

PRACA POGLĄDOWA/REVIEW PAPER

Wpływ komercyjnie dostępnych oczyszczaczy powietrza na objawy astmy oskrzelowej i alergii

The impact of commercially available air purifiers on bronchial asthma and allergy symptoms

Joanna Wieczfińska, Rafał Pawliczak

Zakład Immunopatologii, Oddział Nauk Biomedycznych, Wydział Lekarski, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Polska

STRESZCZENIE

Zanieczyszczenie powietrza i zmiana klimatu mają znaczący wpływ na zdrowie i samopoczucie człowieka oraz przyczyniają się do wystąpienia astmy oskrzelowej, alergii oraz innych przewlekłych chorób układu oddechowego. Zmniejszenie narażenia na czynniki środowiskowe w pomieszczeniach, co do których wykazano, że nasilają objawy astmy lub prowadzą do zaostrzeń astmy, jest ważnym elementem strategii postępowania z chorobami układu oddechowego. Obecne dowody sugerują, że przenośne urządzenia oczyszczające powietrze mogą być użytecznym sposobem zmniejszania narażenia na zanieczyszczenia, szczególnie u dzieci, ale także u dorosłych. Oczyszczacze powietrza mogą zmniejszać stężenie czynników wywołujących astmę oskrzelową w powietrzu w pomieszczeniach, jednak wyniki potwierdzające ich korzyści w przypadku problemów z oddychaniem nie zawsze były powtarzalne. W niniejszej pracy podsumowano wpływ zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniach na astmę oskrzelową i alergię u dzieci i dorosłych oraz efektywność oczyszczaczy powietrza w ograniczaniu skutków zanieczyszczeń.

SŁOWA KLUCZOWE

astma oskrzelowa, alergia, oczyszczacz powietrza, zanieczyszczenie powietrza, HEPA.

ABSTRACT

Air pollution and climate change have a significant impact on human health and well-being, and contribute to the onset and worsening of bronchial asthma, allergy and other chronic respiratory diseases. Reducing exposure to indoor environmental factors that have been shown to worsen asthma symptoms or exacerbate asthma is an important part of respiratory disease management strategies. Current evidence suggests that portable air purifiers could be a useful way of reducing exposure to pollutants, especially in children but also in adults. Air purifiers can reduce the concentration of triggers of asthma in indoor air, but the results supporting their benefits for breathing problems have not always been reproducible. This paper summarizes the effects of indoor air pollution on asthma and allergies in children and adults, and the effectiveness of air purifiers in reducing the effects of pollution.

KEY WORDS

bronchial asthma, allergy, air purifier, air pollution, HEPA.

ADRES DO KORESPONDENCJI

prof. dr hab. n. med. Rafał Pawliczak, Zakład Immunopatologii, Oddział Nauk Biomedycznych,
Wydział Lekarski, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, ul. Żeligowskiego 7/9, bud. 2 pok. 177, 90-752 Łódź,
tel./faks: +48 42 272 52 75, e-mail: rafal.pawliczak@csk.umed.lodz.pl

WPROWADZENIE

Jakość powietrza w miastach jest jednym z kluczowych czynników wpływających na ludzkie zdrowie [1]. Ze względu na globalny wzrost liczby chorób alergicznych w ostatnich latach więcej uwagi poświęca się jakości powietrza również w pomieszczeniach. Już w latach 80. ubiegłego wieku 1,3 miliarda ludzi mieszkało w miastach, w których naruszane były kryteria jakości otaczającego powietrza [2]. Mimo że stan powietrza w wielu aglomeracjach jest monitorowany, na licznych obszarach stwierdza się znacznie przekroczone normy zanieczyszczeń powietrza [3]. Kontrola ekspozycji na zanieczyszczenia powietrza i alergeny w pomieszczeniach opiera się na różnych strategiach zapobiegania, w tym filtracji powietrza. Redukcja narażenia obejmuje zwykle modyfikację nawyków mieszkańców, ale może również wymagać zmniejszenia źródła zanieczyszczenia środowiska alergenem lub usunięcia czynników wyzwalających, które mogą prowadzić do rozwoju lub utrzymywania się klinicznych objawów chorób układu oddechowego, w tym alergii lub astmy oskrzelowej [4, 5].

Zyskujące popularność przenośne oczyszczacze powietrza są stosowane od wielu lat w celu ograniczenia zanieczyszczeń i zmniejszenia narażenia na nie w pomieszczeniach. Na rynku dostępne są różne rodzaje filtrów, w tym wysokowydajne filtry HEPA z cząstkami stałymi, elektrofiltry (ESP) lub zasilane filtry elektroniczne, generatory jonów oraz filtry kompozytowe zawierające węgiel aktywny [6].

Niniejszy przegląd ma na celu omówienie wpływu zanieczyszczeń powietrza oraz przydatności i efektywności zastosowania oczyszczaczy powietrza w chorobach alergicznych, w tym chorobach układu oddechowego.

ZNACZENIE ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA W CHOROBYCH ALERGICZNYCH

Wiadomo, że cząsteczki zanieczyszczeń, w tym PM_{2,5} oraz PM₁₀ (*particulate matter*) w otaczającym powietrzu są szkodliwe dla układu oddechowego człowieka. Fiński Instytut Ochrony Środowiska oraz Unia Europejska za-

lecają, aby było nie więcej niż 35 dni w roku, w których jednodniowe wartości graniczne dla PM₁₀ zostały przekroczone [6–8].

Ze względu na połączenie warunków meteorologicznych, natężenia ruchu kołowego i zużycia paliw kopalnych, a także budynków, utrudniających cyrkulację powietrza w miastach, w środowisku miejskim zanieczyszczenia powietrza są powszechne. Alergie, astma oskrzelowa i zapalenie oskrzeli są głównymi problemami zdrowotnymi powodowanymi przez zanieczyszczenie powietrza, głównie dwutlenek siarki [9–11]. Pyły zawieszone PM_{2,5} stanowią znany czynnik wyzwalający astmę oskrzelową u dzieci i dorosłych [12, 13], choć coraz więcej danych sugeruje także związek zaostrzeń astmy oskrzelowej w związku z obecnością w powietrzu pyłów o większej średnicy – PM_{2,5} do PM₁₀ [14]. Przepuszczalnie wiąże się to z mechanizmami biologicznymi obejmującymi reakcje zapalne i atopowe wynikające z ekspozycji wziewnej na bioaktywny składnik lipopolisacharydowy [15]. Choć udział wielkości cząstek zawieszonych w powietrzu oraz ich składu nie jest w pełni zrozumiały, badania *in vitro* oraz na zwierzętach potwierdziły, że PM_{2,5–10} wywołują stan zapalny w górnych drogach oddechowych [12, 16, 17].

Jakość powietrza w pomieszczeniach sypialnych dzieci stanowi czynnik ryzyka ponownej hospitalizacji z powodu astmy oskrzelowej [18, 19]. Ponieważ dzieci, szczególnie noworodki, wdychają więcej powietrza niż dorośli, a ich płuca szybko się rozwijają, zanieczyszczenie powietrza wpływa na nie znacznie poważniej. Zanieczyszczenia powietrza powodują poważne problemy zdrowotne, takie jak choroby immunologiczne, neurologiczne i oddechowe, a także nowotwory [20, 21].

Atopowe zapalenie skóry (AZS) jest to przewlekła, nawrotowa choroba zapalna skóry, cechująca się silnym świądem. Chociaż występowanie tej choroby jest związane z czynnikami genetycznymi, częstość jej występowania wzasta i jest skorelowana z czynnikami środowiskowymi [22, 23]. W badaniach wykazano wpływ alergenów wziewnych, takich jak sierści zwierząt domowych, roztocze kurzu domowego, pyłki, na zaostrzenie AZS [24]. Zanieczyszczenia, zwłaszcza lotne związki organiczne, mogą

wpływać na powstawanie uszkodzeń bariery naskórkowej i nasilać niekorzystne skutki oddziaływania roztoczu kurzu domowego u osób z AZS [25, 26].

Zanieczyszczenia alergenami są szczególnie uciążliwe dla alergików oraz osób z atopią. Alergen kota (Fel d1) jest domowym alergenem całorocznym i częstą przyczyną chorób alergicznych, w których pośredniczą IgE. Jego stężenie koreluje z liczbą kotów w domu, lecz może być przenoszony na ubraniach i butach do domów, w których nie ma kotów, i utrzymywać się tam przez miesiące, a nawet lata [27]. Ponadto zwierzęta domowe są głównym źródłem endotoksyn w domach [28]. U osób uczulonych na kocie alergeny narażenie może nasilać związek endotoksyny z astmą i świszczącym oddechem [6]. Bardziej powszechna niż alergologia na alergen kota jest alergologia na roztocza kurzu domowego (Der p1 oraz Der p2). U dzieci z atopią może ona wzmagać stany zapalne dróg oddechowych i pogarszać czynność płuc. Nawet przy braku alergii czynniki środowiskowe mogą powodować rozwój objawów astmopodobnych, co prowadzi do błędnego zdiagnozowania astmy oskrzelowej [29]. Oczyszczanie powietrza, zmniejszając ilość unoszącego się w powietrzu alergenu Fel d1, prawdopodobnie zmniejszyłoby znacząco ilość alergenu roztoczy, ponieważ alergeny Der p1 i Der p2 w większości są przenoszone przez cząstki mniejsze niż 10 μm [6, 30].

Wspomniana wcześniej endotoksyna jest jedną z najsilniejszych toksyn prozapalnych i znajduje się w zanieczyszczeniach zarówno PM_{2,5}, jak i większych, występujących w pomieszczeniach mieszkalnych [31]. Narażenie na endotoksynę niekorzystnie wpływa na drogi oddechowe, biorąc udział w wywołaniu stanu zapalnego ich nabłonka. W domach osób niepalących endotoksyny znajdują się w kurzu zarówno osiadłym, jak i unoszącym się w powietrzu. Głównymi czynnikami narażenia jest obecność zwierząt domowych (szczególnie kotów lub psów) oraz liczba osób mieszkających w domu [32–34]. Dym tytoniowy zwiększa ponad 100-krotnie ekspozycję na endotoksyny. Narażenie na endotoksynę po urodzeniu, a także w okresie prenatalnym, może prowadzić do wzrostu stężenia IgE, co powoduje rozwój atopii i nadwrażliwości dróg oddechowych [34, 35].

U dzieci narażenie na bierne palenie wiąże się z większym prawdopodobieństwem zdiagnozowania astmy oskrzelowej, a także z pojawieniem się zaostrzeń astmy i świszczącego oddechu [36, 37]. Mimo że mechanizm zaostrzeń astmy oskrzelowej wywołanych dymem papierosowym nie jest dobrze poznany, w gospodarstwach domowych, w których mieszkają palacze tytoniu, stężenie zanieczyszczeń powietrza, w tym cząsteczek mniejszych niż 2,5 μm jest 2–3-krotnie wyższe niż w gospodarstwach domowych wolnych od dymu tytoniowego [38, 39]. Dodatkowymi czynnikami zwiększającymi narażenie na endotoksyny są jej źródła [dy-

wany, zwierzęta domowe oraz hodowlane, pleśnie, szkodniki (myszy, karaluchy), rodzaj ogrzewania], poziom utrzymania czystości, a także filtracja powietrza [16, 40–42].

WPŁYW FILTRACJI POWIETRZA NA PRZEBIEG I OBJAWY CHOROÓB ALERGICZNYCH UKŁADU ODDECHOWEGO

Filtracja powietrza jest jedną z metod poprawy wyników leczenia chorób alergicznych. Najczęściej używane są przenośne oczyszczacze powietrza, przy czym mogą różnić się typem filtra – dostępne są filtry typu HEPA oraz elektroniczne urządzenia elektrostatyczne [43]. W pracy Shaughnessy i wsp. stwierdzono, że oczyszczacze powietrza z filtrami HEPA są skuteczniejsze w usuwaniu cząstek stałych w pomieszczeniach niż elektroniczne systemy filtrów, jonizatory i generatory ozonu. Zastosowanie oczyszczaczy powietrza w pomieszczeniu powodowało znaczne zmniejszenie alergenu Fel d 1 w powietrzu [44]. Wykazano, że oczyszczacze powietrza z filtrami HEPA zmniejszają stężenia alergenów pochodzące od zwierząt domowych, a stosowanie wysokowydajnego oczyszczacza powietrza z tego typu filtrem może przynieść korzyści kliniczne pacjentom z alergiami układu oddechowego [43, 45].

Dobrym modelem do oceny skuteczności urządzeń filtrujących powietrze jest alergen kota, ponieważ znaczna część unoszącego się w powietrzu alergenu Fel d 1 jest przenoszona na cząstkach mniejszych niż 5 μm ; jest to najtrudniejszy do usunięcia alergen występujący w powietrzu [46, 47]. W opublikowanym w 2020 roku artykule autorstwa Gherasim i de Blay opisano badanie kliniczne z randomizacją przeprowadzone metodą podwójnie ślepej próby kontrolowane placebo, w którym znaczne zmniejszenie stężenia alergenu kota w powietrzu było związane z poprawą wczesnej i późnej reakcji astmatycznej o 60% [5]. Eggleston i wsp. wykazali, że zastosowanie oczyszczacza powietrza z filtrami HEPA przełożyło się na redukcję PM₁₀ o 30% po 6 miesiącach i o 39% po 12 miesiącach, podczas gdy w domach kontrolnych stężenia PM₁₀ wzrastały [48]. W rocznym badaniu z randomizacją Francis i wsp. oznaczyli kliniczne wyniki stosowania oczyszczacza powietrza HEPA zarówno w sypialni, jak i w salonie u dorosłych uczulonych astmatyków, posiadających psa lub kota [49]. Choć reaktywność oskrzeli i wymagania dotyczące leczenia okazały się statystycznie istotnie lepsze w porównaniu z grupą kontrolną, nie wykazano istotnych zmian w czynności płuc i stężeniach alergenów.

U dorosłych pacjentów z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc lub astmą oskrzelową już krótkotrwała ekspozycja na PM_{2,5} może nasilać objawy ze strony układu oddechowego i zmniejszać szczytowy przepływ wydechowy (PEF) [50, 51]. W zależności od zastosowanego modelu iloraz szans wystąpienia objawów ze strony układu odde-

chowego wynosił 1,22–1,57 przy wzroście stężenia PM_{2,5} o 50 µg/m³. Ponadto kilkudniowa ekspozycja na PM_{2,5} powodowała zmiany w wartości nateżonej objętości wydechowej pierwszosekundowej (FEV₁) o –7,02 ml przy wzroście o 10 µg/m³ [50, 52]. W badaniu z udziałem młodych ludzi wykazano z kolei, że wysokie stężenie PM_{2,5} może zmniejszać pojemność płuc mierzoną za pomocą FEV₁ [53]. Guo i wsp. potwierdzili te wyniki, precyzując, że PM_{2,5} zmniejsza FEV₁ każdego roku o 0,24% [54]. Nie wykazano jednak w tym badaniu poprawy FEV₁ związanej ze zmniejszeniem stężenia cząsteczek PM poprzez oczyszczanie powietrza filtrami HEPA.

Należy wspomnieć, że niekorzystny wpływ zanieczyszczeń powietrza (PM) może być łagodzony także poprzez stosowanie maseczek ochronnych, suplementację kwasami omega-3 i witaminą D. Zespół Brigham wykazał, że wyższe spożycie omega-3 wiąże się u dzieci ze zmniejszonym wpływem PM_{2,5} w pomieszczeniach [55–57].

PODSUMOWANIE

Filtracja powietrza jest często zalecana jako element kontroli środowiska u pacjentów z alergicznymi chorobami układu oddechowego [58]. Aktualne zalecenia zawarte w wytycznych dotyczących postępowania w przypadku astmy oskrzelowej zalecają indywidualną, ale wieloaspektową interwencję [59]. Uzyskanie dowodów na skuteczność zmniejszania ekspozycji na zanieczyszczenia w pomieszczeniach może pomóc zoptymalizować przyszłe interwencje oraz osiągnąć pozytywny efekt zdrowotny przy najbardziej efektywnym wykorzystaniu zasobów opieki zdrowotnej [60]. Wyniki badań sugerują, że przenośne środki czyszczące HEPA mogą pomóc w zmniejszeniu czynników wyzwalających objawy astmy oskrzelowej w powietrzu domowym [16, 61, 62]. W połączeniu z edukacją na temat astmy, kontrolą źródła zanieczyszczeń lub alergenów i odpowiednią wentylacją przenośne środki czyszczące HEPA mogą stanowić część skutecznej ogólnej strategii zmniejszania zachorowalności na astmę u dzieci i dorosłych.

Ochrona domów dzieci z astmą oskrzelową przed przedostawaniem się zanieczyszczeń z zewnątrz do pomieszczeń oraz kontrolowanie źródeł zanieczyszczeń znajdujących się w pomieszczeniach są ważnymi elementami programów edukacji na temat astmy oskrzelowej w tej społeczności i nie tylko. Należy promować dostęp do oczyszczaczy powietrza dla wrażliwych populacji o niskich dochodach, które często są najbardziej dotknięte zachorowalnością na astmę oskrzelową. Takie działania wraz z edukacją na temat astmy oskrzelowej i dostępem do leków mogą pomóc rodzinom osiągnąć poprawę ich stanu zdrowia dzieci chorych na astmę oskrzelową.

KONFLIKT INTERESÓW

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

PIŚMIENNICTWO

- Carvalho H. New WHO global air quality guidelines: more pressure on nations to reduce air pollution levels. *Lancet Planet Health* 2021; 5: e760-1.
- World Health Organization. Available at: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. 30.11.2021.
- Kara E, Ozdilek HG, Kara EE. Ambient air quality and asthma cases in Nigde, Turkey. *Environ Sci Pollut Res Int* 2013; 20: 4225-34.
- Hansel NN, Putcha N, Woo H, et al. Randomized clinical trial of air cleaners to improve indoor air quality and COPD health: results of the CLEAN AIR STUDY. *Am J Respir Crit Care Med* 2022; 205: 421-30.
- Gherasim A, de Blay F. Does air filtration work for cat allergen exposure? *Curr Allergy Asthma Rep* 2020; 20: 18.
- Gherasim A, Jacob A, Schoettel F, et al. Efficacy of air cleaners in asthmatics allergic to cat in ALYATEC((R)) environmental exposure chamber. *Clin Exp Allergy* 2020; 50: 160-9.
- SYKE (Finnish Environment Institute) (2008) Finland – state of the environment. Putkuri E, Lindholm M, Lyytimäki J (eds) 20 pp. <https://www.environment.fi/stateofenvironment2008> (content on 04.12.2021)
- European Union – Air Quality Standards. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>. 30.11.2021.
- Aithal SS, Gill S, Satia I, et al. The effects of household air pollution (hap) on lung function in children: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18: 11973.
- Ward C, Shukla SD, Haydn Walters E. Air pollution as a risk factor for lung cancer: potential mechanisms. *Am J Respir Crit Care Med* 2022; 205: 367.
- Xu H, Liu S, Wang Y, et al. The mediating role of vascular inflammation in traffic-related air pollution associated changes in insulin resistance in healthy adults. *Int J Hyg Environ Health* 2021; 239: 113878.
- Orellano P, Quaranta N, Reynoso J, et al. Effect of outdoor air pollution on asthma exacerbations in children and adults: systematic review and multilevel meta-analysis. *PLoS One* 2017; 12: e0174050.
- Fan J, Li S, Fan C, et al. The impact of PM_{2.5} on asthma emergency department visits: a systematic review and meta-analysis. *Environ Sci Pollut Res Int* 2016; 23: 843-50.
- Tang CS, Chang LT, Lee HC, et al. Effects of personal particulate matter on peak expiratory flow rate of asthmatic children. *Sci Total Environ* 2007; 382: 43-51.
- Jalava PI, Happonen MS, Huttunen K, et al. Chemical and microbial components of urban air PM cause seasonal variation of toxicological activity. *Environ Toxicol Pharmacol* 2015; 40: 375-87.
- Riederer AM, Krenz JE, Tchong-French MI, et al. Effectiveness of portable HEPA air cleaners on reducing indoor endotoxin, PM₁₀, and coarse particulate matter in an agricultural cohort of children with asthma: a randomized intervention trial. *Indoor Air* 2021; 31: 1926-39.
- Duan R, Niu H, Yu T, et al. Adverse effects of short-term personal exposure to fine particulate matter on the lung function of patients with chronic obstructive pulmonary disease and asthma: a longi-

- tudinal panel study in Beijing, China. *Environ Sci Pollut Res Int* 2021; 28: 47463-73.
18. Lynch KM, Mirabelli MC. Air quality awareness and behaviors of U.S. adolescents with and without asthma. *Am J Prev Med* 2021; 61: 724-8.
 19. Piekarska B, Stankiewicz-Choroszuca BL, Sybilski AJ, et al. Effect of indoor air quality on the natural history of asthma in an urban population in Poland. *Allergy Asthma Proc* 2018; 39: e64-70.
 20. Pan R, Wang X, Yi W, et al. Interactions between climate factors and air quality index for improved childhood asthma self-management. *Sci Total Environ* 2020; 723: 137804.
 21. Olschewski P, Kaspar-Ott I, Koller S, et al. Associations between weather, air quality and moderate extreme cancer-related mortality events in Augsburg, Southern Germany. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18: 11737.
 22. Murota H, Koike Y, Morisaki H, et al. Exacerbating factors and disease burden in patients with atopic dermatitis. *Allergol Int* 2022; 71: 25-30.
 23. Tamagawa-Mineoka R, Katoh N. Atopic dermatitis: identification and management of complicating factors. *Int J Mol Sci* 2020; 21: 2671.
 24. Capristo C, Romei I, Boner AL. Environmental prevention in atopic eczema dermatitis syndrome (AEDS) and asthma: avoidance of indoor allergens. *Allergy* 2004; 59 Suppl 78: 53-60.
 25. Kim J, Kim EH, Oh I, et al. Symptoms of atopic dermatitis are influenced by outdoor air pollution. *J Allergy Clin Immunol* 2013; 132: 495-8e1.
 26. Lee JH, Lee HS, Park MR, et al. Relationship between indoor air pollutant levels and residential environment in children with atopic dermatitis. *Allergy Asthma Immunol Res* 2014; 6: 517-24.
 27. Al-Tamprouri C, Malin B, Bill H, et al. Cat and dog ownership during/after the first year of life and risk for sensitization and reported allergy symptoms at age 13. *Immun Inflamm Dis* 2019; 7: 250-7.
 28. Platts-Mills JA, Custis NJ, Woodfolk JA, et al. Airborne endotoxin in homes with domestic animals: implications for cat-specific tolerance. *J Allergy Clin Immunol* 2005; 116: 384-9.
 29. Ruggieri S, Drago G, Longo V, et al. Sensitization to dust mite defines different phenotypes of asthma: a multicenter study. *Pediatr Allergy Immunol* 2017; 28: 675-82.
 30. Cheng Q, Yang CY, Guo BY, Liu M. Analysis of mechanism of PM2.5 and house dust mite antigen Der p1 in attack stage of child asthma. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2017; 21: 2458-62.
 31. Yen YC, Yang CY, Mena KD, et al. Jumping on the bed and associated increases of PM10, PM2.5, PM1, airborne endotoxin, bacteria, and fungi concentrations. *Environ Pollut* 2019; 245: 799-809.
 32. Ownby DR, Peterson EL, Wengienka G, et al. Are cats and dogs the major source of endotoxin in homes? *Indoor Air* 2013; 23: 219-26.
 33. Gehring U, Bischof W, Schlenvoigt G, et al. Exposure to house dust endotoxin and allergic sensitization in adults. *Allergy* 2004; 59: 946-52.
 34. Sikdar S, Wyss AB, Lee MK, et al. Interaction between Genetic Risk Scores for reduced pulmonary function and smoking, asthma and endotoxin. *Thorax* 2021; 76: 1219-26.
 35. Larsson L, Szponar B, Pehrson C. Tobacco smoking increases dramatically air concentrations of endotoxin. *Indoor Air* 2004; 14: 421-4.
 36. Chilmoneczyk BA, Salmun LM, Megathlin KN, et al. Association between exposure to environmental tobacco smoke and exacerbations of asthma in children. *N Engl J Med* 1993; 328: 1665-9.
 37. Wawrzyniak A, Lipinska-Opalka A, Kalicki B, Kloc M. The effect of passive exposure to tobacco smoke on the immune response in children with asthma. *Subst Use Misuse* 2021; 56: 424-30.
 38. Lanphear BP, Hornung RW, Khoury J, et al. Effects of HEPA air cleaners on unscheduled asthma visits and asthma symptoms for children exposed to secondhand tobacco smoke. *Pediatrics* 2011; 127: 93-101.
 39. Booyalayan H, Abdualrasool M, AlShanfari S, et al. Exposure to environmental tobacco smoke and prevalence of asthma among adolescents in a middle eastern country. *BMC Public Health* 2020; 20: 1210.
 40. Thorne PS, Mendy A, Metwali N, et al. Endotoxin exposure: predictors and prevalence of associated asthma outcomes in the United States. *Am J Respir Crit Care Med* 2015; 192: 1287-97.
 41. Barnig C, Reboux G, Roussel S, et al. Indoor dust and air concentrations of endotoxin in urban and rural environments. *Lett Appl Microbiol* 2013; 56: 161-7.
 42. Pavilonis BT, Anthony TR, O'Shaughnessy PT, et al. Indoor and outdoor particulate matter and endotoxin concentrations in an intensely agricultural county. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2013; 23: 299-305.
 43. Sublett JL. Effectiveness of air filters and air cleaners in allergic respiratory diseases: a review of the recent literature. *Curr Allergy Asthma Rep* 2011; 11: 395-402.
 44. Shaughnessy RJ, Levetin E, Blocker J, Sublette K. Effectiveness of portable indoor air cleaners: sensory testing results. *Indoor Air* 1994; 4: 179-88.
 45. Sulser C, Schulz G, Wagner P, et al. Can the use of HEPA cleaners in homes of asthmatic children and adolescents sensitized to cat and dog allergens decrease bronchial hyperresponsiveness and allergen contents in solid dust? *Int Arch Allergy Immunol* 2009; 148: 23-30.
 46. Scheib H, Nekaris KA, Rode-Margono J, et al. The toxicological intersection between allergen and toxin: a structural comparison of the cat dander allergenic protein Fel d1 and the slow loris brachial gland secretion protein. *Toxins* 2020; 12: 86.
 47. Munir AK, Einarsson R, Dreborg S. Variability of airborne cat allergen, Fel d1, in a public place. *Indoor Air* 2003; 13: 353-8.
 48. Eggleston PA, Butz A, Rand C, et al. Home environmental intervention in inner-city asthma: a randomized controlled clinical trial. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2005; 95: 518-24.
 49. Francis H, Fletcher G, Anthony C, et al. Clinical effects of air filters in homes of asthmatic adults sensitized and exposed to pet allergens. *Clin Exp Allergy* 2003; 33: 101-5.
 50. Ward DJ, Ayres JG. Particulate air pollution and panel studies in children: a systematic review. *Occup Environ Med* 2004; 61: e13.
 51. Velicka H, Puklova V, Keder J, et al. Asthma exacerbations and symptom variability in children due to short-term ambient air pollution changes in Ostrava, Czech Republic. *Cent Eur J Public Health* 2015; 23: 292-8.
 52. Park HJ, Lee HY, Suh CH, et al. The effect of particulate matter reduction by indoor air filter use on respiratory symptoms and lung function: a systematic review and meta-analysis. *Allergy Asthma Immunol Res* 2021; 13: 719-32.
 53. Gauderman WJ, Avol E, Gilliland F, et al. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *N Engl J Med* 2004; 351: 1057-67.
 54. Guo C, Zhang Z, Lau AKH, et al. Effect of long-term exposure to fine particulate matter on lung function decline and risk of chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan: a longitudinal, cohort study. *Lancet Planet Health* 2018; 2: e114-25.

55. Tong H, Zhang S, Shen W, et al. Lung function and short-term ambient air pollution exposure: differential impacts of omega-3 and omega-6 fatty acids. *Ann Am Thorac Soc* 2021. doi: 10.1513/AnnalsATS.202107-767OC.
56. Whyand T, Hurst JR, Beckles M, Caplin ME. Pollution and respiratory disease: can diet or supplements help? A review. *Respir Res* 2018; 19: 79.
57. Brigham EP, Woo H, McCormack M, et al. Omega-3 and omega-6 intake modifies asthma severity and response to indoor air pollution in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2019; 199: 1478-86.
58. Lee GH, Kim JH, Kim S, et al. Effects of indoor air purifiers on children with asthma. *Yonsei Med J* 2020; 61: 310-6.
59. Global Initiative for Asthma. Available at: <https://ginasthma.org/reports/> 30.11.2021.
60. Peng RD, Butz AM, Hackstadt AJ, et al. Estimating the health benefit of reducing indoor air pollution in a randomized environmental intervention. *J R Stat Soc Ser A Stat Soc* 2015; 178: 425-43.
61. Riederer AM, Krenz JE, Tchong-French MI, et al. Effectiveness of portable HEPA air cleaners on reducing indoor PM_{2.5} and NH₃ in an agricultural cohort of children with asthma: a randomized intervention trial. *Indoor Air* 2021; 31: 454-66.
62. James C, Bernstein DI, Cox J, et al. HEPA filtration improves asthma control in children exposed to traffic-related airborne particles. *Indoor Air* 2020; 30: 235-43.