

AZ OBSTRUKTÍV TÜDŐBETEGSÉGBEN SZENVEDŐ BETEGEK INHALÁCIÓS TERÁPIÁJÁNAK HATÁSA A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉSRE

Hegedűs Sára
Újvidéki Egyetem
Általános Orvostudományi Kar
III évfolyam

Újvidék, július 2026.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETŐ	3
A MUNKA CÉLJA	4
MÓDSZERTAN	4
A KÜLÖNBÖZŐ TÍPUSÚ INHALÁTOROK JELLEMZŐI	4
INHALÁTORTÍPUSOK	4
HAJTÓGÁZAK	6
AZ INHALÁTORVÁLASZTÁS NÉGY DIMENZIÓJA.....	8
KÖRNYEZETI HATÁS	8
KLINIKAI HATÉKONYSÁG	9
KÖLTSÉGHATÉKONYSÁG.....	10
BETEGEK PREFERENCIÁI	10
ÖSSZEFOGLALÁS	11
IRODALOMJEGYZÉK	12

BEVEZETŐ

A klímaváltozás egy globális jelenség, amely magába foglal minden hosszú távú változást az éghajlati rendszerben. Ide tartozik többek között a szélsőséges időjárási események – például a hőhullámok, aszályok és árvizek – gyakoriságának és intenzitásának változása, az évszakok eltolódása, a tengerszint emelkedése, a jégtakarók olvadása, valamint az óceáni áramlatok módosulása. A klímaváltozás egyik fontos része a globális felmelegedés, amely a Föld átlagos felszíni hőmérsékletének hosszú távú emelkedését jelenti. A földfelszín a Napból érkező sugarak melegítik. Ennek egyik részét a felszín elnyeli, másik része pedig visszaverődik és az ózonrétegen keresztül átszűrődő sugarak ezután elhagyják az atmoszférát. Azonban az üvegházhatású gázok (GHG) elnyelik a visszasugárzott hullámokat, nehezebben hagyják el és bennragadnak a légkörben. Maga a Föld folyamatosan közvetít üvegházhatású gázokat, de ez egy természetes folyamat, amely szabályozva van. Az emberi tevékenység, például a fosszilis tüzelőanyagok elégetése (szén, földgáz, kőolaj), az ipari termelés, a közlekedés és az erdőirtás, amely során szén-dioxid (CO₂) szabadul fel, növeli az üvegházhatású gázok légköri koncentrációját, ami többlet emissziót jelent. [1]

Az asztma és a krónikus obstruktív tüdőbetegség (COPD) a leggyakoribb krónikus légúti betegségek. A Világ Egészségügyi Szervezet (WHO) adatai szerint legalább 300 millió asztmában szenvedő és 328 millió COPD beteg él világszerte. Szerbiában a krónikus légúti betegek száma meghaladja az 500 000-et, közülük 50 000-en a betegség végstadiumában vannak. Az elmúlt években egyértelműen emelkedést figyeltek meg mind a megbetegedések, mind a COPD-hez köthető halálozások, valamint a betegséggel hosszú távon együtt élő személyek számában. A betegség kialakulásának és progressziójának egyik legfontosabb kockázati tényezője a dohányzás, valamint a növekvő légszennyezés, illetve a különböző légszennyező anyagoknak való tartós kitettség. [2]

A légszennyezés 2022-ben Európában 350 000 korai elhalálozáshoz vezet. A szmog a gyorsan fejlődő ipar egyik legnagyobb hátránya. Az elmúlt 25 évben a magas jövedelmű országokban kissé javult a légszennyezés, míg a fejlődő országokban nagyban rosszabbodott a helyzet. A WHO szerint kilenc a tíz emberből a világon szennyezett levegőt lélegzik be. A szmog nagyban befolyásolja a COPD és asztmás betegek tüneteinek súlyosbodását, rohamok gyakori megjelenését, vagy akár a tüdőfunkció csökkenését, valamint megnövekedett kórházi ápolási és halálozási arányokat. A szennyező anyagok közül a legfontosabbak a finom szálló porban (PM_{2,5}) lévő finomrészecskék, amelyek mind az alsó, mind a felső légutakban felhalmozódnak, különösen pedig a kis légcsatornáknak és a tüdőhólyagokban. Ezek mellett a gázhalmazállapotú szennyező anyagok – szén-monoxid (CO), kén-dioxid (SO₂), és nitrogén-oxidok (NO₂) – is a tüdőfunkció romlásához vezetnek, leginkább hideg hőmérsékletben. [3] A COPD-t a légutak és a tüdőparenchima krónikus gyulladása; a gyulladáshoz vezető sejtek – köztük a neutrofilek, az aktivált makrofágok és a limfociták felhalmozódása; valamint az interleukin-6 (IL-6), az IL-8 és a tumornekrozis-faktor-alfa (TNF-α) gyulladáshoz vezető faktorok szintjének emelkedése jellemzi. A PM részecskék továbbá aktiválják a fehérvérsejteket, amelyek újabb interleukinokat állítanak elő. Így egy ördögi kör jön létre, amely egyre nagyobb légúti gyulladáshoz vezet. A PM részecskék továbbá képesek szabad oxigénradikálokat (reaktív oxigénfajt) termelni, illetve módosítani a génexpressziót és kromoszómakárosodást okozni a sejtekben. [3],[4]

Világszinten az egészségügyi szektor a nettó CO₂ kibocsátás 4,4%-át teszi ki, ami elsősorban a gyógyszeriparhoz köthető. Nagyrészt a krónikus obstruktív tüdőbetegségben és az asztmában szenvedő betegek részére előállított inhalátorok járulnak hozzá a fluortartalmú üvegházhatású gázok (F-gázok) kibocsátásához. Három alapvető típusú inhalátor létezik: a mérőadagoló inhalátorok (Meter dose inhalers - MDI), amelyek hajtógázt, azaz propellent alkalmaznak; a száraz por inhalátorok (Dry powder inhalers - DPI) és a finompermet inhalátorok (soft mist inhalers - SMI). A propellent

alkalmazó MDI inhalátorok okozzák a CO₂ kibocsátás 3,5%-át az egészségügyi szektorban, ami nem tűnik figyelemre méltónak. Azonban minden iparban törekedni kell az üvegházhatású gázok használatának minél hatékonyabb csökkentésére. Ezért fontos az inhalátorok gyártásának, használatának és újrahasznosításának fejlesztése. [5]

A MUNKA CÉLJA

A munka célja, a különböző típusú inhalátorok jellemzőinek bemutatása és összehasonlítása, valamint az inhalátorválasztás négy fő dimenziójának vizsgálata: a környezeti hatás, a klinikai hatékonyság, a költséghatékonyság és a betegek preferenciái.

MÓDSZERTAN

Az eddig elvégzett munka összefoglalásaként áttekintést nyújtottunk a globális felmelegedéssel és az obstruktív tüdőbetegségek kezelésére alkalmazott inhalációs készítményekkel kapcsolatos kihívások jelenlegi ismereteiről. Irodalmi keresésünket a PubMed adatbázisban végeztük, 2016-tól 2026-ig megjelent cikkekre kiterjedően, a következő keresőkifejezések használatával: „global warming” (globális felmelegedés), „inhalers” (inhalátorok), „asthma” (asztma) és „COPD” (krónikus obstruktív tüdőbetegség).

A PubMed adatbázisban összesen 22 releváns cikket gyűjtöttünk össze, amelyeket e cikkek hivatkozásjegyzékeiből származó további tanulmányokkal egészítettünk ki. A széles körű áttekintés miatt nem alkalmaztunk specifikus beválasztási vagy kizárási kritériumokat a vizsgálatok típusa, a vizsgálati környezet, a vizsgálat fókusz, illetve a globális felmelegedés és az inhalátorok közötti kapcsolat egyes konkrét aspektusai tekintetében.

A KÜLÖNBÖZŐ TÍPUSÚ INHALÁTOROK JELLEMZŐI

INHALÁTORTÍPUSOK

A mérőadagolás inhalátor (MDI) a leggyakrabban alkalmazott inhalátortípus világszerte. [6] Minden MDI három részből áll: fémtartály, adagolószelep és műanyag működtetőelemből. A fémtartály tartalmazza a nyomás alatt lévő, cseppfolyósított hajtógázzal kevert gyógyszert. Az adagolószelep irányítja a légrendszerbe érkező gyógyszer pontosan meghatározott mennyiségét. A tartályból kiszabaduló hajtógáz kisebb nyomás alatt a gyógyszert apró cseppekből álló finom köddé porlasztja. Ez a gáz, vagyis aeroszol kerül a szájüregbe a műanyag szájrészen keresztül minden gombnyomással. Az MDI előnye az egyszerű használat, mivel nem igényel hirtelen és aktív belélegzést. Mégis a kutatások szerint az inhalátorokat az esetek akár 71%-ában helytelenül használják. Az MDI inhalátorok alkalmazásakor megfelelő időzítésre van szükség. A gyógyszertartály ürítését össze kell hangolni egy lassú, mély, 4–6 másodpercig tartó belélegzéssel, amelyet 10 másodpercig tartó légzésvisszatartás követ. A hajtógáz elősegíti, hogy a gyógyszer olyan apró részecskékre essen szét, amelyek képesek a légutak mélyebb részeibe is eljutni. Nem megfelelő időzítés esetén azonban a gyógyszer a tüdő helyett a torok

hátsó részére juthat. [7] Az FDA (Food and Drug Administration) 2003. óta ösztönzi az MDI inhalátorokba beépített dózisszámoló gyártását. [8] Ez a megoldás nagy segítséget jelent a betegek számára, hiszen így pontosan nyomon követhetik, mennyi gyógyszer maradt még az inhalátorban. Ezzel egyrészt megelőzhető a páciensek tüneteinek egzacerbációja gyógyszerhiány esetén, másrészt pedig csökken a kidobott inhalátorokban maradt hajtógáz szivárgása a környezetbe.

Az MDI-ban található hajtógázok üvegházhatású gázok, amelyek miatt a mérőadagolás inhalátorok használatát korlátozni és szabályozni kezdték a fejlettebb országokban. A legkorábbi MDI-készülékek hajtóanyagként klór-fluor-szénhidrogéneket (CFC) alkalmaztak, amelyek a jelentős üvegházhatású tulajdonságaik mellett az ózonréteg károsodásához is hozzájárultak. Az 1987-ben létrehozott Montreáli Jegyzőkönyv szabályzatának köszönhetően a CFC gázokat kivonták a forgalomból, ezért az inhalátorokban egy biztonságosabb alternatívát, hidrofluor-alkánokat (HFA) kezdtek alkalmazni. A HFA gázok nem károsítják az ózonréteget, de jelentős globális felmelegedési potenciállal (Global Warming Potential – GWP) rendelkeznek. [1, 9]

A globális felmelegedési potenciál fogalma az üvegházhatású gázok relatív hatékonyságát írja le, figyelembe véve, hogy az adott gáz mennyi ideig marad aktív a légkörben. A jelenleg alkalmazott globális felmelegedési potenciálértékeket 100 éves időtávra számítják. Referenciaként a szén-dioxidot (CO_2) használják, amelynek 100 éves GWP-értékét 1-nek tekintik. [10] A szén-dioxid-egyenérték (CO_2e) olyan mértékegység, amely lehetővé teszi a különböző üvegházhatású gázok (ÜHG-k) éghajlatra gyakorolt hatásának összehasonlítását a szén-dioxid (CO_2) hatásához viszonyítva. Egy adott üvegházhatású gáz CO_2 -egyenértékben kifejezett mennyiségét úgy határozzák meg, hogy az adott gáz tömegét megszorozzák a hozzá tartozó globális felmelegedési potenciállal (GWP). A CO_2e ezáltal lehetővé teszi a különböző üvegházhatású gázok kibocsátásának mértékegységben történő kifejezését és összehasonlítását. [6]

Az MDI-k az erős üvegházhatású gázok közé tartozó hidrofluor-karbon hajtógázok kibocsátása révén hozzájárulnak az éghajlatváltozáshoz. A HFA gázok kémialilag stabilak, ezért hosszú az élettartamuk, ezenkívül pedig hatékonyan megkötik a hőt a légkörben. Különböző HFA gáztípusok különböző GWP-vel rendelkeznek: 1,1,1,2-tetrafluor etán (HFA-134a) GWP-100 1530; 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropán (HFA-227ea) GWP-100 3600. [11] Ezmiatt egyetlen MDI készítmény szénlábnyoma a felhasznált HFC hajtógáz mennyiségétől és típusától függően, 9 900 és 36 500 gramm CO_2 -egyenérték (gCO_2e) között mozoghat. [1]

Az HFA-134a és HFA-227ea hajtógázokat alkalmazó MDI-termékek szénlábnyom-értéke 82 és 119 gCO_2e /adag között mozog, míg a száraz por inhalátorok (DPI) esetében ez mindössze 8 gCO_2e /adag. [5] A DPI-készítmények nem igényelnek hajtógázt, ezért alkalmazásuk általában kisebb környezeti terheléssel jár. A DPI hatóanyaga por formájában található, amelyet egy gyors és erőteljes belélegzéssel jutattak a beteg tüdejébe. Ezeket a szemcséket gyakran keverik inert hordozóanyagokkal (laktóz, glükóz). A hordozóanyag hozzájárul ahhoz, hogy a megfelelő poradag mindig egyenletesen kerüljön bejuttatásra egészen a tüdőhólyagocskákig. [8] A legtöbb DPI azonban megfelelő minimális inspirációs áramlási sebességet igényel (40-60 l/min). [12] Ha a beteg nem képes biztosítani a minimális belégzési erőlködést a DPI használata során a gyógyszer nem lesz megfelelően szétosztva a tüdőben és kimarad a kellő terápiás hatás. Egy 2023-ban folytatott kutatás viszont bemutatta, hogy a DPI készülékek belső ellenállásától függetlenül nem korlátozzák azok alkalmazását a betegek között, függetlenül a betegség súlyosságától és még a betegség súlyosbodása során is jól működnek. Azonban jobb lenne a magasabb ellenállású eszközök használata ahhoz, hogy elkerüljük a gyógyszer száj- és garatban való lerakódását. [13] A DPI készítmények belélegzéssel aktiválódnak, így nincs szükség az inhaláció/spray koordinációjára és a lélegzet visszatartására sem, ami egy nagy előny az MDI-hoz

képest. A DPI további előnye, hogy beépített adag számlálóval rendelkezik, ellentétben az MDI inhalátorokkal. [12] A harmadik ritkábban alkalmazott inhalátorok a finompermet inhalátorok (SMI), amelyek folyékony gyógyszert tartalmaznak és külső nyomás hatására alakítják át finom köddé vagy a folyadékot mikron átmérőjű apró lyukakon préselik át. Az SMI készítmények sem tartalmaznak hajtógázt, viszont sokkal drágábbak mint az MDI vagy DPI készítmények. [9]

Táblázat 1. A különböző típusú inhalátorok jellemzőinek összehasonlítása

	Alkalmazás	Hajtógáztartalom
Mérőadagolós inhalátorok (MDI)	Az inhalátorban található tartályt megnyomva egy adag gyógyszer és hajtógáz szabadul fel, amelyet belélegzünk. Egyes MDI-k rendelkeznek számlálóval, amely jelzi, hány adag maradt még, mások viszont nem. Az MDI-t tágitóval együtt is használhatjuk, hogy hatékonyabb legyen.	Tartalmaz hajtógázt.
Száraz por inhalátorok (DPI)	Az inhalátor használatához meg kell nyomni egy gombot vagy kart, és belehelyezni egy kapszulát. A gyógyszer belégzéskor szabadul fel. Látható, hogy hány adag maradt még.	Nem tartalmaz hajtógázt.
Finompermet inhalátorok (SMI)	Egy gombnyomásra a gyógyszer köd formájában felszabadul, amelyet be kell lélegezni. Látható mennyi adag maradt még a készítményben.	Nem tartalmaz hajtógázt.

HAJTÓGÁZAK

Az pMDI készülékekben használt hajtógázak magas globális felmelegedési potenciállal rendelkeznek. Ezzel szemben a DPI készülékek nem tartalmaznak hajtógázakat, ezért a szénlábnymuk akár 10-szer kisebb is lehet az MDI-től. Az ózonréteg védelmét és az éghajlatváltozás mérséklését célzó globális megállapodást, a Montreali Jegyzőkönyvet 2016-ban a Kigali-módosítással egészítették ki, amely az MDI-készülékekben alkalmazott HFA-hajtóanyagok szabályozására is kiterjed. [5] Hosszútávú megoldásként a HFA-134a használatának korlátozását és lecserélését írták elő a kisebb szénlábnymommal rendelkező 1,1-difluoretán (HFA-152a) hajtógázzal. [14] Egyes kutatások szerint a HFA-152a hasonló tulajdonságokkal rendelkezik mint a HFA-134a, nem idéz elő hörgőszűkületet és nem befolyásolja a mukociliáris klirenst. [22] Az asztma esetében a kis légutak megnövekedett ellenállása összefügg az egészségi állapot romlásával, a légszomjjal (diszpnea) és az asztmás

rohamokkal, míg a COPD-ben szenvedő betegeknél a kis légutak működési zavara összefügg a légáramlás elzáródásával, amely a betegség előrehaladtával egyre jobban szétterjed. [15, 16]

Az asztma és COPD kezelésére az inhalációs kortikoszteroid beklometazon-dipropionát (BDP), a hosszú hatású β_2 -agonista, formoterol-fumarát-dihidráttal (FF), valamint a hosszú hatástartamú muszkarinerg antagonisták, a glikopirronium (GB) hármas hatóanyag kombinációját használják az MDI inhalátorokban. Ennek az összetételnek a hatását befolyásolhatja az alkalmazott hajtógáz típusa. Egy 2025-ben végrehajtott kutatás szerint, nincs statisztikailag releváns különbség a HFA-134a és a HFA-152a hajtógázak között. A kutatásban két, egyenként öt patkányból álló csoportot tettek ki a hármas kombináció gyógyszer hatásának. Az első csoport a jelenleg forgalomban lévő, HFA134a hajtógázzal ellátott MDI-t, míg a második csoport az új HFA152a hajtógázzal töltött MDI-ből származó gyógyszert kapta. Az eredmények szerint a HFA-134a lecserélése nem gyakorolt jelentős hatást a BDP/FF/GB pMDI gyógyszer három összetevőjének farmakokinetikai tulajdonságaira. Ezek alapján megállapíthatjuk, hogy a HFA-152a bevezetése kedvező hatással van az MDI termékek szén-dioxid-kibocsátásának és szénlábnyomának csökkentésére. [17]

Táblázat 2. A különböző inhalátorok szénlábnyomának összehasonlítása

Terméknév	Erő (μg /működtetés)	Eszköztípus	Inhalátorkénti adagok	Szénlábnyom (gCO_2e /működtetés)	
				HFA143 a-val (tanúsít ott)	HFA152a6-tal (becsült)
Clenil (beklometazon-dipropionát)	100	MDI	200	83.10	9.39
Clenil (beklometazon-dipropionát)	200	MDI	200	81.96	9.31
Foster (beklometazon- dipropionát/formoterol)	100/6	MDI	120	94.42	12.10
Foster (beklometazon- dipropionát/formoterol)	200/6	MDI	120	118.56	14.06
Foster NEXThaler (beklometazon- dipropionát/formoterol)	100/6	DPI	120	7.63	Nem alkalmazható
Foster NEXThaler (beklometazon- dipropionát/formoterol)	200/6	DPI	120	7.64	Nem alkalmazható
Trimbow (beklometazon- dipropionát/formoterol/ glikopirronium)	87/5/9	MDI	120	118.99	14.34

Forrás: Panigone S, Sandri F, Ferri R, et al. Environmental impact of inhalers for respiratory diseases: decreasing the carbon footprint while preserving patient-tailored treatment. *BMJ Open Res* 2020;7:e000571. doi:10.1136/bmjresp-2020-000571

AZ INHALÁTORVÁLASZTÁS NÉGY DIMENZIÓJA

KÖRNYEZETI HATÁS

A hajtógázokat alkalmazó mérőadagolós inhalátorok szénlábnyoma 82-119 gCO₂e/működtetés között mozog, míg a száraz por inhalátorok szénlábnyoma 8 g CO₂e/működtetés. Az MDI készülékek szén-dioxid kibocsátása nagyrészt a használat és a helytelen ártalmatlanítás közben történik, viszont a DPI inhalátorok szénlábnyoma a gyártási folyamathoz köthető. [5] Egy inhalátor környezeti hatásának felmérésekor nem elég figyelembe venni csak a használat során kibocsátott gázok GWP-értékét, hanem az inhalátor teljes életciklusára vonatkozó szénlábnyomát is. Ide tartozik a gyártáshoz felhasznált alapanyagok beszerzésekor és maga a gyártáskor és szállításkor keletkező szénlábnyom, valamint az ürítés utáni ártalmatlanítással kapcsolatos egyéb környezeti hatások is. Bár az MDI készülékek a GWP tekintetében nagyobb hatást gyakoroltak, a DPI készülékek életciklusuk során nagyobb hatást gyakoroltak a fosszilis tüzelőanyagok kimerülésére és a tengeri ökotoxicitásra. GWP értékek szempontjából egy másik, 2019-ben Jeswani H. K. által folytatott kutatásban, a HFA-227ea hajtógázt alkalmazó MDI készülékek számítottak a legrosszabb választásnak. Egy adag HFA-227ea által kibocsátott szén-dioxid mennyiség GWP-értéke becslések szerint 697g CO₂-egyenérték. Ez 34-szer, illetve 13-szor magasabb a HFA-152a, illetve a HFA-134a inhalátorok GWP-értékénél. A legkisebb hatást a DPI készítményeknél tapasztalták, ahol a GWP értéke mindössze 9g CO₂-egyenérték/adag. A HFA-134a és a HFA-227ea leváltása a MDI eszközökben HFA-152a-val, a hajtógáz-felhasználás 60%-os csökkentése az MDI eszközökben, valamint a HFA-152a visszanyerése a használt és kidobott MDI eszközökből évente annyi üvegházhatású gáz kibocsátását spórolná meg, mintha 590 000 dízelautót kivonnának a forgalomból. [14]



Ábra 1. Egyes MDI-termékek szénlábnyom-adatai, összehasonlítva a széles körben használt termékekre vonatkozóan és a hivatalos dokumentumokban szereplő standard adatokkal. Az inhalációs termékekre vonatkozó adatokat adagonként adják meg, amely két adagnyomásnak felel meg.

Forrás: Panigone S, Sandri F, Ferri R, et al. Environmental impact of inhalers for respiratory diseases: decreasing the carbon footprint while preserving patient- tailored treatment. *BMJ Open Res* 2020;7:e000571. doi:10.1136/ bmjresp-2020-000571

Egyes adatok szerint, ha az Egyesült Királyságban az MDI inhalátorok csupán 10%-át a megfelelő DPI eszközökre cserélnék, évente több mint 68,6 kilotonna CO₂ – egyenértékű kibocsátást előznének meg. [18] A fosszilis tüzelőanyagok és fémkészletek kimerítése a DPI eszközök gyártásának egy nagy hátránya az MDI eszközökkel szemben. Ebből a szempontból a HFA-152a hajtógázt tartalmazó MDI eszközök mutatják a legalacsonyabb értéket, becslések szerint 0.7g olajegyenérték/adag, amely 75%-al alacsonyabb mint a DPI eszközöknél. A DPI eszközök gyártásának másik nagy hátránya a magas édesvízi és tengeri eutrofizáció, vagyis a magas nitrogén- és foszforszint miatt keletkező elalgásodás és oxigénhiány. A Brit Tüdőgyógyász Társaság (The British Thoracic Society) mégis a DPI használatát ajánlja az újonnan diagnosztizált betegeknek, amíg a HFA-152a nem bizonyul megfelelőnek a kutatások és klinikai vizsgálatok során. [14]

Az MDI készülékek nem megfelelő ártalmatlanítása is tovább növeli azok környezeti hatását, mivel a már nem használt készülékek továbbra is üvegházhatású gázokat bocsátanak ki a légkörbe. Becslések szerint a használt MDI készülékekben a hajtóanyag körülbelül 10%-a marad meg, amelyet visszanyerhetnek és újra felhasználhatnak akár más iparágakban is. [14]

Érdemes megjegyezni, hogy szinte az összes inhalátor egyszer-használatos műanyagból vagy műanyag és fém kombinációjából készül és rendszeresen, leggyakrabban hónaponta kerülnek kidobásra. Az újrahasználható inhalátorok viszont ritkák, azonban az SMI készülékek gyártásában megkezdtek az áttérést egy olyan rendszerre, amelyben a gyógyszert tartalmazó patron havonta cserélhető, míg a műanyag működtető több hónapon át használható. Ez a rendszer a műanyag hulladék mennyiségét nagyban csökkentené. [1] A legtöbb MDI nem alkalmaz dózismérőt, ezért sok páciens nem tudja még mennyi hatóanyag maradt hátra az inhalátorban. Ez két lehetséges problémához vezethet. Egyrészt a beteg rosszul ítéli meg, hogy az inhalátor még mennyi gyógyszert tartalmaz, és esetleges exacerbációkor nem áll rendelkezésére elegendő gyógyszer a tünetek kezelésére. Másrészt az inhalátor a teljes gyógyszer mennyiség felhasználása előtt kerülhet ártalmatlanításra, ami további szén-dioxid kibocsátáshoz vezetne. Ezek miatt nagy hangsúlyt kell fordítani a páciensek képzésére az inhalátorok használatáról és tájékoztatására az inhalátorok káros hatásairól a környezetre a rossz használatkor vagy rossz ártalmatlanításakor. [18]

KLINIKAI HATÉKONYSÁG

Az MDI eszközök és a DPI eszközök használata közötti különbségek miatt különböző a használatukra alkalmas páciensek csoportja is. Az MDI eszközök helyes használatához a páciensnek össze kell hangolnia az inhalátor működését egy hosszú és lassú belégzéssel. Ha a páciens ezt nem tudja összehangolni, az MDI alkalmatlanná válik és nem érhető el a kellő hatás. Több széleskörű felmérés szerint is alacsony a helyes adagoló nélküli MDI használat. A DPI használatához a betegnek el kell érnie a legnagyobb belégzési áramlási sebességet, amely legyőzi az inhalátorban lévő ellenállást. Ahogy a krónikus obstruktív tüdőbetegségek leginkább az expíriumot nehezítik, a betegek számára a DPI eszközök is megfelelőek. Azonban azoknak a betegeknek nem jelentenek megfelelő választást akik nem képesek elegendő belégzési áramlást előidézni. Ide tartoznak az idősebb betegek, egyes COPD betegek, gyerekek 3-5 éves korig és az izomsorvadásban szenvedők, akiknél minden esetben az MDI használata javasolt. [18]

Egy újabb, 2026-ban végzett kutatás, amely összehasonlította a DPI és a HFA-134a hajtógázt alkalmazó MDI készülékeket az asztma és a COPD kezelésében megállapította, hogy a kettő között klinikai szempontból nincs nagy különbség és könnyebben le lehetne cserélni az MDI inhalátorokat mint eddig gondolták. Az összes vizsgált kimeneteli mutatóra hasonló adatokat kaptak az MDI és DPI

használatuk egyaránt. A forszírozott kilégzési volumen (FEV1) és kilégzési csúcsáramlás (PEFR) értékein kívül az exacerbációk, tünetcsillapítás és a halálesetek tekintetében se tudtak kimutatni jelentős különbségeket. [6]

A klinikai hatékonyság azonban nem elég ahhoz, hogy egy páciens kezelését lecseréljék. Aggodalmat kelthet egy betegben az inhalátortípus hirtelen megváltoztatása és ez negatív hatással lehet a betegség elleni védekezésben is. Számításba kell venni a beteg preferenciáit, a költségeket, az életkorát és a beteg képességét az elegendő belégzési áramlás elérésében.

KÖLTSÉGHATÉKONYSÁG

A különböző gyógyszerek megvásárlása nagy anyagi terhet jelent a betegek számára világszerte. A költséghatékonyság ezért egy nagy befolyásoló tényező az inhalátortípus kiválasztásakor. Az MDI eszközökben található rövid hatású hörgőtágítók megfizethetőbb áron kaphatók, mint a DPI eszközök. Azonban a hosszú hatástartamú béta-agonisták és az inhalációs kortikoszteroidok kombinációját tartalmazó DPI inhalátorok olcsóbbak az MDI készítményeknél. [19]

Az Egyesült Királyságban folytatott felmérés szerint, a pénzügyi hatása az MDI eszközök leváltásának, attól függ, hogy az alacsony költségű vagy a drágább gyógyszerkombinációt alkalmazó DPI eszközt választják-e. két modellt állítottak fel, ahol az elsőben az MDI készülékeket DPI készülékekre cserélték olyan arányban, amilyen arányban a DPI-ok különböző márkáit korábban felírták Angliában. Ebben az esetben az MDI-k minden 10%-os változása esetén évente 12,7 millió fontal drágult az össz kiadás. Azonban a második modelben, ahol a legolcsóbb megfelelő DPI eszközt alkalmazták, az éves össz kiadás 8,2 millió fontal kevesebb volt. [11]

Több meta-elemzés is kimutatta, hogy a DPI-ok használatakor kevesebb hiba fordult elő, még akkor is ha az MDI eszközök távtartót alkalmaztak. A DPI eszközök ezenkívül kisebb GWP-vel rendelkeznek és a betegeknél jobb asztma-kontrollt és kevesebb súlyosbodást tapasztaltak az MDI készülékek használatához képest. Ezek szerint a korábbi feltételezés, miszerint a DPI eszközökre való váltás megemelné az egészségügyi szektor összkiadását alaptalan. Az MDI eszközök váltása a legolcsóbb DPI-alternatívákkal lenne a leggyorsabb és legmegfelelőbb megoldás költségek és a szénlábnyom szempontjából is, hiszen a HFA-152a hajtógázra való áttérés – a CFC hajtógázokról való áttérés során szerzett tapasztalatok alapján, – valószínűleg legalább egy évtizedig tartana. [11]

BETEGEK PREFERENCIÁI

Nem meglepő módon az inhalátorok kiválasztásakor a könnyű használat a betegek és az egészségügyi szakemberek számára az egyik legfontosabb szempont. [20] Felmérések szerint a felhasználók 73%-a a DPI eszközöket könnyebben kezelhetőnek találta az MDI inhalátorokhoz képest, és jobban voltak elégedve felhasználásuk során. [18] Fontos megjegyezni, hogy az inhalátorok beleegyezés nélküli cseréje – az inhalálási technikákra vonatkozó megfelelő útmutatás nélkül – rosszabb klinikai eredményekhez vezethet a betegeknél. Azonban a betegek beleegyezésével és a klinikusok megfelelő útmutatásával, a DPI inhalátorok alkalmasabbnak mutatkoztak. [1]

A klinikusok számára a környezetvédelmi szempontok mellett, a betegek jóllétének megőrzése továbbra is kiemelt fontosságú az inhalátor terápia felírásakor. Egy 2025-ben szervezett kutatás a környezeti hatás szerepét próbálta megállapítani az egészségügyi szakemberek inhalátortípus kiválasztásában az asztma és COPD kezelésében. A résztvevők 59,3%-a egyezett azzal, hogy az

inhalátortípus fenntarthatósága prioritást élvez munkájukban, azonban a legfontosabbnak az inhalátor hatékonyságát tűzték ki. Az eredmények alapján bebizonyosodott, hogy az egészségügyi szolgáltatók nagyobb jelentőséget tulajdonítanak a klinikai jellemzőknek (pl. csökkentett rohamok száma és kevesebb mellékhatás), mint a környezeti vagy költségbeli jellemzőknek. [21]

ÖSSZEFOGLALÁS

Az inhalátor kiválasztása összetett döntés, amelynek során figyelembe kell venni a klinikai hatékonyságot, a környezeti hatást, a költséghatékonyságot és a beteg preferenciáit. Az MDI, DPI és SMI inhalátorok hatékonysága nem csak az inhalátor típusától, hanem a beteg egyéni képességétől és szükségleteitől is függ. A különböző inhalátorok különböző betegeknek felelnek meg.

A DPI-k általában kisebb szénlábnyommal rendelkeznek, mint az MDI-k, míg az alacsony GWP-értékű hajtógázok, például a HFA-152a fejlesztése tovább csökkentheti az MDI-k környezeti terhelését. Az egészségügyi dolgozóknak, azonban elsődlegesen a klinikai hatékonyságot és biztonságot kell figyelembe venniük. A betegeknél gyakran előfordulhat a hibás használat, az egzacerbációk és különböző mellékhatások megjelenése, a költségek vagy a betegek elégedetlensége a kiválasztott inhalátorral szemben.

A fenntartható inhalációs terápiának ezért egyénre szabott, betegközpontú inhalátorválasztáson kell alapulnia, amely egyensúlyt teremt a fent említett négy dimenzió között.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Danielle F. Wurzel, Brett D. Montgomery, Natalie Anderson, et al. Environmental impact of inhaled medicines: A Thoracic Society of Australia and New Zealand position statement, *Respirology*. 2025;30:101–112. DOI:10.1111/resp.14852
- [2] Pernigotti D, Stonham C, Panigone S, et al. Reducing carbon footprint of inhalers: analysis of climate and clinical implications of different scenarios in five European countries. *BMJ Open Res* 2021;8:e001071. doi:10.1136/bmjresp-2021-001071
- [3] Rui-Rui Duan, Ke Hao, Ting Yang, et al. Air pollution and chronic obstructive pulmonary disease. 2095-882X/2020 Chinese Medical Association. Production and hosting by Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2020.05.004>
- [4] Lim, E.Y.; Kim, G.-D. Particulate Matter-Induced Emerging Health Effects Associated with Oxidative Stress and Inflammation. *Antioxidants* 2024, 13 (10), 1256; <https://doi.org/10.3390/antiox13101256>
- [5] Panigone S, Sandri F, Ferri R, et al. Environmental impact of inhalers for respiratory diseases: decreasing the carbon footprint while preserving patient-tailored treatment. *BMJ Open Res* 2020;7:e000571. doi:10.1
- [6] Michael J. Loftus, Miranda S. Cumpston, Shannon Barnes, et al. Efficacy and safety of different inhaler types for asthma and chronic obstructive pulmonary disease. a systematic review and meta-analysis. *Primary Care Respiratory Medicine* (2026) 36:18; <https://doi.org/10.1038/s41533-026-00488-4>
- [7] MD, Alan Lucks. Inhaler Types Explained: HFA vs DPI vs Nebulizer. Doctronic, New York, March 19th, 2026. [Inhaler Types Explained: HFA vs DPI vs Nebulizer \(2026\) - Doctronic](#)
- [8] John Gar Yan Chan, Jennifer Wong, Qi Tony Zhou, Sharon Shui Yee Leung, Hak-Kim Chan. Advances in Device and Formulation Technologies for Pulmonary Drug Delivery. *AAPS PharmSciTech*. 2014 Apr 12;15(4):882–897. PMCID: PMC4113625 PMID: 24728868
- [9] Marilyn Urrutia-Pereira, Herberto Jose Chong-Neto, Tonya A Winders, Dirceu Sole. Environmental impact of inhaler devices on respiratory care: a narrative review. *J Bras Pneumol*. 2022;48(6):e20220270 <https://dx.doi.org/10.36416/1806-3756/e20220270>
- [10] Glossary: Global-warming potential (GWP) - Statistics Explained - Eurostat
- [11] Wilkinson AJK, Braggins R, Steinbach I, Smith J. Costs of switching to low global warming potential inhalers. An economic and carbon footprint analysis of NHS prescription data in England. *BMJ Open*. 2019;9:e028763
- [12] John Landry, BS, RRT. Dry Powder Inhaler (DPI): Uses, Benefits, and Limitations. *Respiratory Therapy Zone*. 2026. Jul. 06. [Dry Powder Inhaler \(DPI\): Uses, Benefits, and Limitations](#)
- [13] Ville A Vartiainen, Federico Lavorini, Anna C Murphy & Klaus F Rabe (2023) High inhaler resistance does not limit successful inspiratory maneuver among patients with asthma or COPD, *Expert Opinion on Drug Delivery*, 20:3, 385-393, DOI: 10.1080/17425247.2023.2179984
- [14] Jeswani, H. K., & Azapagic, A. (2019). Life cycle environmental impacts of inhalers. *Journal of Cleaner Production*, 237, Article 117733. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117733>

- [15] Michela Salvadori, Dave Singh, Kusum Mathews, et al. The low global warming potential propellant HFA-152a does not induce bronchoconstriction or impair mucociliary clearance. 1094-5539/© 2025 The Authors. Published by Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pupt.2025.102358>
- [16] Dave Singh, Italo Poggesi, Stephen Weng, et al. Developing low-carbon metered-dose inhalers: effects of propellant HFA-152a on mucociliary clearance and bronchoconstriction in two Phase 1 randomised trials. 0954-6111/© 2026 Published by Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2026.109053>
- [17] Alessandro Fioni, PhD, Giandomenico Brogin, BS, Paola Puccini, BS, et al. Comparison of Formoterol, Glycopyrrolate, and Beclomethasone Dipropionate Pharmacokinetic Profile after Inhaled Administration as pMDI Using HFA134a or HFA152a Propellant: Preclinical Assessment of Drug Exposure in Sprague–Dawley Rat Model. JOURNAL OF AEROSOL MEDICINE AND PULMONARY DRUG DELIVERY, Volume 38, Number 1, 2025. DOI: 10.1089/jamp.2024.0019
- [18] Starup-Hansen J, Dunne H, Sadler J, Jones A, Okorie M. Climate change in healthcare: Exploring the potential role of inhaler prescribing. Pharmacol Res Perspect. 2020;e00675. <https://doi.org/10.1002/prp2.675>
- [19] ten Have P, van Hal P, Wichers I, et al. Turning green: the impact of changing to more eco-friendly respiratory healthcare – a carbon and cost analysis of Dutch prescription data. BMJ Open 2022;12:e055546. doi:10.1136/bmjopen-2021-055546
- [20] Molimard M, Colthorpe P. Inhaler devices for chronic obstructive pulmonary disease: insights from patients and healthcare practitioners. J Aerosol Med Pulm Drug Deliv. 2015;28:219-228. <https://doi.org/10.1089/jamp.2014.1142>
- [21] I. G. Arslan, M. Vervloet, E. W. de Bekker-Grob, et al. The role of environmental impact in healthcare providers' choices of inhalers for treatment of asthma and COPD: a discrete choice experiment. Arslan et al. BMC Primary Care (2025) 26:278 <https://doi.org/10.1186/s12875-025-02941-8>
- [22] Nicolas Roche, MD, PhD, FERS, Omar Usmani, MD, PhD, Laura Franzini, MD, PhD, et al. Pharmaceutical, Clinical, and Regulatory Challenges of Reformulating Pressurized Metered-Dose Inhalers to Reduce Their Environmental Impact. JOURNAL OF AEROSOL MEDICINE AND PULMONARY DRUG DELIVERY Volume 38, Number 1, 2025. DOI: 10.1089/jamp.2024.0023