., Simoni M.: Sperm quality and environment: a retrospective, cohort study in a Northern province of Italy. *Environ. Res.*, 2016; 150: 144-153

[45] Selevan S.G., Borkovec L., Slott V.L., Zudova Z., Rubes J., Evenson D.P., Perreault S.D.: Semen quality and reproductive health of young Czech men exposed to seasonal air pollution. *Environ. Health. Perspect.*, 2000; 108: 887-894

[46] Slama R., Böttiggi S., Solansky I., Lepeule J., Giorgis-Allemand L., Sram R.: Short-term impact of atmospheric pollution on fecundability. *Epidemiology*, 2013; 24: 871-879

[47] Stieb D.M., Chen L., Hystad P., Beckerman B.S., Jerrett M., Tjepkema M., Crouse D.L., Omariba D.W., Peters P.A., van Donkelaar A., Martin R.V., Burnett R.T., Liu S., Smith-Doiron M., Dugandzic R.M.: A national study of the association between traffic-related air pollution and adverse pregnancy outcomes in Canada, 1999-2008. *Environ. Res.*, 2016; 148: 513-526

[48] The Organisation for Economic Co-operation and Development: The economic consequences of outdoor air pollution. <https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/Policy-Highlights-Economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-web.pdf> (22.10.2017)

[49] Tu J., Tu W., Tedders S.H.: Spatial variations in the associations of term birth weight with ambient air pollution in Georgia, USA. *Environ. Int.*, 2016; 92-93: 146-156

[50] Vecoli C., Montano L., Andreassi M.G.: Environmental pollutants: genetic damage and epigenetic changes in male germ cells. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2016; 23: 23339-23348

[51] Vinceti M., Malagoli C., Malavolti M., Cherubini A., Maffei G., Rodolfi R., Heck J.E., Astolfi G., Calzolari E., Nicolini F.: Does maternal exposure to benzene and PM10 during pregnancy increase the risk of congenital anomalies? A population-based case-control study. *Sci. Total Environ.*, 2016; 541: 444-450

[52] Wang L., Jin L., Liu J., Zhang Y., Yuan Y., Yi D., Ren A.: Maternal genetic polymorphisms of phase II metabolic enzymes and the risk of fetal neural tube defects. *Birth Defects Res A. Clin Mol. Teratol.*, 2014; 100: 13-21

[53] Wdowiak A., Brzozowski I., Bojar I.: Superoxide dismutase and glutathione peroxidase activity in pregnancy complicated by diabetes. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 2015; 22: 297-300

[54] Wdowiak A., Wdowiak A.: Comparing antioxidant enzyme levels in follicular fluid in ICSI-treated patients. *Gynecol. Obstet. Fertil.*, 2015; 43: 515-521

[55] Wdowiak A., Wdowiak A., Moroz E., Bojar I.: Comparison of selected sperm parameters between 6,278 males in Poland and Ukraine. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 2016; 23: 174-181

[56] Wdowiak A., Wdowiak E., Bojar I.: Improving the safety of the embryo and the patient during in vitro fertilization procedures. *Wideochir. Inne Tech. Maloinwazyjne.* 2016; 11: 137-143

[57] World Health Organization. WHO, Regional Office for Europe; 2013. Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution – REVIHAAP. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0020/182432/e96762-final.pdf (15.06.2016)

[58] Wu L., Jin L., Shi T., Zhang B., Zhou Y., Zhou T., Bao W., Xiang H., Zuo Y., Li G., Wang C., Duan Y., Peng Z., Huang X., Zhang H. i wsp.: Association between ambient particulate matter exposure and semen quality in Wuhan, China. *Environ. Int.*, 2017; 98: 219-228

[59] Wylie B.J., Kishashu Y., Matechi E., Zhou Z., Coull B., Abioye A.I., Dionisio K.L., Mugusi F., Premji Z., Fawzi W., Hauser R., Ezziati M.: Maternal exposure to carbon monoxide and fine particulate matter during pregnancy in an urban Tanzanian cohort. *Indoor Air*, 2017; 27: 136-146

[60] Zheng T., Zhang J., Sommer K., Bassig B.A., Zhang X., Braun J., Xu S., Boyle P., Zhang B., Shi K., Buka S., Liu S., Li Y., Qian Z., Dai M., Romano M., Zou A., Kelsey K.: Effects of environmental exposures on fetal and childhood growth trajectories. *Ann. Glob. Health.*, 2016; 82: 41-99

[61] Zhou N., Cui Z., Yang S., Han X., Chen G., Zhou Z., Zhai C., Ma M., Li L., Cai M., Li Y., Ao L., Shu W., Liu J., Cao J.: Air pollution and decreased semen quality: a comparative study of Chongqing urban and rural areas. *Environ. Pollut.*, 2014; 187: 145-152

[62] Zhu Y., Zhang C., Liu D., Grantz K.L., Wallace M., Mendola P.: Maternal ambient air pollution exposure preconception and during early gestation and offspring congenital orofacial defects. *Environ. Res.*, 2015; 140: 714-720

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów interesów.