

A pulmonológiai rehabilitáció aktualitásai és digitális technológiák

Palmer Erik dr.¹ ■ Polivka Lőrinc dr.¹ ■ Fekete Mónika dr.² ■ Pándi Virág¹
 Megyaszai Ábel¹ ■ Rozgonyi Zsolt dr.¹ ■ Lukácsovits József dr.³
 Komáromi Tamás dr.¹ ■ Kovács Zsuzsanna dr.¹ ■ Varga János Tamás dr.¹ 

¹Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Pulmonológiai Klinika, Budapest

²Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Megelőző Orvostani és Népegészségtani Intézet, Budapest

³Budapesti Uzsoki Utcai Kórház, Tüdőgyógyászati Osztály, Budapest

A krónikus légzőszervi betegségek – így az asztma, a krónikus obstruktív tüdőbetegség (COPD), az interstitialis tüdőbetegségek, a tüdődaganatok és a poszt-COVID-állapotok – jelentős morbiditással és életminőség-romlással járnak. A gyógyszeres kezelés mellett a mellkasi fizioterápia és a pulmonológiai rehabilitáció alapvető szerepet játszik a betegek funkcionális állapotának javításában. A jelen összefoglaló célja a pulmonológiai rehabilitáció modern megközelítéseinek áttekintése, különös tekintettel a digitális technológiák és a telerehabilitáció alkalmazására. Narratív szakirodalmi áttekintést végeztünk a pulmonológiai rehabilitációs programok struktúrájáról, a különböző tréning-modalitásokról, valamint a telemedicinális megoldások klinikai alkalmazhatóságáról. A pulmonológiai rehabilitáció – különösen strukturált tréningprogramok, fenntartó rehabilitációs stratégiák, telemedicinális monitorozás alkalmazásával – jelentősen javíthatja a betegek fizikai teljesítőképességét, tünetkontrollját és életminőségét. A modern digitális technológiák lehetővé teszik a betegek valós idejű monitorozását, a rehabilitációs programok individualizálását és az állapotrosszabbodás korai felismerését. A telemedicinális rendszerek, az intelligens inhalátorok és a hordható szenzorok alkalmazása új perspektívákat nyit a krónikus légzőszervi betegek gondozásában. Az így nyert adatok hozzájárulhatnak a terápiás döntéshozatal támogatásához és a rehabilitációs programok hatásosságának növeléséhez. A pulmonológiai rehabilitáció és a digitális egészségügyi technológiák integrációja a jövőben kulcsszerepet játszhat a krónikus légzőszervi betegek komplex kezelésében és hosszú távú állapotstabilizálásában. Orv Hetil. 2026; 167(30): 1199–1206.

Kulcsszavak: pulmonológiai rehabilitáció, krónikus obstruktív tüdőbetegség, telemedicina, digitális egészségügy, távmonitorozás

Current issues and digital technologies in pulmonary rehabilitation

Chronic respiratory diseases – including asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), interstitial lung diseases, lung cancer, and post-COVID conditions – are associated with substantial morbidity and reduced quality of life. In addition to pharmacological therapy, chest physiotherapy and pulmonary rehabilitation play a crucial role in improving functional capacity and patient outcomes. This review aims to summarize contemporary approaches in pulmonary rehabilitation, with particular emphasis on the integration of digital technologies and telerehabilitation strategies. A narrative review of the literature was conducted focusing on the structure of pulmonary rehabilitation programs, training modalities, maintenance strategies, and the clinical applicability of telemedicine-based solutions. Pulmonary rehabilitation, particularly when combined with structured exercise programs, maintenance interventions, and telemonitoring systems, can significantly improve exercise tolerance, symptom control, and health-related quality of life. Modern digital technologies enable real-time monitoring of patient status, facilitate individualized rehabilitation strategies, and support early detection of disease exacerbations. Telemedicine platforms, smart inhalers, and wearable sensors represent promising tools for the management of chronic respiratory diseases. Data generated by these technologies may contribute to improved clinical decision-making and optimization of rehabilitation outcomes. The integration of pulmonary rehabilitation with digital health technologies may play a key role in the future management of chronic respiratory diseases and in maintaining long-term functional stability in affected patients.

Keywords: pulmonary rehabilitation, chronic obstructive pulmonary disease, telemedicine, digital health, remote monitoring

Palmer E, Polivka L, Fekete M, Pándi V, Megyaszai Á, Rozgonyi Zs, Lukácsovits J, Komáromi T, Kovács Zs, Varga JT. [Current issues and digital technologies in pulmonary rehabilitation]. Orv Hetil. 2026; 167(30): 1199–1206.

(Beérkezett: 2026. március 20.; elfogadva: 2026. április 5.)

Rövidítések

ADAMM = (automated device for asthma monitoring and management) automata készülék az asztma monitorozására és kezelésére; ATS = (American Thoracic Society) Amerikai Mellkasi Társaság; BDNF = (brain-derived neurotrophic factor) agyi eredetű neurotrofikus faktor; COPD = (chronic obstructive pulmonary disease) krónikus obstruktív tüdőbetegség; COVID-19 = (coronavirus disease 2019) koronavírus-betegség 2019; FDA = (U.S. Food and Drug Administration) az Amerikai Egyesült Államok Élelmiszer-biztonsági és Gyógyszerészeti Hivatala; HIIT = (high-intensity interval training) nagy intenzitású intervallumos edzés; MAP = (maximal aerobic power) maximális aerob teljesítmény; MICT = (moderate-intensity continuous training) mérsékelt intenzitású folyamatos tréning; myCOPD = COPD-s életminőséget követő applikáció mobiltelefonra; NHS = (National Health Service) az Egyesült Királyság Egészségügyi Szolgálat; NIV = (non-invasive ventilation) noninvazív lélegeztetés; PGC1 α = (peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha) peroxisómaproliferátor-aktivált receptor- γ -koaktivátor-1-alfa; SupraHIIT = szupramaximális HIIT

A krónikus légzőszervi betegségek világszerte jelentős morbiditással és mortalitással járnak, és számottevő terhet rónak az egészségügyi ellátórendszerre és a társadalomra egyaránt [1]. Az Egészségügyi Világszervezet becslése szerint világszerte mintegy 262 millió ember szenved asztmában, és évente közel 455 000 haláleset köthető a betegséghez [2]. A krónikus obstruktív tüdőbetegség (COPD) több mint 400 millió embert érint, és a légszennyezés, valamint a tartós dohányzás következtében az elmúlt évtizedben a vezető halálokok közé került [3, 4].

Az asztma és a COPD fenntartó kezelésének alapját az inhalációs gyógyszerbevitel képezi, amelynek hatékonysága nagymértékben függ a betegek terápiás kötődésétől és az inhalációs technika helyességétől [5]. A digitális technológiák alkalmazása új lehetőségeket kínál az inhalációs terápia monitorozására és a betegek hosszú távú követésére, amely a pulmonológiai rehabilitációs programokba integrálva hozzájárulhat a kezelés eredményességének javításához [6].

A COVID-19-pandémia következtében kialakuló poszt-COVID-szindróma további kihívásokat jelentett a rehabilitációs ellátás számára [7]. A tartós légzési tünetekkel és csökkent fizikai terhelhetőséggel járó állapotok kezelésében a pulmonológiai rehabilitációs programok kulcsszerepet játszanak, és számos esetben elősegítik a betegek munkába való visszatérését [8]. Emellett az intersticiális tüdőbetegségek és a tüdődaganatok ellátásában is egyre nagyobb jelentőséget kap a rehabilitáció [9].

A krónikus légzőszervi betegek kezelésének egyik jelentős problémája a nem megfelelő beteg-együttműködés, amely számos vizsgálat szerint gyakran nem haladja meg az 50%-ot [10]. Az alacsony adherencia a tünetek súlyosbodásához, gyakoribb exacerbációkhoz és az egészségügyi ellátórendszer fokozott igénybevételéhez vezethet [11]. A pulmonológiai rehabilitáció célja a be-

tegek fizikai teljesítőképességének, életminőségének és önmenedzselési készségeinek javítása komplex, multidiszciplináris megközelítés révén [12]. Ugyanakkor jelenleg nincs teljes konszenzus arra vonatkozóan, hogy milyen stratégiák biztosíthatják a rehabilitáció során elért eredmények hosszú távú fenntartását. A fenntartó rehabilitációs programok rendszerint ritkább, de folyamatosan felügyelt testmozgást és oktatási elemeket tartalmaznak, amelyek célja a betegek fizikai aktivitásának és életmódbeli változásainak tartós fenntartása [13].

Az elmúlt években a pulmonológiai rehabilitáció új megvalósítási modelljei jelentek meg, amelyek az otthoni rehabilitációs stratégiákra és a telerehabilitációs megoldásokra épülnek [14]. Ezek a technológia által közvetített programok lehetővé teszik a betegek távoli monitorozását, az állapotromlás korai felismerését és a rehabilitációs beavatkozások individualizálását, bár klinikai hatásosságuk és költséghatékonyságuk további vizsgálatokat igényel [15]. A jelen összefoglaló célja a pulmonológiai rehabilitáció korszerű szemléletének áttekintése, különös tekintettel a digitális egészségügyi technológiák és a telerehabilitáció szerepére a krónikus légzőszervi betegek kezelésében és hosszú távú gondozásában.

Narratív szakirodalmi áttekintést végeztünk a pulmonológiai rehabilitációs programok struktúrájáról, a különböző tréningmodalitásokról, valamint a telemedicinális megoldások klinikai alkalmazhatóságáról.

Terheléses tréning: intervallum- versus folyamatos intenzitású tréning

A rendszeres fizikai aktivitás számos élettani folyamatra kedvező hatást gyakorol, és fontos szerepet játszik az idegrendszer egészségének fenntartásában is [16]. A testmozgás egyik kulcsfontosságú mediátora az agyi eredetű neurotrofikus faktor (brain-derived neurotrophic factor, BDNF), amely alapvető jelentőségű a neurokognitív funkciók fenntartásában és az idegi plaszticitás szabályozásában [17]. Egészséges egyénekben szoros összefüggést figyeltek meg a fizikai terhelés intenzitása és a keringő BDNF szintjének átmeneti emelkedése között: a legnagyobb koncentrációkat nagy intenzitású fizikai aktivitást követően mérték [18].

A nagy intenzitású testmozgás mellett fontos szerepet játszik a peroxisómaproliferátor-aktivált receptor- γ -koaktivátor-1-alfa (PGC1 α) aktivációjában, amely a mitokondriális biogenezis egyik kulcsfontosságú szabályozója [19]. A PGC1 α aktivációja egyúttal elősegíti a BDNF-termelést és számos neuroprotektív jelátviteli útvonal működését. Ennek alapján a nagy intenzitású intervallumos edzés (high-intensity interval training – HIIT) kedvező hatással lehet a kognitív funkciókra és az idegrendszeri adaptációkra [20].

A HIIT a kardiovaszkuláris fitness és az izomfunkció javításában is széles körben alkalmazott tréningforma, mivel különböző populációkban a mérsékelt intenzitású

folyamatos tréninggel (moderate-intensity continuous training – MICT) összehasonlítva hasonló vagy akár kedvezőbb élettani adaptációkat eredményezhet [21]. Ugyanakkor a nagy edzésintenzitás elérése a COPD-ben szenvedő betegek esetében kihívást jelenthet, mivel a kilégzési áramláskorlátozottság és a károsodott légzésmechanika jelentős nehézlégzést válthat ki, amely korlátozza a fizikai terhelhetőséget [22].

Számos klinikai vizsgálat igazolta, hogy COPD-ben a HIIT a terhelési tolerancia, az életminőség és a vázizomzat funkcionális tulajdonságainak javítása szempontjából legalább olyan eredményes lehet, mint a folyamatos tréning, miközben kisebb ventilációs igénytel és mérsékeltbb dyspnoéval jár [19, 23–26].

Korábbi vizsgálatokban az intervallumos edzés során alkalmazott terhelési intenzitás rendszerint a maximális aerob teljesítmény (maximal aerobic power, MAP) 70–130%-a volt, amelyet a cardiopulmonalis terheléses vizsgálat (cardiopulmonary exercise test, CPET) során elért maximális terhelés alapján határoztak meg [27, 28]. Az intervallumtréning során különböző munka : pihenő arányokat alkalmaztak, amelyek a 20 : 40 másodperces protokolltól egészen a 4 : 4 perces intervallumokig terjedtek [29].

Egészséges populációkban végzett vizsgálatok ugyanakkor arra utalnak, hogy a MAP-ot meghaladó, szupramaximális intenzitású terhelések is megvalósíthatók megfelelően módosított intervallumprotokollok alkalmazásával. Rövid időtartamú, szupramaximális HIIT (SupraHIIT) esetében például 6 : 54 másodperces munka : pihenő arány mellett a MAP mintegy 300%-ának megfelelő külső terhelési intenzitás is elérhető volt, miközben a módszer idősebb, fizikailag inaktív felnőttek körében is megvalósíthatónak és jól tolerálhatónak bizonyult [19].

Az egyénre szabott terhelési intenzitás alkalmazása – a maximális erő kifejtés helyett – lehetővé teszi a kevésbé edzett betegek biztonságos mobilizálását is. Bár COPD-ben a szupramaximális intervallumtréning hatását még kevésbé vizsgálták, a rövid intervallumokból és kis munka : pihenő arányból álló protokollok ígéretesnek tűnnek ebben a betegcsoportban is [19, 25]. A SupraHIIT jelentős metabolikus stresszt válthat ki, amely fokozhatja a BDNF felszabadulását, és kedvező hatást gyakorolhat a cardiovascularis fitesszre, valamint egyéb, egészségi állapotot jelző biomarkerekre [19, 25].

Dietetikai tanácsadás és légzésrehabilitáció

A krónikus légzőszervi betegségek patofiziológiájában a lokális gyulladásos folyamatok mellett szisztémás gyulladás és fokozott oxidatív stressz is kimutatható, amelyek hozzájárulnak a betegség progressziójához, a vázizomzat funkcionális károsodásához és az általános fizikai teljesítőképesség csökkenéséhez [30]. E folyamatok mérséklésében a pulmonológiai rehabilitáció komplex megközelítése – amely magában foglalja a fizikai tréninget,

a betegoktatást és a táplálásterápiát – kulcsszerepet játszik [31, 32].

A dietetikai intervenció célja a krónikus gyulladásos állapot és az oxidatív stressz csökkentése, a megfelelő energia- és tápanyagellátás biztosítása, valamint az izomtömeg és a fizikai teljesítőképesség megőrzése [30]. COPD-ben és más krónikus tüdőbetegségekben gyakori a malnutritio, az izomtömeg csökkenése és a cachexia, amelyek kedvezőtlen prognosztikai tényezőknek számítanak. A megfelelő tápláltsági állapot fenntartása ezért a rehabilitációs programok egyik fontos eleme [31, 33].

Számos vizsgálat igazolta, hogy a gyulladáscsökkentő hatású tápanyagokban gazdag étrend kedvezően befolyásolhatja a krónikus légzőszervi betegségek lefolyását [34–36]. A mediterrán típusú étrend – amely nagy mennyiségben tartalmaz zöldségeket, gyümölcsöket, teljes értékű gabonaféléket, halat, olívaolajat és antioxidáns hatású bioaktív vegyületeket – hozzájárulhat az oxidatív stressz csökkentéséhez és a gyulladásos folyamatok mérsékléséhez [37, 38].

A D-vitamin szerepe szintén kiemelt jelentőségű [39]. A D₃-vitamin immunmoduláló és gyulladáscsökkentő hatása révén kedvezően befolyásolhatja a légzőszervi betegségek kimenetelét, valamint hozzájárulhat az izomfunkció javításához és az exacerbatiók gyakoriságának csökkentéséhez [40, 41]. A krónikus tüdőbetegek körében gyakori D-vitamin-hiány pótlása ezért fontos eleme lehet a rehabilitációs programoknak.

Az antioxidáns hatású vitaminok és mikrotápanyagok – például C- és E-vitamin, szelén, cink, valamint egyes polifenolok – szintén szerepet játszhatnak az oxidatív stressz mérséklésében [36]. Ezek a tápanyagok hozzájárulhatnak a sejtkárosodás csökkentéséhez és a gyulladásos mediátorok termelődésének modulálásához [42].

A dietetikai tanácsadás a pulmonológiai rehabilitációs programok integrált részét kell, hogy képezze [31, 43]. A személyre szabott táplálkozási ajánlások – a beteg tápláltsági állapotának, energiaigényének és társbetegségeinek figyelembevételével – hozzájárulhatnak a fizikai terhelhetőség javításához, az izomtömeg megőrzéséhez és az életminőség javításához. A fizikai tréning és a megfelelő táplálkozási intervenció együttes alkalmazása additív hatást fejthet ki a rehabilitáció eredményességének fokozásában [44].

Digitális technológiák a pulmonológiai rehabilitációban

Az információs és kommunikációs technológiák gyors fejlődése, valamint az internet-hozzáférés széles körű elterjedése új lehetőségeket teremtett a pulmonológiai rehabilitáció megvalósításában [45]. A telerehabilitáció olyan digitális egészségügyi megoldásokat foglal magában, amelyek lehetővé teszik a betegek távoli monitorozását, a rehabilitációs programok felügyeletét és az egészségügyi szakemberekkel történő folyamatos kapcsolattartást [5]. A telemedicinális megoldások a króni-

kus betegségek széles körében alkalmazhatók, többek között cardiovascularis betegségek, stroke, diabetes mellitus, sclerosis multiplex vagy arthritis esetében is [46–48].

A telerehabilitáció alkalmazása gyakran nem igényel jelentős infrastrukturális beruházást; sok esetben elegendő egy internetkapcsolattal rendelkező eszköz, webkamera és egy biztonságos kommunikációs platform, amely lehetővé teszi az orvos-beteg kapcsolat fenntartását és a klinikai adatok rögzítését. Ugyanakkor kiemelt jelentőségű az egészségügyi adatok biztonságának és a betegek személyes információinak védelme, amely a digitális egészségügyi rendszerek egyik alapvető követelménye [46–52].

Számos vizsgálat igazolta, hogy az otthoni környezetben, telemedicinális támogatással megvalósított rehabilitációs programok kedvezően befolyásolhatják a betegek állapotát [49, 50]. Az önellenőrzésen és távfelügyeleten alapuló rendszeres otthoni tréning javíthatja a légzésfunkciót és az általános egészségi állapotot, valamint csökkentheti az akut exacerbációk, a kórházi felvételek és a sürgősségi osztályos ellátások kockázatát. Fontos hangsúlyozni, hogy a telemedicina nem helyettesíti a személyes orvos-beteg találkozásokat, hanem azok kiegészítéseként szolgál. Bár a telerehabilitáció klinikai hatásosságát számos tanulmány alátámasztja, jelenleg még korlátozott evidencia áll rendelkezésre a hosszú távú költséghatékonyág tekintetében, ezért további vizsgálatok szükségesek [46–52].

A telemedicinális megoldások több különböző formában jelenhetnek meg a pulmonológiai ellátásban. Az egyik legfontosabb csoport az információközvetítő rendszereké, amelyek weboldalakon, mobilalkalmazásokon vagy közösségimédia-felületeken keresztül biztosítanak edukációs tartalmakat a betegek számára. Az egészségügyi edukáció elősegítheti a betegek önmenedzselési készségeinek fejlődését, és javíthatja a terápiás adherenciát [5]. A digitális kommunikáció másik fontos formáját a 'chatbot'-okon (csevegőrobotokon) és mobilalkalmazásokon alapuló rendszerek jelentik. Ezek az alkalmazások automatizált kommunikációs algoritmusok segítségével képesek reagálni a betegek tüneteire, emlékeztetőket küldeni a gyógyszerbevitelre vagy a rehabilitációs gyakorlatokra, valamint támogatni a betegek és az egészségügyi szakemberek közötti kapcsolattartást [5].

A modern hordható eszközök és szenzorok további lehetőséget kínálnak a betegek állapotának folyamatos monitorozására [5]. A mozgásérzékelők, pulzuszámológok, pulzoximéterek és egyéb beépített szenzorok segítségével a telemedicinális konzultációk során pontosabb állapotfelmérés végezhető, és a betegség progressziója is nyomon követhető. Az online konzultációk során az egészségügyi szakemberek felmérhetik a betegek aktuális állapotát, szükség esetén pedig a megfelelő ellátási szintre irányíthatják őket. Ez nemcsak a betegbiztonságot növeli, hanem az egészségügyi erőforrások hatékonyabb felhasználását is elősegítheti [46].

A digitális technológiák alkalmazása különösen előnyös lehet COPD-ben szenvedő betegek esetében, akiknél gyakran jelentkezik szorongás, depresszió és társadalmi izoláció, különösen előrehaladott stádiumokban [5, 46]. A telemedicinális rendszerek lehetőséget teremtenek a betegek és az egészségügyi szakemberek közötti gyakoribb kommunikációra, amely pszichoszociális támogatást is biztosíthat. Emellett a betegek közötti tapasztalatcsere és a közösségi támogatás hozzájárulhat a légzési tünetek javulásához és a mentális jóllét erősítéséhez [5, 46].

A digitális egészségügyi eszközök a dohányzásról való leszokást támogató programokban is szerepet kaphatnak. A mobilalkalmazások és online platformok hatásos kiegészítői lehetnek a viselkedésterápiás és gyógyszeres kezeléseknél, mivel támogatják a betegek motivációját, és elősegítik a hosszú távú életmódváltozást. Amennyiben ezek az eszközök integrálhatók az alapellátásba és a rehabilitációs programokba, jelentős mértékben hozzájárulhatnak a betegek edukációjához és a terápiás együttműködés javításához [5, 46].

A telemedicina szerepe az otthoni nem invazív lélegeztetésben

Az otthoni noninvazív lélegeztetés (non-invasive ventilation – NIV) jelentősége az elmúlt években folyamatosan növekedett a krónikus légzőszervi betegek ellátásában. A módszer különösen fontos azoknál a pácienseknél, akik tartós légzéstartámogatást igényelnek, például krónikus globális légzési elégtelenségben szenvedő betegek esetében, ideértve az előrehaladott COPD-ben szenvedőket, valamint más krónikus légzőszervi kórképeket. Az otthoni NIV a pulmonológiai rehabilitáció fontos eleme, mivel egyrészt a NIV hozzájárul a légzőizmok tehermentesítéséhez és az élettani tartalékok gazdaságosabb felhasználásához, másrészt a rendszeres rehabilitációs programok kulcsszerepet játszanak a hosszú távon otthon lélegeztetett betegek életminőségének és funkcionális állapotának fenntartásában [5, 46].

A telemedicinális megoldások jelentősen hozzájárulhatnak az otthoni NIV-programok hatásos működéséhez. A digitális távmonitorozási rendszerek lehetővé teszik a betegek állapotának folyamatos szakmai felügyeletét, miközben elősegítik az egészségügyi erőforrások hatékonyabb felhasználását is. Az otthoni környezetben történő ellátás számos előnnyel jár: a betegek számára kényelmesebb és biztonságosabb körülményeket biztosít, csökkenti a kórházi felvételek szükségességét, valamint mérsékli a nosocomialis fertőzések kockázatát [5, 46].

A korszerű otthoni lélegeztetőberendezések egyre gyakrabban rendelkeznek internetalapú adatátviteli funkciókkal, amelyek lehetővé teszik a ventilációs paraméterek valós idejű monitorozását. Az orvosok így távolról is hozzáférhetnek számos fontos élettani és készülékparaméterhez, például a légzési volumenhez,

a légzésszámhoz, a percventilációhoz, valamint a készülékhasználat időtartamához. Az így nyert adatok alapján a kezelőorvos folyamatosan nyomon követheti a beteg ventilációs állapotát és a készülék megfelelő működését, valamint szükség esetén időben beavatkozhat [5, 46].

A távmonitorozás lehetőséget biztosít arra is, hogy a kezelőorvosok a beteg személyes jelenléte nélkül módosítsák a ventilációs beállításokat, amennyiben a klinikai állapot ezt indokolja. Súlyosabb állapotromlás esetén a rendszer lehetővé teszi a gyors klinikai döntéshozatalt, például a beteg sürgős kórházi ellátásának megszervezését. Mindez jelentősen növelheti a betegbiztonságot és a kezelés hatásosságát. A telemedicina alkalmazása tehát nemcsak a betegek komfortérzetét javíthatja, hanem hozzájárulhat az egészségügyi ellátórendszer hatásosabb működéséhez is. Az otthoni NIV telemedicinális támogatása lehetővé teszi a krónikus légzőszervi betegek biztonságos és hatásos gondozását, miközben a kezelőorvosok számára folyamatos szakmai kontrollt biztosít a betegek állapotának alakulása felett [5, 46].

Intelligens inhalátorok és hordható szenzorok a pulmonológia jövőjében

Az intelligens inhalációs rendszerek fejlesztése és klinikai alkalmazása jelentősen átalakíthatja a COPD-s és más krónikus légzőszervi betegek kezelésének stratégiáját. Az úgynevezett „okos” inhalátorok olyan digitális érzékelőkkel ellátott eszközök, amelyek képesek rögzíteni az inhalációk időpontját, gyakoriságát és egyes légzésparamétereket, valamint az adatokat továbbítani a kezelőorvos vagy az egészségügyi ellátórendszer felé. Az Amerikai Egyesült Államok Élelmiszer-biztonsági és Gyógyszerészeti Hivatala (Food and Drug Administration – FDA) által jóváhagyott eszközök – például a Teva ProAir Digihaler (Tel-Aviv, Izrael) – nemcsak a gyógyszerhasználat monitorozását teszik lehetővé, hanem digitális platformokon keresztül klinikai adatokat szolgáltatnak a beteg állapotáról is [5, 46].

A hordható monitorozórendszerek további lehetőséget kínálnak a légzőszervi betegek állapotának folyamatos követésére. Ilyen például az ADAMM nevű hordozható eszköz (Health Care Originals, Rochester, NY, USA), amely a köhögés gyakoriságát, a légzésmintázatot, a szívfrekvenciát és más élettani paramétereket képes rögzíteni. Az ilyen rendszerek nemcsak a tünetek változására figyelmeztethetik a betegeket, hanem hozzájárulhatnak a személyre szabott terápiás döntéshozatalhoz is [5, 46].

Számos technológiai vállalat – többek között a Propeller Health (San Francisco, CA, USA), a Cohero Health (New York, NY, USA) és az Amiko (Milánó, Olaszország) – fejlesztett már digitális inhalációs monitorozórendszereket. Emellett a National Health Service (NHS) által ajánlott myCOPD mobilalkalmazás például a gyógyszeres kezelés nyomon követésében, a tünetek monitorozásában és a betegegyüttműködésben nyújt segítséget a

páciensek számára. A jövőben várhatóan tovább bővül a hordható szenzorok szerepe a pulmonológiai ellátásban. A ruházatba integrált érzékelők képesek lehetnek különböző fiziológiai és környezeti paraméterek monitorozására, például a kilégzett nitrogén-monoxid-frakció, a fizikai aktivitás vagy a levegőszennyezés mérésére. Egyes fejlesztések már olyan intelligens ruházati eszközök létrehozását célozzák, amelyek képesek a légzésmintázat vagy a tüdő aktivitásának folyamatos rögzítésére. Például a Samsung (Szöul, Dél-Korea) által fejlesztés alatt álló „okosing” szenzorok segítségével képes a légzőmozgások detektálására és az adatok okostelefonra történő továbbítására. Az ilyen rendszerek a diagnosztikai algoritmusok működéséhez a viselő életkorát, testtömegét, testmagasságát, nemét és kórtörténetét is figyelembe vehetik [5, 46].

A hordható technológiák fejlődése lehetővé teszi olyan szenzorok alkalmazását is, amelyek a környezeti expozíciókat – például légszennyező anyagok vagy toxikus gázok jelenlétét – monitorozzák. Egyes fejlesztések olyan eszközöket céloznak, amelyek képesek figyelmeztetni a beteget, ha fokozott környezeti kockázatnak van kitéve. Ilyen hordható monitorozórendszerek például a Spire (San Francisco, CA, USA) vagy a Vitali (San Marino, Olaszország) által fejlesztett eszközök, amelyek mozgásérzékelők segítségével képesek követni a fizikai aktivitást és a légzési mintázatot [5, 46]. Az intelligens szenzorok és a valós idejű adatfeldolgozást alkalmazó algoritmusok lehetővé teszik a tünetek korai felismerését, ami időben történő beavatkozással hozzájárulhat az akut exacerbációk megelőzéséhez. A digitális távmonitorozó rendszerek egyik legfontosabb előnye a nagy pontosság, az előrejelző képesség és a terápiás döntések személyre szabhatósága [5, 46].

Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a pulmonológiai rehabilitáció – még telerehabilitációs formában történő megvalósítás esetén is – meg kell, hogy őrizze alapvető elemeit, így a strukturált fizikai tréninget, a betegedukációt és a viselkedésváltozást támogató intervenciókat. Emellett kulcsfontosságú az objektív kimeneteli mutatók rendszeres mérése, valamint a sürgősségi ellátási és terápiás beavatkozási protokollok kidolgozása. A pulmonológiai telerehabilitáció szélesebb körű bevezetéséhez és egységesítéséhez nemzetközi szakmai szervezetek, tudományos társaságok és egészségügyi döntéshozók együttműködésére van szükség. A digitális egészségügyi rendszerek fejlődésével párhuzamosan egyre nagyobb hangsúlyt kap a betegek személyes adatainak védelme, az egészségügyi információk biztonságos kezelése, valamint az adattovábbítás és -tárolás kiberbiztonsági kérdései is.

Limitációk és jövőbeli perspektívák

A jelen összefoglaló áttekinti a pulmonológiai rehabilitáció és a digitális egészségügyi technológiák integrációjának legfontosabb irányait, ugyanakkor számos korláttal is számolni kell. A pulmonológiai rehabilitáció legújabb

irányelveit és azok korlátait az American Thoracic Society (ATS) 2023-ban publikált klinikai gyakorlati ajánlása részletesen ismerteti. Ezek az irányelvek külön hangsúlyozzák a fenntartó pulmonológiai rehabilitációs programok megvalósíthatóságának kérdését, valamint a technológia által közvetített rehabilitációs modellek – például a telerehabilitáció – szerepét a hosszú távú betegmenedzsmentben.

Az ATS-ajánlások rámutatnak arra is, hogy a rehabilitációs programok hosszú távú fenntarthatóságában kulcsszerepet játszhatnak a viselkedésváltozást támogató technológiák. Az ilyen intervenciók célja a betegek fizikai aktivitásának és önmenedzselési készségeinek tartós fenntartása, amelyet különböző viselkedésváltozási modellek és elméleti keretek is támogatnak. Fontos szempont továbbá, hogy a rehabilitációs programok során alkalmazott felügyelet mértéke és formája a betegpopuláció jellemzőitől és a betegség súlyosságától függően eltérő lehet. A különböző ellátási formák – ideértve a fekvőbeteg-ellátást, a nappali kórházi programokat, az ambuláns rehabilitációt, valamint a távmonitorozással támogatott otthoni rehabilitációt – eltérő klinikai helyzetekben lehetnek optimálisak. Ennek megfelelően a rehabilitációs stratégiák kialakításakor szükséges figyelembe venni a betegek funkcionális állapotát, a komorbiditásokat és a rendelkezésre álló egészségügyi erőforrásokat is. A jövőben további klinikai vizsgálatok szükségesek annak meghatározására, hogy a digitális technológiák milyen módon integrálhatók a pulmonológiai rehabilitációs programokba, valamint hogy ezek az innovatív megközelítések milyen mértékben járulhatnak hozzá a betegek hosszú távú funkcionális állapotának és életminőségének javításához.

Következtetések

A pulmonológiai rehabilitáció a krónikus légzőszervi betegek komplex kezelésének alapvető eleme, amely jelentős mértékben hozzájárulhat a betegek fizikai teljesítőképességének, életminőségének és önmenedzselési képességének javításához. A digitális egészségügyi technológiák, a telerehabilitációs megoldások, valamint az intelligens monitorozórendszerek új perspektívákat nyitnak a rehabilitációs programok megvalósításában és a betegek hosszú távú követésében.

A jövőben a pulmonológiai rehabilitáció várhatóan a digitális egészségügyi rendszerek egyik fontos alkalmazójává válhat, amely lehetővé teszi a betegek személyre szabott monitorozását, a korai állapotromlás felismerését és a terápiás beavatkozások optimalizálását. Ugyanakkor a technológiai innovációk alkalmazása mellett továbbra is kulcsfontosságú a multidiszciplináris megközelítés, a strukturált fizikai tréningprogramok és a betegek edukációja a rehabilitációs ellátásban.

Fontos azonban kiemelni, hogy jelentős fejlesztések szükségesek a digitális technológiák terjedéséhez hazánkban, és figyelembe kell vennünk a digitális megosztottság és a digitális szakadék jelenségét.

Anyagi támogatás: A kézirat megírásához a szerzők közül senki nem kapott anyagi támogatást.

Szerzői munkamegosztás: P. E., P. L., F. M., P. V., M. Á., R. Z., L. J., K. T., K. Zs. részt vett az irodalomgyűjtésben, a kézirat megírásában és a bírálók által javasolt korrekciók elvégzésében. V. J. T. az irodalomgyűjtésben, a kézirat megírásában és a bírálók által javasolt korrekciók elvégzésében tevékenykedett, valamint összefogta és ellenőrizte a szerzői csapatot. A közlemény végleges változatát valamennyi szerző elolvasta és jóváhagyta.

Érdekltségek: A szerzőknek nincsenek érdekltségeik.

Irodalom

- [1] Fekete M, Szollosi G, Tarantini S, et al. Metabolic syndrome in patients with COPD: causes and pathophysiological consequences. *Physiol Int.* 2022; 109: 90–105.
- [2] World Health Organization. Tobacco and asthma. WHO, Geneva, 30 July 2024. Available from: www.who.int/publications/i/item/9789240097537 [accessed: May 3, 2026].
- [3] Chen S, Kuhn M, Prettner K, et al. The global economic burden of chronic obstructive pulmonary disease for 204 countries and territories in 2020–50: a health-augmented macroeconomic modelling study. *Lancet Glob Health* 2023; 11: e1183–e1193.
- [4] Duan RR, Hao K, Yang T. Air pollution and chronic obstructive pulmonary disease. *Chronic Dis Transl Med.* 2020; 6: 260–269.
- [5] Fekete M, Fazekas-Pongor V, Balazs P, et al. Role of new digital technologies and telemedicine in pulmonary rehabilitation: smart devices in the treatment of chronic respiratory diseases. *Wien Klin Wochenschr.* 2021; 133: 1201–1207.
- [6] Lee J, Strachman FB, Szendrő G, et al. Virtual reality in pulmonary rehabilitation: a systematic review of clinical outcomes in COPD and post-COVID conditions. *Physiol Int.* 2026; 113: 34–63.
- [7] Szarvas Z, Fekete M, Horvath R, et al. Cardiopulmonary rehabilitation programme improves physical health and quality of life in post-COVID syndrome. *Ann Palliat Med.* 2023; 12: 548–560.
- [8] Fekete M, Szarvas Z, Fazekas-Pongor V, et al. Outpatient rehabilitation programs for COVID–19 patients. [Ambuláns rehabilitációs programok COVID–19-betegek számára.] *Orv Hetil.* 2021; 162: 1671–1677. [Hungarian]
- [9] Vos T, Lim S, Abbafati C, et al. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet* 2020; 396: 1204–1222. Erratum: *Lancet* 2020; 396: 1562.
- [10] George M. Adherence in asthma and COPD: new strategies for an old problem. *Respir Care* 2018; 63: 818–831.
- [11] Moy ML. Maintenance pulmonary rehabilitation: an update and future directions. *Respir Care* 2024; 69: 724–739.
- [12] Kim SH. Self-management, patient education and multidisciplinary care in chronic pulmonary disease: an integrated approach to pulmonary rehabilitation. *Ann Cardiopulm Rehabil.* 2025; 5: 30–37.

- [13] Malaguti C, Dal Corso S, Janjua S, et al. Supervised maintenance programmes following pulmonary rehabilitation compared to usual care for chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2021; 8: CD013569.
- [14] Uzzaman MN, Agarwal D, Chan SC, et al. Effectiveness of home-based pulmonary rehabilitation: systematic review and meta-analysis. *Eur Respir Rev.* 2022; 31: 220076.
- [15] Santos CD, Rodrigues F, Caneiras C, et al. From inception to implementation: strategies for setting up pulmonary telerehabilitation. *Front Rehabil Sci.* 2022; 3: 830115.
- [16] Bonanni R, Cariati I, Tarantino U, et al. Physical exercise and health: a focus on its protective role in neurodegenerative diseases. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2022; 7: 38.
- [17] Rezaee Z, Marandi SM, Alaei H. Molecular mechanisms of exercise in brain disorders: a focus on the function of brain-derived neurotrophic factor – a narrative review. *Neurotox Res.* 2022; 40: 1115–1124.
- [18] Antunes BM, Rossi FE, Teixeira AM, et al. Short-time high-intensity exercise increases peripheral BDNF in a physical fitness-dependent way in healthy men. *Eur J Sport Sci.* 2020; 20: 43–50.
- [19] Jakobsson J, De Brandt J, Hedlund M, et al. Feasibility and acute physiological responses to supramaximal high-intensity interval training in COPD: a randomised crossover trial. *ERJ Open Res.* 2025; 11: 01321–2024.
- [20] Bi X, Fang J, Jin X, et al. The interplay between BDNF and PGC-1 α in maintaining brain health: role of exercise. *Front Endocrinol (Lausanne)* 2024; 15: 1433750.
- [21] Liu G, Li H. High-intensity interval training (HIIT): impacts on cardiovascular fitness and muscle development. *Rev Psicol Deporte (J Sport Psychol.)* 2024; 33: 210–219.
- [22] Fiorentino G, Esquinas AM, Annunziata A. Exercise and chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Adv Exp Med Biol.* 2020; 1228: 355–368.
- [23] Kerti M, Bohacs A, Madurka I, et al. The effectiveness of pulmonary rehabilitation in connection with lung transplantation in Hungary. *Ann Palliat Med.* 2021; 10: 3906–3915.
- [24] Varga JT. The effectiveness of the rehabilitation of chronic lung diseases in the light of functional, exercise physiology and quality of life variables. New techniques increasing the effectiveness of pulmonary rehabilitation. Hungarian Academy of Sciences doctoral dissertation. [Krónikus tüdőbetegségek rehabilitációjának hatásossága funkcionális, terhelésélettani és életminőség változók tükrében. A tüdőgyógyászati rehabilitáció hatékonyságát növelő új technikák. MTA-doktori értekezés.] Semmelweis Egyetem, Pulmonológiai Klinika, Budapest, 2023. [Hungarian]
- [25] Varga J, Boda K, Somfay A. The effect of controlled and uncontrolled dynamic lower extremity training in the rehabilitation of patients with chronic obstructive pulmonary disease. [A kontrollált és nem kontrollált alsó végtagi dinamikus tréning hatása krónikus obstruktív tüdőbetegségben szenvedők rehabilitációjában.] *Orv Hetil.* 2005; 146: 2249–2255. [Hungarian]
- [26] Hegedűs B, Varga J, Somfay A. Interdisciplinary rehabilitation in patients with ankylosing spondylitis. [Az interdiszciplináris rehabilitáció hatása spondylitis ankylopoeticában szenvedő betegekben.] *Orv Hetil.* 2016; 157: 1126–1132. [Hungarian]
- [27] Bossi AH, Mesquida C, Passfield L, et al. Optimizing interval training through power-output variation within the work intervals. *Int J Sports Physiol Perform.* 2020; 15: 982–989.
- [28] Atakan MM, Li Y, Koşar ŞN, et al. Evidence-based effects of high-intensity interval training on exercise capacity and health: a review with historical perspective. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18: 7201.
- [29] Zhang Z, Xie L, Ji H, et al. Effects of different work-to-rest ratios of high-intensity interval training on physical performance and physiological responses in male college judo athletes. *J Exerc Sci Fit.* 2024; 22: 245–253.
- [30] Fekete M, Pákó J, Szöllösi G, et al. Significance of nutritional status in chronic obstructive pulmonary disease: a survey. [A tápláltsági állapot felmérése és jelentősége krónikus obstruktív tüdőbetegségben.] *Orv Hetil.* 2020; 161: 1711–1719. [Hungarian]
- [31] Fekete M, Fazekas-Pongor V, Balazs P, et al. Effect of malnutrition and body composition on the quality of life of COPD patients. *Physiol Int.* 2021; 108: 238–250.
- [32] Fekete M, Kerti M, Fazekas-Pongor V, et al. Effect of interval training with non-invasive ventilation in severe chronic obstructive pulmonary disease—a prospective cohort study with matched control group. *Ann Palliat Med.* 2021; 10: 5289–5298.
- [33] Fekete M. Factors affecting the quality of life of chronic respiratory patients with particular regard to nutritional status. PhD thesis. [Krónikus légzőszervi betegek életminőségét befolyásoló tényezők különös tekintettel a tápláltsági állapotra. PhD-értekezés.] Semmelweis Egyetem Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola, Budapest, 2023. [Hungarian]
- [34] Fekete M, Szarvas Z, Fazekas-Pongor V, et al. Nutrition strategies promoting healthy aging: from improvement of cardiovascular and brain health to prevention of age-associated diseases. *Nutrients* 2022; 15: 47.
- [35] Fekete M, Csípő T, Fazekas-Pongor V, et al. The possible role of food and diet in the quality of life in patients with COPD – A state-of-the-art review. *Nutrients* 2023; 15: 3902.
- [36] Fekete M, Csípő T, Fazekas-Pongor V, et al. The Effectiveness of supplementation with key vitamins, minerals, antioxidants and specific nutritional supplements in COPD – a review. *Nutrients* 2023; 15: 2741.
- [37] Fekete M, Jarecsny T, Lehoczki A, et al. Mediterranean diet, polyphenols, and neuroprotection: mechanistic insights into resveratrol and oleuropein. *Nutrients* 2025; 17: 3929.
- [38] Fekete M, Lehoczki A, Kryczyk-Poprawa A, et al. Functional foods in modern nutrition science: mechanisms, evidence, and public health implications. *Nutrients* 2025; 17: 2153.
- [39] Takács I, Dank M, Majnik J, et al. Hungarian consensus recommendation on the role of vitamin D in disease prevention and treatment. [Magyarországi konszenzusajánlás a D-vitamin szerepéről a betegségek megelőzésében és kezelésében.] *Orv Hetil.* 2022; 163: 575–584. [Hungarian]
- [40] Fekete M, Lehoczki A, Szappanos Á, et al. Vitamin D and colorectal cancer prevention: immunological mechanisms, inflammatory pathways, and nutritional implications. *Nutrients* 2025; 17: 1351.
- [41] Jolliffe DA, Greenberg L, Hooper RL, et al. Vitamin D to prevent exacerbations of COPD: systematic review and meta-analysis of individual participant data from randomised controlled trials. *Thorax* 2019; 74: 337–345.
- [42] Simon P, Török É, Szalontai K, et al. Nutritional support of chronic obstructive pulmonary disease. *Nutrients* 2025; 17: 1149.
- [43] Fazekas-Pongor V, Fekete M, Balazs P, et al. Health-related quality of life of COPD patients aged over 40 years. *Physiol Int.* 2021; 108: 261–273.
- [44] Naas S, Fekete M, Szendrő G, et al. Multimodal therapeutic strategies for the management of sarcopenia and frailty in chronic obstructive pulmonary disease: a narrative review. *Nutrients* 2026; 18: 543.
- [45] Pimenta S, Hansen H, Demeyer H, et al. Role of digital health in pulmonary rehabilitation and beyond: shaping the future. *ERJ Open Res.* 2023; 9: 00212–2022.
- [46] Fekete M, Polivka L, Palmer E, et al. The role of telerehabilitation and digital technologies in the management and monitoring of pulmonary diseases. [A telerehabilitáció és a digitális technológiák szerepe a légzőszervi betegségek kezelésében és nyomon követésében.] *Orv Továbbk Szle.* 2025; 3: 40–47. [Hungarian]

- [47] Haleem A, Javaid M, Singh RP, et al. Telemedicine for health-care: capabilities, features, barriers, and applications. *Sens Int.* 2021; 2: 100117.
- [48] Pereira AM, Jácome C, Almeida R, et al. How the smartphone is changing allergy diagnostics. *Curr Allergy Asthma Rep.* 2018; 18: 69.
- [49] Doshi H, Hsia B, Shahani J, et al. Impact of technology-based interventions on patient-reported outcomes in asthma: a systematic review. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 2021; 9: 2336–2341.
- [50] Bonini M. Electronic health (e-Health): emerging role in asthma. *Curr Opin Pulm Med.* 2017; 23: 21–26.
- [51] Sándor K, Fazekas G. Advanced technologies and innovative approaches in neuromusculoskeletal rehabilitation. [Fejlett technológiák és innovatív megközelítések a neuromuszkuláris rehabilitációban.] *Orv Hetil.* 2025; 166: 175–182. [Hungarian]
- [52] Békássy Sz, Cserhádi P, Dénes Z, et al. Joint search of primary care and rehabilitation medicine to prevent disability and improve rehabilitation. [Az alapellátás és a rehabilitációs medicina közös útkeresése a fogyatékosság megelőzése és a rehabilitáció fejlesztése érdekében.] *Orv Hetil.* 2024; 165: 1483–1492. [Hungarian]

(Varga János Tamás dr.,
Budapest, Tömő u. 25–29., 1083
e-mail: varga.janos.tamas@semmelweis.hu)



MAGYARORSZÁG LEGMODERNEBB KIADÓI MEGOLDÁSA

- 1100 szakkönyv és tankönyv
29 tudományterületen
- folyamatosan bővülő tartalom
- intelligens, prediktív keresés
- sok-sok kényelmi funkció
a hatékony kutatáshoz



www.mersz.hu

Online. Bárhol. Bármikor.



A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID_1)