

- część dzieci spędza dużo czasu na zewnątrz, w tym niektóre wykazują większą aktywność fizyczną;
- ich drogi oddechowe znajdują się nisko nad poziomem gruntu – blisko źródeł emisji komunikacyjnych i unoszonych wtórnie zanieczyszczeń pyłowych;
- układ oddechowy nadal w trakcie rozwoju (do 3.–8. roku życia);
- niedojrzałe systemy detoksykacji;
- niedojrzałość układu immunologicznego, prowadząca do większej częstości/ciężkości infekcji;
- dłuższy prognozowany czas przeżycia – możliwość wystąpienia niekorzystnych efektów nawet po wielu latach od ekspozycji.

5.1.1. WPŁYW ZAKAŻEŃ UKŁADU ODDECHOWEGO NA NASTĘPSTWA NARAŻENIA NA ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA

Infekcje dróg oddechowych są szczególnie częste w okresie wieku rozwojowego. Badania niemieckie wskazują, że najmłodsze dzieci (bez niedoborów immunologicznych czy innych chorób sprzyjających) mogą przechodzić nawet do 11 infekcji rocznie. Dla następstw narażenia na zanieczyszczenia szczególnie istotne wydają się:

- obniżenie sprawności klirensu śluzowo-rzęskowego (osłabienie ruchu rzęsek, destrukcja nabłonka rzęskowego), prowadzące do przedłużenia czasu zalegania zanieczyszczeń w układzie oddechowym;
- odsłonięcie błony podstawnej (wskutek wywoływanej przez niektóre infekcje destrukcji nabłonka), które ułatwia szybkie wnikanie zanieczyszczeń do głębszych struktur tkankowych. Ponieważ pełne odzyskanie sprawności klirensu następuje dopiero po około 13 tygodniach od początku infekcji rozlegle uszkadzającej nabłonek urzęsiony, przez kilkanaście tygodni po infekcji układ oddechowy jest szczególnie zagrożony przez zanieczyszczenia powietrza;
- utrata mechanizmów enzymatycznych nabłonka, która może zmniejszać skuteczność detoksykacji.

5.2. KONSEKWENCJE EKSPOZYCJI UKŁADU ODDECHOWEGO DZIECKA

Wiele prac potwierdza, że narażenie dzieci na zanieczyszczenia powietrza odpowiada za wywoływanie objawów ze strony układu oddechowego (głównie kaszlu i hipersekrecji), sprzyja występowaniu infekcji (także u dzieci zdrowych) oraz zaostrzeń dolegliwości u dzieci z chorobami przewlekłymi, może też prowadzić do obniżonej czynności płuc. Nieco schematycznie wyróżnia się dwa rodzaje smogu, różniące się proporcjami składników, miejscem występowania i pochodzeniem: smog typu londyńskiego (określany też jako czarny lub zimowy) i smog typu Los Angeles (biały, fotochemiczny). O ile każdy z nich wywołuje wymienione powyżej nieswoiste następstwa zdrowotne, o tyle tylko ten ostatni jest wiązany przyczynowo ze wzrostem częstości występowania chorób alergicznych.

5.2.1. SMOG ZIMOWY (TYPU LONDYŃSKIEGO)

Jest następstwem spalania paliw (głównie stałych) w celach grzewczych. Występuje przeważnie w krajach o klimacie umiarkowanym lub zimnym, w porze chłodnej – na półkuli północnej od mniej więcej października–listopada do stycznia–kwietnia. Typowymi jego składnikami są pyły, tlenek węgla oraz tlenki siarki (SO_x , zwłaszcza SO_2), choć te ostatnie obecnie rzadziej i w mniejszych stężeniach, ale obecne są także tlenki azotu (NO_x) i związki organiczne (ale z reguły w mniejszych stężeniach niż w trakcie epizodów smogu typu Los Angeles). U narażonych wywołuje nieswoiste objawy i dolegliwości wymienione powyżej. Obserwowane na terenie Polski stężenia tlenu węgla w powietrzu na zewnątrz pomieszczeń nie stanowią istotnego zagrożenia dla zdrowia i nie zostały uwzględnione w omówieniu.

Następstwa ekspozycji dzieci na zanieczyszczenia pyłowe

Nawet u zdrowych dzieci ekspozycja na pyły nasila występowanie objawów ze strony układu oddechowego (kaszlu, świsztów, a nawet duszności) i zwiększa częstość zakażeń. Szacuje się, że na każde $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wzrostu stężenia pyłów przypada zwiększenie chorobowości ze strony układu oddechowego o 1%.

Obserwacja grupy 146 397 mieszkańców stanu Utah (głównie małych dzieci) połączona z wynikami monitoringu powietrza z lat 1999–2016 wykazała, że w tydzień po wzroście stężenia $PM_{2,5}$ o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rosła zgłaszalność z powodu ostrych infekcji układu oddechowego, która narastała do trzech tygodni i utrzymywała się do 28 dni od wzrostu stężenia. W okresie 54-tygodniowej obserwacji zwiększenie zgłaszalności o 15% obserwowano wśród 112 467 dzieci w wieku poniżej dwóch lat, a u 76,5% z nich rozpoznano zapalenie oskrzelików. Wzrost zgłaszalności z powodu zakażeń wyniósł 32% dla dzieci między 2. a 18. rokiem życia (i o 19% wśród dorosłych). Rosła częstość rozpoznania grypy, zwłaszcza wśród dzieci starszych i dorosłych. Choć Horne i wsp. (2018) sugerują zwiększanie podatności na zakażenia przez ekspozycję na drobne pyły, interpretację utrudnia nakładanie się okresu zwiększonego narażenia na składowe mieszaniny zanieczyszczeń powietrza (pora chłodna = okres ogrzewania) z okresem zwiększonego czasu przebywania w pomieszczeniach (ułatwione przenoszenie zakażeń) i typową dla wielu wirusów sezonowością zakażeń.

Wzrost częstości zakażeń dolnych dróg oddechowych jako konsekwencja narażenia na pyły może być bardziej uchwytny u osób szczególnie podatnych. Esposito i wsp. (2014) zaobserwowali, że wzrost stężenia PM_{10} o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwiększał ryzyko zapalenia płuc o około 8% u dzieci ze świszczącym oddechem lub astmą w wywiadzie, choć pozostawał bez wpływu na dzieci zdrowe.

Analiza hospitalizacji z powodu chorób układu oddechowego (zarówno infekcyjnych, jak i alergicznych) odnotowanych w Busan (Korea) wykazała, że niekorzystny wpływ narażenia na pyły na liczbę hospitalizacji ulegał nasileniu w obecności niskiej wilgotności powietrza. W analizie obejmującej liczbę hospitalizacji z przyczyn odde-

chowych w latach 2007–2010 wykazano ich wzrost w okresach zwiększonych stężeń zanieczyszczeń oraz wzrostu temperatury, podobnie jak zmniejszonej wilgotności względnej powietrza. Tak jak w cytowanej uprzednio pracy, większy wpływ niż PM_{10} wywierały pyły $PM_{2,5}$, a największe następstwa odnotowano w skrajnych grupach wiekowych. W grupie dzieci do 15 lat ryzyko hospitalizacji z powodu zapalenia oskrzeli było 2,55 razy wyższe, a z powodu zaostrzenia astmy 7,69 razy wyższe w porównaniu z grupą w wieku 16–64 lata.

Zmiany wilgotności jako dodatkowy element zaostrzający efekt ekspozycji muszą być interpretowane z dużą ostrożnością oraz uwzględniać specyfikę innych składowych narażenia i klimatu. Massumi i wsp. (2017) przeprowadzili analizę 5307 hospitalizacji z powodu zaostrzeń astmy (w tym związanej z występowaniem burz w okresie „epidemicznym”) w Ahwaz (Iran) – uważanym za jedno z najbardziej zanieczyszczonych miast świata. Co zrozumiałe, stężenia zanieczyszczeń pyłowych zmniejszały się w okresie burz. Obserwowany wzrost ryzyka związanego ze zmianami stężeń zanieczyszczeń gazowych w okresie burz (NO , SO_2) nie przekraczał 1,5% – w porównaniu z 41,8% dla wzrostu wilgotności i 13% dla zwiększonego parowania.

Ekspozycja dzieci na zanieczyszczenia pyłowe może wiązać się z obniżoną sprawnością płuc. U zdrowych narażenie wywołuje dyskretne, przejściowe i zwykle nieodczuwalne zmiany w funkcjonowaniu układu oddechowego, związane z podrażnieniem i rozwojem stanu zapalnego. Można je wykazać dostatecznie czułymi metodami u dzieci żyjących na obszarach, gdzie następują okresy zwiększonych stężeń zanieczyszczeń. W grupie 100 tajwańskich dzieci w wieku szkolnym (średnia 10,6 lat), w tym 33 chorych na astmę, comiesięczne pomiary prowadzone przez Chen i wsp. (2011) wykazały, że wartości natężonej pojemności życiowej (*forced vital capacity* – FVC) obniżały się po upływie jednej doby po zwiększonym narażeniu na pył $PM_{2,5}$.

Dzieci przewlekle narażone na drobne pyły cechuje wolniejsze zwiększanie wartości bezwzględnych wskaźników oddechowych w procesie wzrastania. Obserwowano u nich zmiany strukturalne prowadzące do deficytów czynności układu oddechowego, których głównym wykładnikiem było niewielkie obniżenie natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej (*forced expiratory volume in one second* – FEV_1). Używając ilości węgla (sadzy) w makrofagach płucnych jako wskaźnika narażenia, wykazano związek narażenia z wielkością FEV_1 .

Grupa międzynarodowych ekspertów (Gehring i wsp. 2013) przeanalizowała wyniki pomiarów spirometrycznych pięciu europejskich kohort urodzeniowych, obserwowanych w Niemczech, Szwecji, Holandii i Wielkiej Brytanii. W grupie 5921 dzieci w wieku 6–8 lat zaobserwowano niewielkie obniżenie wskaźników czynnościowych u narażonych na niektóre zanieczyszczenia powietrza. Wzrost narażenia w miejscu zamieszkania (ale nie urodzenia) o $5 \mu g/m^3$ pyłu $PM_{2,5}$ wiązał się z obniżeniem FEV_1 o 1,77%.