ISSN:3030-332X
Impact factor: 9,493
International journal of scientific researchers

ATMOSFERA HAVOSI IFLOSLANISHINING NAFAS FIZIOLOGIYASIGA TA'SIRI VA PROFILAKTIK TIBBIYOTDAGI INTEGRATIV YONDASHUVLAR

Raqibov Faxriddin Abdumuxtorovich
"Central Asian Medical University" katta o'qituvchisi.
e.mail: faxriddinraqibov@gmail.com
https://orcid.org/0009-0004-4017-4838
Bekmirzayeva Xursanoy Adxamjon qizi
"Central Asian Medical University" talabasi.
https://doi.org/10.5281/zenodo.18698831

Kalit so'zlar: atmosfera havosi, nafas fiziologiyasi, PM2.5, mukotsiliar klirens, alveolyar-kapillyar membrana, O'SOK, spirometriya, GAT, sun'iy intellekt, profilaktik tibbiyot.

Kirish. Atmosfera havosining ifloslanishi XXI asrda jamoat salomatligi uchun eng yirik ekologik xavflardan biri sifatida baholanadi. Nafas tizimi tashqi muhit bilan bevosita aloqada bo'lgani sababli havo tarkibidagi zarrachali moddalar, toksik gazlar va kimyoviy aerozollar organizmga eng avvalo nafas yo'llari orqali kiradi. Monografik manbada qayd etilganidek, nafas tizimi sutka davomida katta hajmdagi havoni filtrlab, kislorodni organizmga yetkazish va karbonat angidridni chiqarish vazifasini bajaradi; shu bois uning mukotsiliar, alveolyar va neyrogumoral mexanizmlari ekologik yuklamaga nisbatan doimiy himoya va moslashuv holatida bo'ladi [1].

Global adabiyotlar ma'lumotlari havo ifloslanishini nafaqat o'pka kasalliklari, balki yurak-qon tomir, metabolik va tizimli yallig'lanish jarayonlari bilan ham bog'laydi. Lancet Commission yangilangan tahliliga ko'ra, ekologik ifloslanish dunyo miqyosida har yili millionlab erta o'limlarga sabab bo'ladi, atmosfera havosi ifloslanishi esa bu yukning katta qismini tashkil etadi [2]. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti tomonidan 2021-yilda qabul qilingan havo sifati bo'yicha yangilangan tavsiyalar PM2.5 va PM10 zarrachalari uchun yanada qat'iy chegaralarni belgilab, past konsentratsiyalarda ham salomatlik xavfi mavjudligini ta'kidlaydi [3].

O'zbekiston sharoitida masalaning dolzarbligi ikki omil bilan kuchayadi: birinchidan, quruq va kontinental iqlim sharoitida chang bo'ronlari hamda tabiiy aerozollar mavsumiy ravishda nafas tizimiga yuklama beradi; ikkinchidan, yirik shaharlar, transport oqimi va sanoat manbalari antropogen pollyutantlar miqdorini oshiradi. Monografiyada aynan shu regional xususiyatlar — Orolbo'yi tuz-chang aerozollari, urbanizatsiya, PM2.5/PM10 muammosi va sanitariya-epidemiologik monitoring zarurati alohida ilmiy muammo sifatida ko'rsatilgan [1].

Mazkur maqolaning ilmiy ahamiyati shundaki, unda normal fiziologiya, ekologik gigiyena, pulmonologiya va profilaktik tibbiyot kesishmasida atmosfera ifloslanishining nafas fiziologiyasiga ta'siri integrativ tarzda ko'rib chiqiladi. Maqola faqat kasalliklar ro'yxatini bayon qilish bilan cheklanmay, balki pollyutantlar ta'sirining funksional, hujayraviy va molekulyar mexanizmlarini O'zbekiston sharoitida profilaktik strategiyalar bilan bog'laydi.

Tadqiqot maqsadi. Tadqiqotning maqsadi — atmosfera havosi ifloslanishining nafas tizimi fiziologiyasiga ta'sir mexanizmlarini monografik va xalqaro ilmiy manbalar asosida tizimli tahlil qilish hamda O'zbekiston sharoitida respirator salomatlikni muhofaza qilishga qaratilgan profilaktik yondashuvlarni ilmiy asoslashdan iborat.

Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi: nafas tizimining asosiy himoya va gaz almashinuvi mexanizmlarini tahlil qilish; PM2.5, PM10, SO2, NOx, O3, og‘ir metallar va tuz-chang aerozollarining patofiziologik ta’sirini tizimlashtirish; spirometrik ko‘rsatkichlar orqali obstruktiv va restriktiv o‘zgarishlarni baholash mezonlarini ko‘rsatish; O‘zbekiston sharoitida chang bo‘ronlari, Orolbo‘yi va urbanizatsiya omillarining profilaktik tibbiyotdagi ahamiyatini ochib berish; GAT-xaritalash, sun’iy intellekt va nafas reabilitatsiyasini birlashtirgan integrativ profilaktika modelini ishlab chiqish.

Material va metodlar. Maqola tahliliy-obzor xarakteriga ega. Asosiy material sifatida F.A. Raqibovning “Atmosfera havosi ifloslanishi va nafas fiziologiyasi: profilaktik tibbiyotdagi ahamiyati” nomli monografiyasidagi nazariy, gigiyenik va profilaktik ma’lumotlar olindi [1]. Mazkur manba nafas fiziologiyasi, atmosfera havosi tarkibi, ekologik-gigiyenik omillar, pollyutantlarning patofiziologik ta’siri, xavfni baholash metodologiyasi va profilaktik strategiyalarni qamrab olgani sababli maqola uchun konseptual asos vazifasini bajardi.

Qo‘shimcha ravishda havo ifloslanishi va salomatlik, PM zarrachalarining respirator tizimga ta’siri, O‘SOK/COPD, spirometriya talqini, nafas mashqlari va airway clearance texnikalari bo‘yicha xalqaro manbalar tahlil qilindi [2–10]. Ma’lumotlar tizimli-tahliliy, qiyosiy-gigiyenik va patofiziologik sintez usullari orqali umumlashtirildi. Maqolada yangi klinik tajriba yoki bemorlar ishtirokidagi kuzatuv o‘tkazilmagan; natijalar monografik manba va nashr etilgan ilmiy adabiyotlar asosida nazariy-amaliy model sifatida shakllantirildi.

Tahlil uch bosqichda bajarildi. Birinchi bosqichda nafas tizimining fiziologik himoya zanjiri — yuqori nafas yo‘llarining konditsioner funksiyasi, mukotsiliar klirens, alveolyar-kapillyar membrana va ventilatsiya-perfuziya muvozanati ajratib olindi. Ikkinchi bosqichda atmosfera pollyutantlarining ushbu zanjirga ta’siri mexanizmlari — epitelial shikastlanish, oksidativ stress, yallig‘lanish, obstruksiya, fibroz va genotoksik xavf yo‘nalishlari bo‘yicha tasniflandi. Uchinchi bosqichda O‘zbekiston sharoitiga mos profilaktik choralar — skrining, monitoring, GAT-xaritalash, individual himoya, reabilitatsiya va raqamli prognozlash integratsiyasi ishlab chiqildi.

Natijalar. 1. Nafas tizimining ekologik himoya zanjiri. Tahlil shuni ko‘rsatadiki, nafas tizimi atmosfera havosi sifatining o‘zgarishiga faqat mexanik filtr sifatida emas, balki ko‘p bosqichli fiziologik himoya tizimi sifatida javob beradi. Yuqori nafas yo‘llari havoni isitadi, namlaydi va yirik zarrachalardan tozalaydi. Bunda burun bo‘shlig‘i, shilliq qavat, kiprikli epiteliy va sekretor hujayralar havoning alveolalarga yetib borishidan oldin uni fiziologik jihatdan moslashtiradi. Monografiyada bu mexanizm O‘zbekistonning quruq va changli iqlimi uchun “biologik konditsioner” sifatida talqin qilingan [1].

Mukotsiliar klirens nafas yo‘llarida yot modda va mikroorganizmlarni chiqarib tashlovchi birlamchi himoya mexanizmidir. PM2.5 va PM10 zarrachalarining uzoq muddatli ta’siri kiprikchalar harakatini susaytirishi, shilliq xossalarini o‘zgartirishi, epitelial to‘siq butunligini buzishi va yallig‘lanish mediatorlarini faollashtirishi mumkin. Kayalar va hammualliflarining sharhida PM zarrachalari mukotsiliar disfunksiya, epitelial plastiklik, yallig‘lanish va havo yo‘llari remodellanishi bilan bog‘liqligi ko‘rsatilgan [5].

Alveolyar-kapillyar membrana gaz almashinuvi samaradorligini belgilovchi markaziy tuzilma hisoblanadi. Uning juda yupqaligi kislorod va karbonat angidrid diffuziyasini ta’minlaydi. Biroq surunkali yallig‘lanish, oksidativ stress yoki toksik aerozollar ta’sirida membrana o‘tkazuvchanligi ortishi, interstitsial shish, fibroz va diffuzion masofa uzayishi yuzaga keladi. Natijada gipoksemiya, ventilatsiya-perfuziya nomutanosibligi va nafas yetishmovchiligi xavfi ortadi [1].

2. Atmosfera pollyutantlari va funksional o‘zgarishlar. Atmosfera ifloslantiruvchilarining nafas tizimiga ta’siri ularning fizik-kimyoviy xususiyatlari, zarracha diametri, suvda eruvchanligi, ekspozitsiya davomiyligi va individual sezuvchanlikka bog‘liq. PM10 odatda yuqori va yirik bronxlarda ushlanib qolishi mumkin, PM2.5 esa kichik bronxiolalar hamda alveolyar bo‘limlargacha yetib boradi. Shu sababli

mayda dispers zarrachalar nafaqat mahalliy yallig‘lanish, balki tizimli oksidativ stress va endotelyal disfunksiyaga ham sabab bo‘lishi mumkin [2,5].

Gazsimon pollyutantlar orasida SO2, NOx, O3 va CO alohida ahamiyatga ega. SO2 va kislotali aerozollar suvda eruvchanligi sababli yuqori nafas yo‘llari shilliq qavatini tez ta’sirlantiradi; NOx va ozon esa pastki nafas yo‘llarida epitelial to‘siqni zararlashi, bronxial giperreaktivlik va yallig‘lanish javobini kuchaytirishi mumkin. CO gemoglobin bilan yuqori affinitetda bog‘lanib, to‘qimalarga kislorod yetkazilishini cheklaydi. Og‘ir metallar va politsiklik aromatik uglevodorodlar esa DNK shikastlanishi, epigenetik o‘zgarishlar va karsinogenez xavfini kuchaytiruvchi omillar sifatida baholanadi [1,2].

Spirometriya atmosfera ifloslanishi bilan bog‘liq funksional o‘zgarishlarni erta aniqlashda muhim diagnostik vositadir. FEV1 ko‘rsatkichining pasayishi birinchi soniyada havo chiqarish qobiliyatining cheklanganini bildiradi. FEV1/FVC nisbatining pasayishi bronxial obstruksiyaning asosiy spirometrik belgilaridan biri bo‘lib, O‘SOK/COPD tashxisida bronxolitik sinamadan keyingi FEV1/FVC <0,70 mezoni keng qo‘llanadi [4,6]. ERS/ATS texnik standartlari spirometriyani talqin qilishda obstruktiv va restriktiv ventilatsion buzilishlarni farqlashda FEV1, FVC, FEV1/FVC va o‘pka hajmlarini kompleks baholash zarurligini ta’kidlaydi [6].

Zarrachali ifloslanish o‘pka funksional ko‘rsatkichlariga bevosita ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Sog‘lom kattalar bo‘yicha tizimli tahlil va meta-tahlilda qisqa muddatli mayda zarrachalar ekspozitsiyasi FEV1 hamda FVC pasayishi bilan bog‘liqligi qayd etilgan [7]. Monografik tahlilda ham PM2.5 va PM10 ta’siri vaqt o‘tishi bilan havo oqimi cheklanishi, qoldiq hajmning ortishi, VC/FVC pasayishi va restriktiv yoki obstruktiv ko‘rsatkichlar bilan namoyon bo‘lishi mumkinligi asoslangan [1].

3. Patofiziologik mexanizmlar tizimi

Ta’sir omili	Asosiy fiziologik nishon	Kutiladigan oqibat
PM2.5 va PM10	Kiprikli epiteliy, mukotsiliar klirens, kichik bronxiolalar	Yallig‘lanish, havo yo‘llari remodellanishi, FEV1/FVC pasayishi
SO2, NOx, O3	Shilliq qavat, bronx silliq mushaklari, epitelial to‘siq	Ta’sirlanish, bronxial giperreaktivlik, obstruktiv simptomlar
Og‘ir metallar va PAU	Hujayra DNKsi, antioksidant fermentlar, alveolyar makrofaglar	Oksidativ stress, genotoksiklik, karsinogenez xavfi
Tuz-chang aerozollari	Yuqori nafas yo‘llari, alveolyar-kapillyar membrana	Surunkali ta’sirlanish, quruqlik, diffuzion buzilishlar
CO	Gemoglobin va to‘qimalarga kislorod yetkazilishi	Karbogemoglobin hosil bo‘lishi, gipoksiya xavfi

Jadvaldan ko‘rinadiki, atmosfera havosi ifloslanishi ko‘p bosqichli patofiziologik jarayon sifatida kechadi: dastlab shilliq qavat va mukotsiliar klirens zararlanadi, keyin epitelial to‘siq va bronxial tonus buziladi, uzoq muddatli ta’sirda esa alveolyar-kapillyar membrana, qon gazlari muvozanati va tizimli yallig‘lanish jarayonlari qo‘shiladi. Bunday zanjir profilaktik tibbiyotda faqat klinik simptomlar paydo bo‘lgandan keyin emas, balki subklinik bosqichdayoq skrining va monitoringni yo‘lga qo‘yishni talab etadi.

4. O‘zbekiston sharoitida regional xavf modeli. O‘zbekistonning arid iqlimi, mavsumiy chang bo‘ronlari, Orolbo‘yi ekologik muammosi, sanoat hududlari va transport zichligi nafas tizimiga ta’sir qiluvchi “regional eksposom”ni shakllantiradi. Bunday sharoitda aholi nafaqat bitta pollyutantga, balki

chang, tuz, metall, gaz va meteorologik omillarning birgalikdagi ta'siriga duch keladi. Monografiyada shu holat tabiiy va antropogen omillarning sinergik ta'siri sifatida baholangan [1].

Tuz-chang aerozollari yuqori nafas yo'llari shilliq qavatini quritishi, mahalliy himoya mexanizmlarini susaytirishi va kiprikli epiteliy faoliyatini izdan chiqarishi mumkin. Shahar sharoitida esa transport chiqindilari va ikkilamchi aerozollar bronxial giperreaktivlik, O'SOK, bronxit, astma xurujlari va respirator infeksiyalar og'ir kechishiga qo'shimcha omil bo'ladi. GOLD ilmiy qo'mitasi havo ifloslanishining gazsimon va zarrachali komponentlari COPD patogenezi va kechishida ahamiyatli ekanini alohida qayd etadi [4].

Regional modelning amaliy jihati shundaki, atmosferaga oid ma'lumotlar klinik ko'rsatkichlar bilan bog'lanishi kerak. Masalan, PM2.5 va PM10 monitoringi, aholi murojaatlari, spirometriya natijalari, pulsoksimetriya, balg'am bilan kechuvchi kasalliklar, tez yordam chaqiriqlari va mavsumiy meteorologik ko'rsatkichlar yagona ma'lumot tizimida tahlil qilinsa, yuqori xavf zonalari aniqlanadi. Monografiyada GAT-xaritalash va sun'iy intellekt algoritmlarini respirator xavfni prognozlashda qo'llashning nazariy asoslari taklif etilgan [1].

Muhokama. Olingan tahliliy natijalar atmosfera havosi ifloslanishining nafas fiziologiyasiga ta'siri oddiy irritatsiya yoki vaqtinchalik yo'tal bilan cheklanmasligini ko'rsatadi. U nafas tizimi gomeostazining bir nechta darajasini izdan chiqaradi: mexanik himoya, shilliq sekret reologiyasi, kiprikli epiteliy harakati, alveolyar diffuziya, bronxial tonus, qonning kislorod tashish imkoniyati va neyrogumoral boshqaruv. Shu sababli ekologik pulmonologiya normal fiziologiya va profilaktik tibbiyot uchun alohida integrativ yo'nalish sifatida qaralishi lozim.

Maqoladagi muhim xulosa shuki, PM2.5 va PM10 zarrachalari faqat "chang" sifatida emas, balki kimyoviy tashuvchi platforma sifatida ham xavflidir. Ularning yuzasida og'ir metallar, organik birikmalar va ikkilamchi aerozol komponentlari adsorbsiyalanishi mumkin. Bu zarrachalar kichik bronxiolalargacha yetib borib, alveolyar makrofaglar va epiteliy hujayralarida oksidativ stressni faollashtiradi. Natijada mahalliy yallig'lanish surunkali tus oladi, remodellanish kuchayadi va o'pka funksional zahiralari kamayadi [5].

Spirometriya ekologik xavf guruhlarini erta aniqlashda eng qulay usullardan biridir. Ayniqsa FEV1, FVC va FEV1/FVC nisbatining muntazam baholanishi subklinik obstruksiya va restriktiv tendensiyalarni aniqlash imkonini beradi. Bu yondashuv O'zbekistonning changli hududlarida, sanoat markazlarida, transport zich bo'lgan shaharlarda, bolalar, keksalar, homilador ayollar, O'SOK yoki bronxial astmasi bor bemorlar hamda kasbiy chang omillariga duch keluvchi ishchilar orasida maqsadli qo'llanishi mumkin [6,7].

Profilaktik yondashuv faqat tashqi muhitni nazorat qilish bilan cheklanmasligi kerak. Nafas mushaklarini mashq qildirish, diafragmal nafas olish, lablarni yarim yumgan holda nafas chiqarish, individual jismoniy yuklama, o'pka reabilitatsiyasi va nafas yo'llarini tozalash texnikalari respirator funksional zahiralarni qo'llab-quvvatlashga xizmat qiladi. Biroq xalqaro tahlillar nafas mashqlari va airway clearance texnikalarining samarasi bemor tanlovi, kasallik bosqichi va metodikaga rioya qilishga bog'liqligini ko'rsatadi; shuning uchun ularni universal "eng samarali" usul emas, balki kompleks reabilitatsiyaning muhim tarkibiy qismi sifatida qo'llash ilmiy jihatdan to'g'riroqdir [8,9].

O'zbekiston uchun profilaktika modelining asosiy ustunligi uni mahalliy sharoitga moslashtirishdadir. Xalqaro standartlar PM2.5 va PM10 uchun umumiy chegaralarni belgilaydi [3], ammo Orolbo'yi tuz-chang aerozollari, arid hududlar meteorologiyasi, mavsumiy chang bo'ronlari va shaharsozlik xususiyatlari regional ko'rsatkichlarni ham talab qiladi. Shu bois sanitariya-epidemiologiya xizmati, ekologiya tashkilotlari, tibbiyot muassasalari va ilmiy markazlar o'rtasida ma'lumot almashinuvi kuchaytirilishi lozim.

GAT va sun'iy intellektdan foydalanish ushbu yo'nalishda istiqbolli hisoblanadi. GAT havo ifloslanishi o'choqlari, shamol yo'nalishi, sanoat manbalari, aholi zichligi va kasallanish ko'rsatkichlarini

fazoviy bog‘laydi. Sun’iy intellekt esa turli manbalardan olingan ma’lumotlar — havo sifati, spirometriya, pulsoksimetriya, laborator ko‘rsatkichlar va tibbiy murojaatlar — asosida xavf prognozini shakllantirishi mumkin. Bunday yondashuv klinik simptomlar rivojlanishidan oldin xavf guruhlarini ajratish imkonini beradi [1].

Xulosa. Atmosfera havosi ifloslanishi nafas tizimi fiziologiyasiga ko‘p darajali ta’sir ko‘rsatadi. PM2.5, PM10, gazsimon pollyutantlar, og‘ir metallar va tuz-chang aerozollari mukotsiliar klirensni susaytiradi, epitelial to‘siq funksiyasini buzadi, oksidativ stress va surunkali yallig‘lanishni faollashtiradi, alveolyar-kapillyar membrana orqali gazlar diffuziyasini cheklaydi.

O‘pka funksional ko‘rsatkichlari ekologik yuklamaning erta indikatorlari sifatida ahamiyatlidir. FEV1 pasayishi, FEV1/FVC nisbatining kamayishi, FVC/VC o‘zgarishlari, RV ortishi yoki TLC pasayishi nafas tizimidagi obstruktiv va restriktiv tendensiyalarni baholashda muhim mezonlar bo‘lib xizmat qiladi.

O‘zbekiston sharoitida respirator salomatlikni muhofaza qilish regional xususiyatlarni hisobga olishi kerak. Chang bo‘ronlari, Orolbo‘yi aerozollari, sanoat va transport chiqindilarining sinergik ta’siri profilaktik tibbiyotda oddiy umumiy tavsiyalardan ko‘ra, skrining, monitoring, GAT-xaritalash va sun’iy intellekt asosida shaxsiylashtirilgan yondashuvlarni talab etadi.

Maqolaning ilmiy yangiligi nafas fiziologiyasi, ekologik gigiyena va raqamli profilaktika yondashuvlarini yagona konseptual modelga birlashtirishdan iborat. Ushbu model havo sifati, o‘pka funksiyasi va aholi salomatligi ko‘rsatkichlarini integratsiya qilish orqali respirator xavfni erta aniqlash va oldini olishga xizmat qilishi mumkin.

Amaliy tavsiyalar:

1. Birlamchi tibbiy bo‘g‘inda chang bo‘ronlari va havo sifati yomonlashadigan hududlarda bolalar, keksalar, surunkali bronxit, astma va O‘SOK bilan kasallangan shaxslar uchun yillik spirometrik skrining dasturlarini joriy etish maqsadga muvofiq.

2. Sanitariya-epidemiologiya xizmatlari PM2.5, PM10, NOx, SO2, O3, CO va ayrim og‘ir metallarni real vaqt rejimida monitoring qilish tizimini bosqichma-bosqich kengaytirishi, natijalarni tibbiy murojaatlar va respirator kasallanish ko‘rsatkichlari bilan bog‘lashi zarur.

3. Yirik shaharlar va sanoat hududlarida GAT asosida “respirator xavf xaritalari”ni ishlab chiqish, bunda havo sifati, shamol yo‘nalishi, aholi zichligi, tez yordam chaqiriqlari va ambulator murojaatlar integratsiya qilinishi lozim.

4. Xavf guruhlarida nafas reabilitatsiyasi, diafragmal nafas mashqlari, individual jismoniy faollik, balg‘am chiqarishni yengillashtiruvchi usullar va ekologik xavf kunlarida xulq-atvor algoritmlarini o‘rgatish kerak.

5. Tibbiyot oliy ta’lim muassasalarida normal fiziologiya, kommunal gigiyena, pulmonologiya va profilaktik tibbiyot fanlariga “ekologik pulmonologiya”, “regional eksposom” va “raqamli respirator monitoring” mavzularini kiritish tavsiya etiladi.

6. Aholi uchun ekologik savodxonlik dasturlari ishlab chiqilib, havo sifati indeksini tushunish, chang bo‘ronlari vaqtida himoyalanish, uy ichki havosini gigiyenik nazorat qilish, HEPA-filtrli havo tozalagichlar, namlik va haroratni me’yoriy saqlash bo‘yicha amaliy ko‘nikmalar berilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Raqibov F.A. Atmosfera havosi ifloslanishi va nafas fiziologiyasi: profilaktik tibbiyotdagi ahamiyati. Monografiya. Farg‘ona: CAMU xalqaro tibbiyot universiteti; 2025.

2. Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, Bathan G, Bose-O'Reilly S, Brauer M, et al. Pollution and health: a progress update. Lancet Planet Health. 2022;6(6):e535–e547. doi:10.1016/S2542-5196(22)00090-0.

3. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: WHO; 2021.

4. Sin DD, Doiron D, Agusti A, Anzueto A, Barnes PJ, Celli BR, et al. Air pollution and COPD: GOLD 2023 committee report. Eur Respir J. 2023;61(5):2202469. doi:10.1183/13993003.02469-2022.

5. Kayalar Ö, Rajabi H, Konyalilar N, Mortazavi D, Aksoy GT, Wang J, Bayram H. Impact of particulate air pollution on airway injury and epithelial plasticity; underlying mechanisms. Front Immunol. 2024;15:1324552. doi:10.3389/fimmu.2024.1324552.

6. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, Thompson B, Aliverti A, Barjaktarevic I, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. Eur Respir J. 2022;60(1):2101499. doi:10.1183/13993003.01499-2021.

7. da Silveira Fleck A, Sadoine ML, Buteau S, Suarthana E, Debia M, Smargiassi A. Environmental and occupational short-term exposure to airborne particles and FEV1 and FVC in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(20):10571. doi:10.3390/ijerph182010571.

8. Li Y, Ji Z, Wang Y, Li X, Xie Y. Breathing exercises in the treatment of COPD: an overview of systematic reviews. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis. 2022;17:3075–3085. doi:10.2147/COPD.S385855.

9. Osadnik CR, McDonald CF, Jones AP, Holland AE. Airway clearance techniques for chronic obstructive pulmonary disease. Cochrane Database Syst Rev. 2012;(3):CD008328. doi:10.1002/14651858.CD008328.pub2.

10. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution. Lancet. 2017;389(10082):1907–1918. doi:10.1016/S0140-6736(17)30505-6.