

A COVID-19-VILÁGJÁRVÁNY ÉS A LÉGI KÖZLEKEDÉS

Repülésélettani, klinikai és járványtani tapasztalatok
és következmények a polgári és katonai repülésben

DOI

<https://doi.org/10.29068/HO.2024.1-2.13-35>

SZERZŐK

Dr. habil. Szabó Sándor András orvos ezredes, PhD, DAvMed (UK), MH Egészségügyi Központ, Szegedi Tudományegyetem Repülő- és Űrorvosi Tanszék tanszékvezető docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem egyetemi magántanár, MH repülő főszakorvos (ORCID: 0000-0002-1362-4723, MTMT: 10022416)
Dr. Nagy-Bozsoky József, Semmelweis Egyetem Doktori Iskola doktorandusza (ORCID: 0000-0003-3130-451X, MTMT: 10095489)
Dr. Tótka Zsolt orvos alezredes MH Egészségügyi Központ (ORCID: 0000-0002-4326-3287, MTMT: 10095341)
Dr. Kuti Norbert orvos alezredes, MH Egészségügyi Központ (ORCID: 0009-0006-2883-4260, MTMT: 10094308)
Dr. Guth-Orji Ágnes orvos alezredes, MH Egészségügyi Központ, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola doktorandusza, Szegedi Tudományegyetem Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Klinikai Központ, Repülő- és Űrorvosi Tanszék tanársegéd (ORCID: 0000-0003-0138- 9807, MTMT: 10081329)

KULCSSZAVAK

SARS-CoV-2 a repülésben, COVID-19 súlyosbította hypobáriás hypoxia, cerebrális és perifériás pulsoxymetria, hirtelen cselekvőképtelenség kockázata vírusfertőzésben, hosszú COVID

ABSZTRAKT

A COVID-19-világjárvány nemcsak általános népegészségügyi, járványügyi probléma, hanem komoly, egész iparágak, illetve foglalkozási csoportok létét és működését alapvetően átalakító tényezővé vált. Különösen igaz ez a légi közlekedésre mint iparágra és a légi közlekedési szakszemélyzetre mint a repülésélettani stresszorok miatt különösen sérülékeny munkavállalói csoportra. A cikknek nem célja a COVID-19-világjárvány teljes körű diagnosztikai, terápiás és járványügyi elemzése, csak arra fókuszál, hogy mindez hogyan érintette a civil és katonai repülésben a repülőhajózó állomány egészségügyi alkalmasságát, különös tekintettel a lezajlott vírusfertőzés hypoxia-tűrőképességre és a kognitív teljesítményre, illetve mentális egészségre gyakorolt hatására. Mindezt a barokamrában hypobárikus hypoxiában mért kedvezőtlen perifériás és agyi pulsoxymetriás adatokkal is szemléltetjük.

BEVEZETÉS

„Biztosan eljön az a pillanat, amikor halálos járvány söpör végig a világon. Életbevágó, hogy fel legyünk készülve rá!”
(Barack Obama, 2014)

Az Amerikai Egyesült Államok elnökének jóslata igen hamar valóságos fenyegetéssé vált. A több mint három évig tartó COVID-19, a SARS-CoV2 koronavírus különböző variánsai által okozott világjárvány 2020–2023 között drasztikusan visszavetette a (főleg nemzetközi) légi közlekedést, pilóták tízezrei veszítették el munkájukat vagy hosszú hónapokra földi szolgálatra kényszerültek. A nemzetközi légi közlekedésben (különösen az utasforgalomban) a járvány csúcán felére-harmadára esett vissza a tényleges repülési intenzitás, és ezzel jelentősen csökkent a pilóták (és repülésirányítók) repülési (irányítási) rutinja. A személyes kontaktussal járó fertőzésveszély miatt nem lehetett végrehajtani a rendszeres valós vagy szimulátorrepüléssel járó továbbképzéseket, a személyes jelenlétéhez kötött repülőorvosi alkalmassági vizsgálatok is (hivatalos engedéllyel) halasztást szenvedtek. Mindezek értelmében a légi közlekedési (mint a világot behálózó szervezetre ható) és a repülőorvosi (mint a légi szakszemélyzet speciális alkalmassági minősítésére ható) kihívások együtt érvényesültek.

Mindezeknek egyelőre kiszámíthatatlan repülésbiztonsági következménye is

van, melyet a NATO¹ és az EASA² a jogszabályi környezet adaptációjával új, online, a digitális térhez kötött minősítési, továbbképzési eljárások kidolgozásával, a szakszolgálati engedélyek és repülőorvosi alkalmassági engedélyek meghosszabbításával próbálnak (részben) kompenzálni. A globális méretű légi közlekedési válság az ICAO³ összesítése szerint pedig háborús időszakokkal összemérhető gazdasági krízishelyzethez vezető mutatókkal jellemezhető, mind a lezárt 2020–2021. év, mind a 2022. év eredményeit tekintve (figyelembe véve az újabb mutánsok által kiváltott újabb járványhullámok okozta járványügyi utazási korlátozásokat, iparági termelőkapacitás-csökkenést és a turizmus önmagában jelentős GDP-, azaz nemzetiössztermék-növelő szerepének elmaradását).⁴

A nemzetközi utasforgalom 60%-os visszaesése következett be, a repülőtéri és légitársasági szövetségek is 65%-os bevételcsökkenésről számoltak be, a nemzetközi turizmusból befolyó bevételek kiesése meghaladja a (legjobb forgatókönyv alapján) 910, de akár az 1170 milliárd dollárt is (a legrosszabb eset, a lassú kilábalás forgatókönyve). A világkereskedelem közel 10%-kal, a világgazdaság 3,5–4,3%-kal esett vissza, ami jelentősen meghaladja az utolsó, 2008-as világgazdasági recesszió mértékét. 2020-ban 372 milliárd dolláros, 2021-ben 324 milliárd dolláros veszteséget szenvedtek

1 NATO (North Atlantic Treaty Organization): az Észak-atlanti Szerződés Szervezete.

2 EASA (European Aviation Safety Agency): Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (Közös Légügyi Hatóság).

3 ICAO (International Civil Aviation Organization): az ENSZ Polgári Repülésügyi Világszervezete.

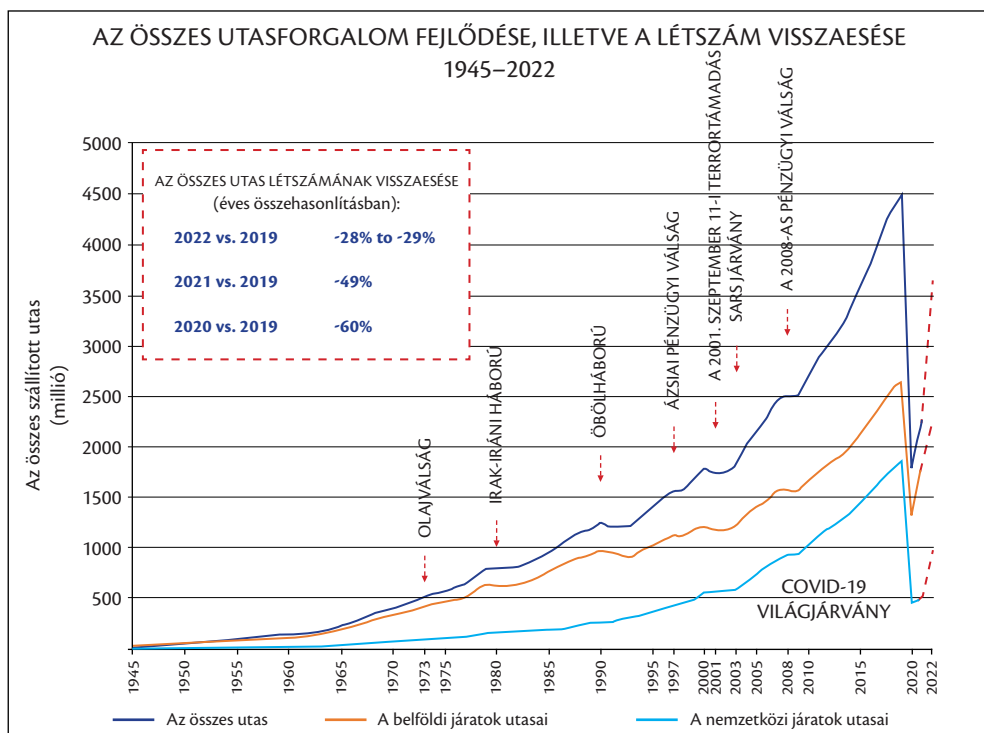
4 ICAO-jelentés: Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis, Montréal, Canada. 2023. január 27. Economic Development –Air Transport Bureau. <https://www.icao.int/sustainability/pages/economic-impacts-of-covid-19.aspx>.

el a nagy légitársaságok a 2019-es bázisához viszonyítva, és 2022-re is 175 milliárd dolláros összesített veszteség számítható.⁵ (1. ábra)

A járvány okozta fokozott légi közlekedési kockázat becslésére és kezelésére a nagy légi közlekedési szervezetek (az ICAO mellett az FAA – az Amerikai Légügyi Hivatal és az EASA – az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség is) külön kézikönyvet állítottak össze a nemzeti polgári légügyi hatóságok részére,

melynek csak egy része a humán faktor (azaz a szakképzett légiszemélyzet) hirtelen cselekvőképtelenségi kockázatának elemzése és a veszély csökkentésére irányuló eljárásrend kidolgozása.⁶

Általános tapasztalat volt, hogy az akut vírusfertőzés gyakran közvetlenül érintette az egyébként egészséges, és egészséges életmód iránt motivált légi közlekedési szakszemélyzet tagjait is. Tragikus módon az egyéni egészségi (pl. szív- és érrendszeri) kockázattal nem



1. ábra. A polgári légi közlekedés visszaesése a COVID-19-járvány első hullámai miatt (forrás: ICAO)

5 IATA REPORT – International Air Transport Association (Nemzetközi Légiszállítási Szövetség) updated impact assessment 2020. március 24. [https://www.iata.org/en/iata-respository/publications/economic-report/third-impact-assessment](https://www.iata.org/en/iata-respository/publications/economic-report/third-impact-assessment;); Kaitano, Dube, Godwell Nhamo, David Chikodzi: COVID-19 Pandemic and Prospects for Recovery of the Global Aviation Industry. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102022>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096969721000053>.

6 EASA Handbook for CAAs on the Management of Aviation Safety Risks Related to COVID-19 (Doc 10144). <https://www.icao.int/safety/safetymanagement/pages/covid-19-safety-risk-management.aspx>.

magyarázható, súlyos lefolyású betegség és elhúzódó gyógyulás is előfordult fiatalabb életkorban is, nemcsak az idősebb, magasabb kockázatú korcsoportokban. Ismert annak a 43 éves skót pilótának az esete, aki hosszú távú interkontinentális repülése után már úgy érkezett Vietnámba, hogy a reptérről hordágyon vitték a sürgősségi osztályra, a tüdőszövődmények (COVID-tüdőgyulladás és ARDS⁷) miatt légzőfelülete 90%-át elvesztette, és csak a hosszú intenzív terápia mentette meg a tüdőtranszplantációtól.⁸

Az akut vírusbetegség lezajlása után perzisztáló tünetek pedig a „hosszú COVID” részjelenségeként okoznak komoly repülőorvosi minősítési problémát: a fáradékonyság, csökkent fizikai teljesítőképesség, csökkent koncentráció és egyéb figyelmi, illetve memóriefunkciók esetében (a „ködös agy” állapota), amelyek miatt már normális földi körülmények között is visszaeshet a pilóta teljesítménye, csökken fizikai terhelhetősége, a kifáradás-kimerülés tünetegyüttes sokkal intenzívebben jelentkezik.⁹ Ezek a panaszok repülési környezetben az oxigénhiány, a széndioxid-kimosás (paszszív hiperventilláció, illetve respirációs alkalózis) és a szervi hypoxaemia miatt még aktívabban hatnak a fizikai terhelhetőségre.¹⁰

A repülés oldaláról nézve a hypoxia és a túlterhelés – mint inherens, alattomos repülésélettani stresszorok – a magasság és gyorsulás függvényében a mai napig

első számú repülésbiztonsági baleseti tényezők. A magasságfüggő nyomásváltozás csökkenő külső oxigénkínálatot eredményez a belelegzett levegőben, a túlterhelés-gyorsulás változása az agyi véráramlást veszélyezteti, ami közvetlen módon rontja az emberi teljesítőképességet, növeli a hiba lehetőségét. Ezt külön provokálhatja egy légúti vírusfertőzés súlyos – a tüdő légzőfelszínének átmeneti vagy tartós elvesztésével járó – formája, mint amilyen a SARS-CoV2 által okozott kétoldali súlyos tüdőgyulladás vagy ARDS (és természetesen a fertőzés második fázisában kialakuló, citokinvihar indukálta masszív sokszervi gyulladás és elégtelenséghez [Multi Organ Failure] vezető folyamat, amely az intenzív osztályon kezelt betegek jelentős részénél a halálozás oki tényezője).

A Magyar Honvédség személyi állományát a korai és proaktív járványügyi lépések (maszkhasználat, home office, távolságtartás) ellenére arányaiban hasonlóképpen érintette a járvány, az aktív (fizikai teljesítmény, jó egészségi állapot, alacsony szív- és érrendszeri rizikóprofil szerint is szelektált és rendszeresen ellenőrzött egészségi állapotú) állományban alacsony számú fatális kimenetellel (2021. szeptemberig 16 fő HM- [Honvédelmi Minisztérium] szintű összeállításban). A légierő aktív, folyamatos szállítási, légtérellenőrzési és gyakorlati kiképzési feladataiban forgóváltásos rendszerben részt vevő állományában

7 ARDS (acute respiratory distress syndrome): felnőttkori légzőszervi distressz tünetegyüttes légzési elégtelenséggel.

8 Barnes, O.: Coronavirus: Vietnam Coma Pilot Warns People Not To Be Blasé. *BBC News*. Közzététel: 2020. július 27. <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-53544345>.

9 Guth-Orji Á.: *A poszt-COVID szindróma repülésbiztonsági jelentősége*. *Honvédorvos*, 73 (1–2). 5–19. o. ISSN 0133-879x. (2021). <https://doi.org/10.29068/HO.2021.1-2.5-19>.

10 Nalbandian, A., Sehgal, K., Gupta, A. et al. Post-acute COVID-19 syndrome. *Nat Med* 27, 601–615 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01283-z> <https://www.nature.com/articles/s41591-021-01283-z#Fig2>.

szintén fordultak elő megbetegedések – az egyéni védőeszközök szigorú használata ellenére. Haláleset nem fordult elő, az esetek túlnyomó része még kórházi kezelést sem igényelt, de repülésbiztonsági szempontból felmerült a jogos aggodalom, hogy a szervi lokalizáció (a tüdő érintettsége, akár tüdőgyulladás nélkül), a tünetek (fulladás, köhögés, fáradékonyság elhúzódó jelleggel) mennyiben jelentenek problémát a speciális repülési alkalmasság, azon belül a hypoxia-tűrőképesség szempontjából.

Az MH egészségügyi főnök jóváhagyásával, az érvényben lévő jogszabály

vonatkozó pontja¹¹ alapján a lezajlott SARS-CoV-2019 vírus okozta fertőzés után soron kívüli ROB-vizsgálatot végeztünk, melynek során a barokamrai hypoxia-tűrőképességet is ellenőriztük. A vizsgálat eredményét a betegség előtti individuális keringési-légzési paraméterekhez viszonyítva elemeztük, a romló-tűrőképességet a magasságleitani reflexszintű változásokkal és a vírusfertőzés patomechanizmusából fakadó analóg keringési és légzési kóros jelenségekkel magyarázzuk. Ezzel szemléltetjük a vírusfertőzés okozta alattomos, elhúzódó hypoxia hatását is.

A COVID-19-VÍRUSFERTŐZÉS REPÜLŐORVOSI VONATKOZÁSAI

A légi közlekedés – szervezeti struktúrájánál, illetve a repülésbiztonsági szempontok szerinti sűrű és kontakt (személyes érintkezést is igénylő) ellenőrzési rendszerénél fogva, valamint a hatalmas utasforgalom és a járványügyi expozíciók

lehetőségei miatt is – különösen érzékenyen reagált a 2019 decemberében a kínai Vuhanból induló és 2020 márciusában a WHO¹² által is világjárványnak (pandémiának) nyilvánított tömeges vírushatásra. Ennek összetevői a következők:

1. Járványtan repülési környezetben

A repülőgép maga (mint vektor) biztosította a lappangási fázisban levő vagy enyhe tünetekkel rendelkező egyének (mint utasok) révén a vírus gyors közlekedését és tömeges transzmisszióját a kontinensek között, újabb és újabb gócpontok kialakulásával a fogékony lakosság körében. Míg korábban a WHO csak egyes influenzatörzsek (pl. H1N1)

és a vérzéses lázat okozó vírusok (Lassa, Ebola, Marburg) esetében hirdetett magas fokú készséget, a koronavírusok családjába tartozó törzsek közül a SARS¹³ és a MERS¹⁴ után e vírustörzs vált igazán globalizált járvány okozójává, mind ragályossága, mind az életkorral és az alapbetegségekkel növekvő halálozási rátája miatt. (A 2022-ben dominánssá váló

11 20/2021. (X. 06.) HM-rendelet „Az állami célú légiközlekedési személyzet repülőegészségi alkalmasságának feltételeiről, valamint a repülőegészségi alkalmassági vizsgálatot végző szerv kijelölésének és tevékenységének szabályairól”, 7. § d) pont.

12 WHO (World Health Organization): Egészségügyi Világszervezet.

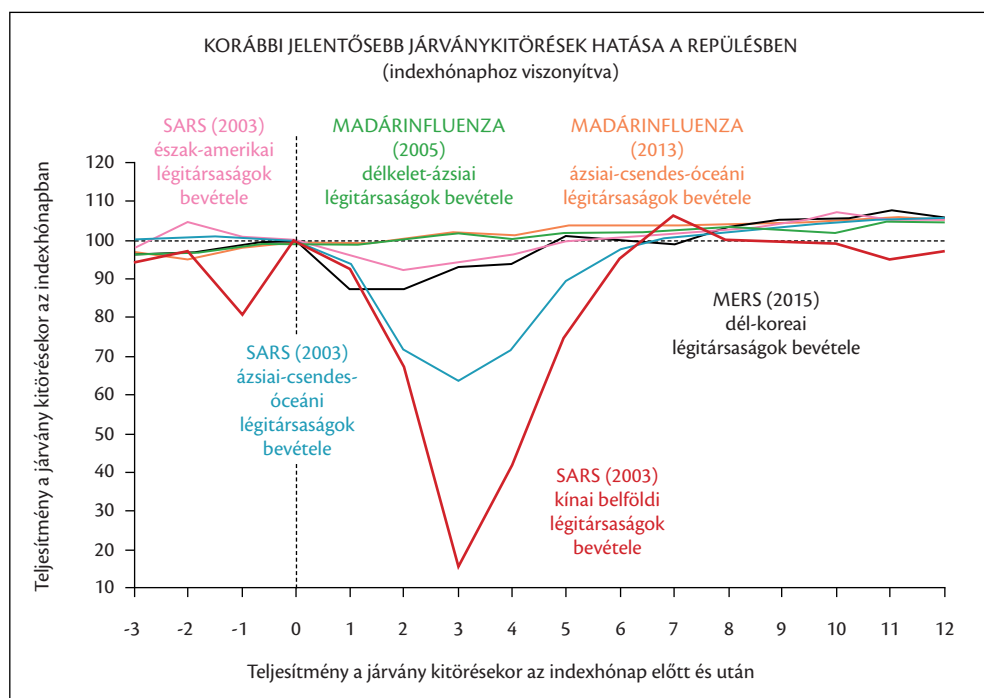
13 SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome): koronavírus törzs által okozott súlyos akut légzési tünetegyüttes a 2003-as járvány során.

14 MERS (Middle-East Respiratory Syndrome): koronavírus törzs által okozott súlyos akut légzési tünetegyüttes a 2012-es járvány során, főleg a Közel-Keleten.

omikron variáns [és változatainak] fertőzőképessége tovább nőtt, megbetegítőképessége, fulmináns lefolyást okozó klinikai gyakorisága viszont csökkent.)

Fertőző betegségek repülőúthoz köthető, ténylegesen a repülés alatt a fedélzeten bekövetkező transzmissziója korábban, más fertőző ágensekre vonatkozóan is ismert volt, ezek közül néhány esetben felmerült a tbc gyanúja (az utazótársakat a légitársaság köteles értesíteni, ha a fertőzött utas utazása tényszerűen igazolttá válik). A kanyaró, az influenza légúti terjedése néhány (három, illetve két) esetben igazolódott (utóbbinál egy alkalommal alaszakai leszállás során, nyitott ajtó mellett, ami-

kor a fedélzeti légkondicionáló rendszer és HEPA-szűrő¹⁵ nem működött). Étellel történő terjedés szintén alacsony számban fordult elő (a catering fedélzeti ételkiszolgálás higiénés problémája miatt), főleg Salmonellosist (15 esetben), Staphylococcust (nyolc esetben), Shigellát (három esetben), kolerát (három esetben) igazoltak utólag laboratóriumi úton.¹⁶ Korábban még a nagyobb légúti járványkitörések sem okoztak globális szintű, azonnal érzékelhető pénzügyi veszteséggel és forgalom-visszaeséssel járó megingásokat a nemzetközi légi közlekedésben, legfeljebb a helyi (belföldi vagy országszintű) korlátozások miatt volt kapacitáscsökkenés. (2. ábra)



2. ábra. Légútijárvány-kitörések hatása a légiforgalomra (forrás: ICAO, IATA)

15 HEPA (high efficiency particulate air) -szűrő: mikron méretű részecskék kiszűrésére is alkalmas hatékony légszűrő, repülőfedélzeten óránként többször átszűri a teljes kabinlevegő-mennyiséget.

16 Mangili, A., Gendreau, M.A.: Transmission of infectious diseases during commercial air travel. *Lancet*. PMID: 15767002 PMCID: PMC7134995, DOI: 10.1016/S0140-6736(05)71089-8 Free PMC article. <https://www.thelancet.com/action/showFullTableHTML?isHtml=true&tableId=tbl1&pii=S0140-6736%2805%2971089-8>.

biztosítani kell (maszkhasználat, távolságtartás), ami interferálhat például az éjjellátó készülék alkalmazásával (párasodás). Ugyanakkor a haditengerészeti légierő esetében több anyahajó-fedélzeti lokális járvány zajlott le, a relatív zsúfoltság miatt jelentős és gyors átfertőzöttséggel. Az amerikai haditengerészet Theodor Rooseveltt anyahajója 2020. március 9-én hagyta el Vietnám Da-Nang kikötőjét, az első eset március 22-én jelentkezett a Csendes-óceánon hajózó egységben,

március 31-re több mint 100 eset fordult elő, partraszállás és karanténzárlat alatt elhelyezés után a 3000 fős legénység körében május 5-ig összesen 1156 COVID-eset fordult elő – egy halálessettel. A csapásmérő egység több mint két hónap után állt vissza a harcrendbe. Hasonló eset történt a francia haditengerészetnél a Charles de Gaulle anyahajó fedélzetén, a 2020. április 5-i első eset után 13-án már a teljes legénység 64%-a volt PCR-pozitív, jól szemléltetve a járvány gyors dinamikáját.²²

2. Klinikum a repülésélettani stresszorokkal kölcsönhatásban

A vírus evolúciós fejlődése jelenleg is folyik, az újabb és újabb mutációkkal kialakuló variánsok elősegíthetik a vírus túlélő-, fertőző- és szaporodóképességét, a védőoltások ellenére is. A pandémia brit mutáns okozta harmadik hullámnak tetőpontja közelében az összesített halálozás 2–3% volt, de pont a brit variáns már a fiatalabb korcsoportokban, alapbetegség nélkül is okozhatott súlyos, kórházi (azon belül intenzív osztályos) ápolást igénylő lefolyást, akár halált is, és csak a járványügyi szabályok (izoláció/karantén, tömeges tesztelés, távolságtartás, maszkhasználat) példátlanul szigorú betartásával volt a ragályossági index 1 alá mérsékelhető (miközben a „szuperterjesztők” miatt a világjárvány első hullámaiban a ragályossági index magasabb is lehetett, a fertőzések 80%-áért a fertőzöttek 20%-a volt felelős). (3. ábra)

Bár a légi közlekedési ipar a repülésbiztonsági rendszabályok betartatásával példát mutatott a szabálykövetésben, a földi repülőtéri folyamatok térbeli-idő-

beli szeparációja, a fedélzeti helykihasználás csökkentése a gazdaságosság és hatékonyság rovására ment. Az első hullám idején felére-harmadára csökkenő, főleg a személyszállítást sújtó korlátozások, lezárások és karanténintézkedések miatt pilóták és a földi karbantartó állomány tagjainak tízezrei kerültek földi beosztásba vagy váltak munkanélkülivé.

A klinikumban (a járványhullámtól, életkortól és a variánstól függően) más-más tünetek dominálhatnak, de a fejfájás, a gyengeség, a láz, a fokozódó légszomj és fulladás, a szív- és veseműködés zavara mind amellettszólnak, hogy a vírus nemcsak a tüdőben, hanem több más szervrendszer ereiben jelen van, helyi gyulladást (akár önmagát ördögi körben tovább rontó heves immunválaszt, citokinvihart), endothel funkciózavart és thrombogenesisist-embolizációt válthat ki (például fiatalokon lábujjkon megjelenő perifériás trombózissal). Ezek a szervi tünetek a 6–8. napon (vad vírus és variánsai által okozott 1–4. hullám)

22 Queyriaux, B: COVID-19 and the Navies: An unexpected passenger. <https://military-medicine.com/article/4163-covid-19-the-navies-an-unexpected-passenger.html>. Worldwide Military-Medicine. com 8th DIMIMED International Conference on Disaster and Military Medicine. (Virtuális konferencia: 2020. november 16–17. <https://events.military-medicine.com/dimimed/>)

SARS-COV-2 koronavírus-fertőzés halálozás és fertőzőképesség (1. hullám)		
Vírustörzs	Halálozási ráta /100 fertőzött	Fertőzési ráta (R_0) immunizáció és járványügyi megelőző intézkedések nélkül
SARS – COVID 2019	2,18	2,2 (de szuperterjesztők: akár 100 is lehet!)
Szezonális influenza	0,1	1,4
Morbilli/Kanyaró	0,1–10 (fejlett országokban: 0,1–0,2; fejlődő országokban: 10!)	12–18
Ebola	50	1,5–2,5
SARS/MERS Előző koronavírus-járványok	9,6–15	2–5

3. ábra. Légútijárvány-kitörések hatása a légi forgalomra (forrás: ICAO, IATA)

előre kiszámíthatatlanul súlyosbodtak, órák alatt kritikusan alacsony oxigénellátáshoz vezettek a szervezetben, tengerszinti nyomáson is 90% alatti verőeres oxigéntelítettséggel (amit egyébként csak 3000–4000 méteres magasságon tapasztalnánk egészséges alanyokon). A folyamat gyors, dinamikus funkcióvesztéssel jár, a tüdőben vizenyő kialakulásával, vérrögképződéssel, atelectáziával, melyet a tényleges fulladás csak viszonylag későn jelez, illetve a tüdő-CT mint képalakító eljárás a tünetekhez képest sokkal drámaibb, kiterjedtebb gyulladást ír le. Ehhez járul még a vírus direkt jelenlétével a szívizom és szívburok gyulladása, ritmuszavarral, akut infarktussal, akár a bal kamra pumpafunkció-elégtelenségével, melyek keringési oldalról tovább súlyosbítják az elégtelen szervi vér- és oxigénellátást.

COVID-ban a „boldog hypoxia”, azaz alacsony SpO₂ oxigénszaturáció mellett a fulladás késői jelentkezése öngerjesztő módon igen hamar a kisvérköri keringés

teljes kisiklását okozhatja. Ezért szükséges a terápiás lépések (lehetséges gyógyszerelés és lélegeztetési eljárások) időbeni alkalmazása, különben a tüdőperfúzió szabályozásának elvesztése, a csökkenő tüdő-compliance, a megnövekedett holttér, a tüdő súlya miatti atelectasia, a széndioxid-retenció, az intravascularis thrombusok, tüdőödéma és shunt miatt gyors progresszió várható.²³

Az egészségügyi rendszer túlterhelése kapcsán az első járványhullámban a fejlett nyugat-európai országokban a súlyos állapotú betegek megmentéséhez a betegek átcsoportosítására, vonaton vagy légi úton történő elszállítására (egészségügyi kiürítésre vagy repatriálásra) is szükség volt. Légi egészségügyi kiürítés (MEDEVAC) során a repüléselettani stresszorok hatványozottan és kiszámíthatatlanul érintik az instabil cardiopulmonális státuszú beteg állapotát. A többórás repülőút és a kabinmagasságnak megfelelő mérsékelt hypoxia (2300 méteren kb. 620 Hgmm-es össznyomás,

23 Dhont, Sebastian; Derom, Eric; Van Braeckel, Eva; Depuydt, Pieter; Lambrecht, Bart N.: The pathophysiology of 'happy' hypoxemia in COVID-19. Respiratory Research (2020) 21:198. <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01462-5>

92% körüli perifériás véroxigén-szaturáció) hozzáadódása kritikusan súlyosbíthatja a korábban egyensúlyban lévő beteg állapotát. A vírusfertőzés alatti respirációs distressz gyors ütemben leképezi a hegymászók magashegyi betegségét, a kisvérköri keringés sőtölésével, a kisvérköri nyomásfokozódás jeleivel és tüdőödémával. Repülőút alatti hirtelen haláleset is előfordult COVID-pozitív utasnál.²⁴ A distressz jele lehet a képalakító vizsgálat (mellkasröntgen vagy CT) során a tejüvegszerű homály (GGO: Ground Glass Opacity), melyhez a klini-

kai tünetek széles spektruma társul életkortól, genetikai fogékonyságtól, az immunrendszer állapotától és az esetleges társbetegségek jelenlététől függően. Különösen fontos lehet a RAAS²⁵ aktivitási szintje (illetve a hypertonia megfelelő beállítása), az ACE2-enzim receptor szerepe miatt.²⁶ A repülőfedélzeti, intenzív ellátást igénylő esetekben a MEDEVAC-feladatra teljes monitorizálás, invazív beavatkozást lehetővé tévő kapszulaizoláció és az egészségügyi szakszemélyzet védelme (barrier nursing: fertőzésgátló ápolás) mellett kerülhetett sor.

3. Repülőalkalmasság

Az elhúzódó gyógyulás (poszt-COVID szövődmények, elsősorban a tüdőfibrózis vagy gyulladás okozta hegesezés és légzőfelszín-csökkenés, illetve multiplex thrombotizáció több szervrendszerben) és a csökkent aerob terhelhetőség (akár nyugalmi fulladásos panaszok) elhúzódóan alacsony munkavégző képességet okoznak, melyet mentális szövődmények (depresszió és kognitív szellemi teljesítményromlás) kísérnek.²⁷ A repülés világában ez különösen így van: akár tartósan megkérdőjelezhetik a légiszemélyzet hosszú távú repülési alkalmasságát, illetve indokolttá teszik a repülő-egészségügyi

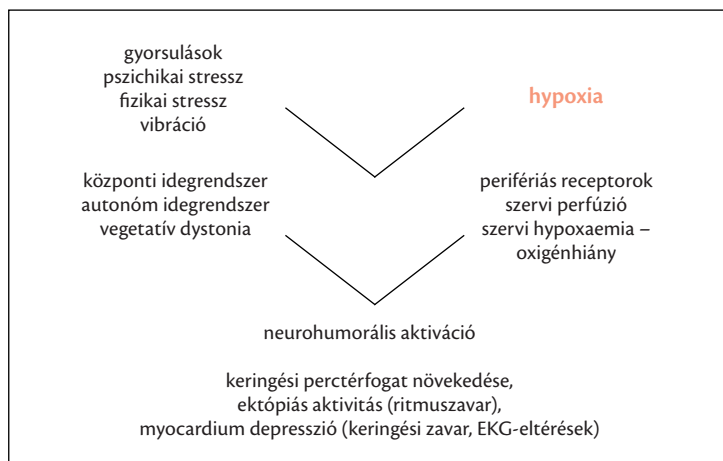
alkalmasság soron kívüli újbóli elbírálását. A kialakuló tüdőfibrózis és légzőfelszín-csökkenés miatt szervezetszintű (akár nyugalmi) hypoxia jön létre, az aerob terhelhetőség romlik a magassági oxigénhiány-tűrőképeség lassú helyreállításával, figyelembe véve a hypoxiaemia általános, keringési-légzési reflexszintű hatásait is. (4. ábra) A hypobárikus hypoxia (még oxigénlégzés mellett is) mind a kisvérkörben, mind a periférián (agysejtszinten) komplex folyamatokat indít el, melyek lerontják a tüdőben a diffúziós kapacitást, a periférián a citrátkör energiatermelő képességét, a respirációs alkalózzal

24 Alonso, Melissa; Murray, Kelly; Silverman, Hollie: United Passenger Died Of COVID-19 And Acute Respiratory Failure, Coroner Says. CNN. Updated 2052 GMT (0452 HKT) 2020. December 22. <https://edition.cnn.com/2020/12/19/us/united-passenger-died-covid-symptoms/index.html>.

25 RAAS: a vérnyomás és az elektrolitszint szabályozásában kulcsfontosságú renin-angiotenzin-aldoszteron rendszer.

26 Nagy V.: A renin-angiotenzin-aldoszteron rendszer gátlása súlyos akut légúti tünetegyüttest okozó koronavírus 2 (SARS-CoV-2) járvány idején. *Cardiologia Hungarica* 2020;50:93-99. DOI: 10.26430/CHUNGARICA. 2020.50.2.93.

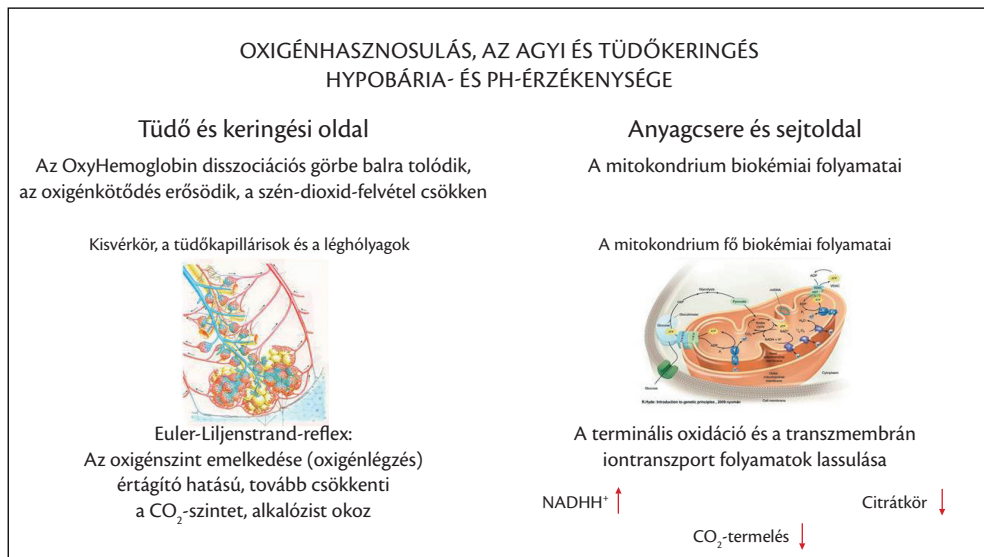
27 Nalbandian, A., Sehgal, K., Gupta, A., et al. Post-acute COVID-19 syndrome. *Nat Med* 27, 601–615 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01283-z> <https://www.nature.com/articles/s41591-021-01283-z#Fig2>.



4. ábra. Oxigénhiány okozta egyensúlyvesztés a vegetatív idegrendszerben (a szerzők saját szerkesztése)

súlyosbítva az agyi hypoperfúziót. (5. ábra) A G-tűrőképeség²⁸ szempontjából is problémát jelenthet: a műrepülés-sel vagy légi harccal járó fej-láb irányú túlterhelések jelentős regionális kompressziót okozhatnak a tüdőszövetben (főleg az alsó harmadban), melyben

atelectasia alakulhat ki. Ezek a tüdőterületek csak jelentős légzési munka (akaratlagos túllihegés vagy köhögési roham) árán vonhatók be ismét a normális légzési gázcserebe, ami alatt nem zárható ki a pilóta jelentős állapotromlása a fokozott ventilációs-perfúziós



5. ábra. Az oxigénhasznosulás romlása a tüdő- és agyi keringésben (a szerzők saját szerkesztése)

mismatch (egyenlőtlenség) és a csökkent oxigénutilizáció miatt.²⁹

A katonai repülésben a NATO AMDWG (Aeromedical Working Group: Repülőorvosi Munkacsoport) proaktív módon, a klinikai irányelvek mentén döntött a lezajlott COVID-fertőzés után a repülés újraengedélyezésére vonatkozóan. Az elhúzó szív- és érrendszeri szövödmények (például myocarditis) elkerülésére – hazai és nemzetközi klinikai iránymutatások³⁰ szerint – a teljes intenzitású terhelés még diagnosztikai célból is kontraindikált volt. Így a legtöbb tagállam mérsékelt terheléssel, közepes pulzusszámmal, például hatperces gyaloglási teszt (6MWT)³¹ során mérte

fel a fizikai teljesítőképességet, rögzítette a perifériás oxigénszaturációt, ennek 3 százalékpontot meghaladó esése ugyanis körjelző lehetett a még beszűkült tüdőfunkcióra.

Mind a katonai, mind a polgári légi közlekedésben a panaszmentesség, jó terhelhetőség és megfelelő légzési funkció alapján ítélték meg a gyógyulást és a munkaképesség szempontjából elvárt regenerációt. A klinikai kép súlyosságának megfelelően alkalmazták (a szív, a máj, a vese és a vérerek esetleges érintettségének igazolására) a laborparamétereket (vérsüllyedés, C-reaktív protein, myocardium-érin- tettségre utaló Troponin-T, vese- és

A COVID-19-fertőzés súlyossági beosztása a kanadai légierő útmutatója alapján A pilóta a tünetek megszűnése után 4 héttel minősíthető újra!			
Súlyosság	Klinikai légúti és légzési tünetek	Szív- és keringési tünetek	Képalkotó vizsgálat értékelése/kezelési alapelvek
enyhe	NINCS vagy csak kifejezett terhelésre	NINCS	Mellkasröntgen normális Önkéntes izoláció otthon
mérsékelt	Minimális terhelésre vagy mindennapi fizikai aktivitás mellett	Pihenésre szűnő mellkasi fájdalom, szapora szívdobogás/ritmuszavar, ájulásérzés (pre-syncope)	A mellkasröntgen vagy CT pozitív (de nincs „tejüveghomály” vagy üregképződési jel), lehetséges az ellátása a sürgősségi osztályon, kiegészítő oxigénterápia (FiO ₂ meghatározásával), vagy gyógyszeres kezelés pneumonia miatt
súlyos	Nyugalomban is jelentkeznek	Állandó vagy romló mellkasi fájdalom, syncope (eszméletvesztés)	Kórházi felvétel, a mellkasröntgenen vagy CT-n súlyos elváltozások

6. ábra. A COVID-19-vírusfertőzés súlyossági beosztása (forrás: kanadai légierő)

29 Justin J. Elliott, David R. Schmitt: USAF Unexplained Physiological Episodes: A Pilot's Perspective. *Air & Space Power Journal*. 2019. ősz 33. évfolyam, 3. szám. 16., 18. o. <https://ufdc.ufl.edu/AA00058216/00074>.

30 POSZT-COVID SZINDRÓMA: A COVID-19 vírusfertőzésen átesett – és visszamaradó károsodásokat szenvedő – betegek gondozási protokollja. 2021. (Az EMMI és az országos szakintézetek útmutatója.); National Institute for Health and Care Excellence (UK): COVID-19 rapid guideline: managing the long-term effects of COVID-19. London: 2020. december 18. PMID: 33555768.

31 6MWT (6 minute walk test): hat perc alatt gyaloglással megtett távolság, 500 méter fölötti elvárt értékkel, minimális-mérsékelt szubjektív panaszokkal, Borg-skála szerint a megerőltetési szintet pontozva.

májfunkció), esetleg a légzési gáz-diffúziós kapacitás (DLCO)³² meghatározását. A képalkotó eljárások (mellkasröntgen vagy -CT, szívultrahang) leleteinek ismeretében tervezték az

aerob terhelhetőséget felmérő műszeres vizsgálatot. A fizikai terhelhetőség visszaállítása után általában négy hét múlva volt lehetséges a pilóta újraminősítése.³³ (6. ábra)

4. Megelőzés

Míg a katonai légierők szigorú izolációs („buborék”) és tesztelési rendszerben, a váltások elkülönítésével megőrizték harcképességüket, addig az elhúzódo lezárások, a mozgási korlátozottság az egész polgári légi közlekedést és repülőipart súlyosan érintették. A nemzeti és nemzetközi légügyi hatóságok (például EASA)³⁴ a szükséges elméleti-gyakorlati kiképzések terén online oktatást vezettek be, meghosszabbították az egyes szakszolgáltatítótípus-engedélyek érvényességi idejét, sőt az egészségügyi alkalmasság érvényességi idejét is 3–6 hónappal (amennyiben csak szemüveg miatti korlátozás állt fenn, vagy nem volt egyéb időbeli és műveleti korlátozásra vonatkozó bejegyzés [például, hogy az adott személy csak biztonsági vagy másodpilótával repülhet]).

A vakcinák megjelenésével természetesen minden légierő, illetve a nem-

zetközi polgári repülési szervezetek a harcképesség és a működőképesség biztosítása érdekében aktív, mielőbbi oltakozás mellett foglaltak állást a légi közlekedési szakszemélyzet esetében, megfelelő poszt-vakcinációs várakozási idővel az esetleges mellékhatások minimalizálására.³⁵ 2020. december 27-től az Európai Unión belül (a WHO ajánlásainak megfelelően) a közlekedési dolgozók (vagyis a légi közlekedési szakszemélyzetek is) a 3. prioritási csoportba kerültek (további járulékos klinikai kockázati tényező hiányában), de sok nemzet (a gazdasági szempontokat is mérlegelve) az 1. vagy 2. fontossági csoportba sorolta őket (például speciális légimentő-szolgálatok). Az oltások után minimum 48 órás (egypilótás üzemmódban 72 órás) földi szolgálatot írtak elő az esetleges oltási mellékhatások biztonságos lecsengése miatt.

5. Repülésbiztonság

A világjárvány kezdetekor az EASA már 2020 januárjában létrehozta a SIB (Safety Information Bulletin) repülésbiztonsági kiadványok rendszerét, amely a légi köz-

lekedés és a repülőipar különböző szegmenseiben szinte havi rendszerességgel frissítette és rendszerezte a rendelkezésre álló információkat, és ajánlásokat

32 DLCO (Diffusion Capacity of the Lungs for CO): a szén-monoxid diffúziós kapacitásának mérésén alapuló légzésfunkciós vizsgálat.

33 NATO Repülőorvosi Munkacsoport Fórum (publikus): A kanadai légierő klinikai útmutatója post-COVID betegek minősítésére. (Az nso.nato.int védett honlapról letöltve.)

34 EASA: European Aviation Safety Agency: az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége, hatósági és törvényszintű (Regulation) jogszabályalkotási jogkörrel

35 Safety Information Bulletin Operations SIB No.: 2021-06, Issued: 25 March 2021 Subject: Vaccination of aircrew – Operational Recommendations.

dolgozott ki az eljárásrendekre vonatkozóan. Így az első közegészségügyi protokoll már 2020 márciusában megjelent (Guidance On A/C Cleaning & Disinfection), míg a repülőorvosi humanprotokollt 2020 májusában és júniusában adták ki (EASA-ECDC Aviation Health Safety Protocol, illetve Review of Aviation Safety Issues Arising from the COVID-19 Pandemic), melyeket augusztusban a távoktatás reformja követett (Guidance for allowing virtual classroom instruction and distance learning). Az Európai Repülőorvosi Társaság (ESAM³⁶) online konferenciája az első és második hullám után már felhívta a figyelmet a tünetek kiszámíthatatlan romlására, illetve perzisztálására, különösen a mentális tünetek vonatkozásában, ugyanakkor hangsúlyozva a repülésbiztonsági kockázatok széles körét a szervi érintettség tekintetében.³⁷ Bár az EASA nem adott ki egységes követelményrendszert a repülőalkalmasság újbóli elbírálására vonatkozóan, a polgári repülésben széles körben elismerték az Oliver Manen professzor, ezredes (Percy–Párizs AeMC Katonai és Polgári Repülőorvosi Központ, Katonaorvosi Akadémia) által kidolgozott francia algoritmust.³⁸ Ő már akkor felhívta a figyelmet arra, hogy

ennél a koronavírus-fertőzésnél is nagy arányban (három hónap után 50%-nál, egy év után 25%-nál) várható a terhelhetőség csökkenése – a SARS-járvány után észlelthez hasonlóan.³⁹ Kiemelte a perzisztáló szubjektív tünetek (fulladás, fáradékonyság) esetén akár a korai (gyógyulás után három hónappal végzett) SpO₂ perifériás oxigénszaturáció-mérés melletti aerob terhelést, légzésfunkció-vizsgálatot és akár mellkasi CT elvégzését, illetve a tüdőembólia és a szívizom-érintettség kizárását. A panaszzmentesség függvényében – szükség esetén átmeneti időkorláttal (TML: time limitation) –, IDAN (ideiglenesen alkalmatlan) minősítés után állítható vissza a repülési alkalmasság. (7. ábra)

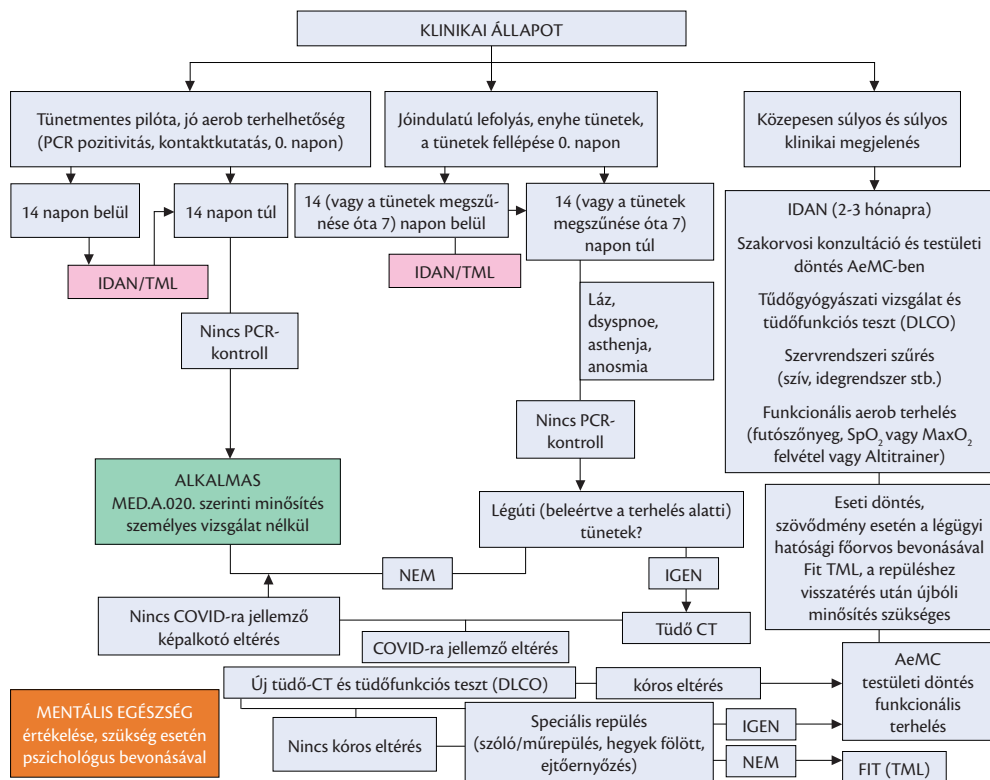
Saját, COVID-fertőzésen átesett és gyógyult légi közlekedési szakszemélyzeti tagoknál (több mint 50 fő, ebből 21 fő oltás nélkül esett át „vad” vírus okozta fertőzésen) barokamrában, 5500 méteres, 15 perces hypoxiavizsgálat során szintén észleltük még a periférián (ujjbegyen mérve) is a súlyosabb mértékű, de még tolerálható oxigénhiányt. Az érintett egyének közül (egy fő kivételével) mindenki könnyű esetnek minősült, vagyis kórházi sürgősségi felvételt, esetleg intenzíven oxigénlégzést vagy gépi lélegeztetést nem igényelt, és a

36 ESAM: European Society of Aerospace Medicine.

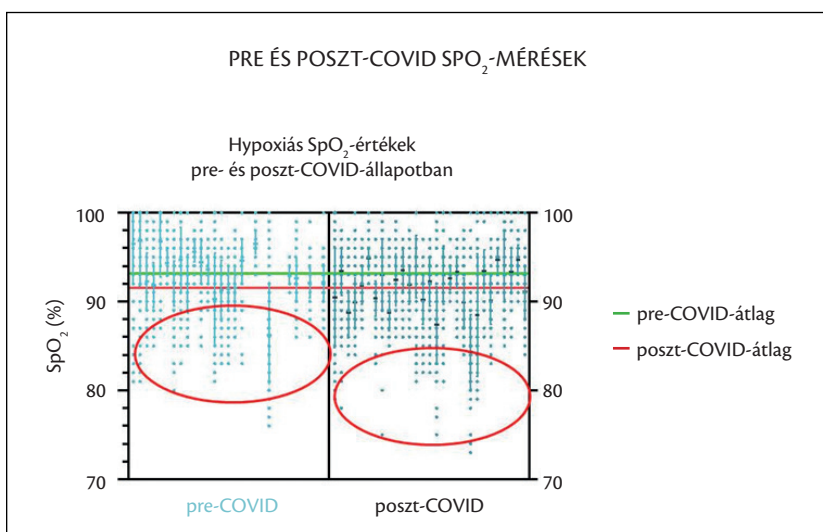
37 Simmons, R: EPPSI (2019). Pilot peer support programmes: The EPPSI guide. 1. évfolyam: Design and implementation. v.8.1 november. <http://bit.ly/32Gyq0H>; Európai Repülőorvosi Társaság online webinárium, 2020. október 15. <https://esam-academy.aero/esam-academy-education/webinars/esam-academy-online-webinars-2020-2021>.

38 Manen. O.; Guiu, G.; Brescon, C.; Monin, J.; Hornez, Ap.; Oliviez, J.F; Bisconte, S.; Perrier, E.: Medical Consequences for Pilots/Cabin Crew Who Suffered from COVID-19 and Considerations of the Long Term Effects on Health and Fitness to Fly: The French Experience And Proposed Algorithm to Assist the AME. www.esam.aero. (A letöltés dátuma: 2021. január 30.)

39 Hui, D.S.; Wong, K.T.; Ko, F.; Tam, L.S.; Chan, D.P.; Woo, J; Sung, J.J.Y.: The 1-Year Impact of Severe Acute Respiratory Syndrome on Pulmonary Function, Exercise Capacity, and Quality of Life in a Cohort of Survivors. *Chest*. 2005. október; 128(4):2247–61. doi: 10.1378/chest.128.4.2247. PMID: 16236881, PMCID: PMC7094276.



7. ábra. COVID-19-vírusfertőzés utáni repülőorvosi alkalmasság minősítése (francia döntéshozatali algoritmus) (forrás: francia repülőorvosi intézet, Percy)



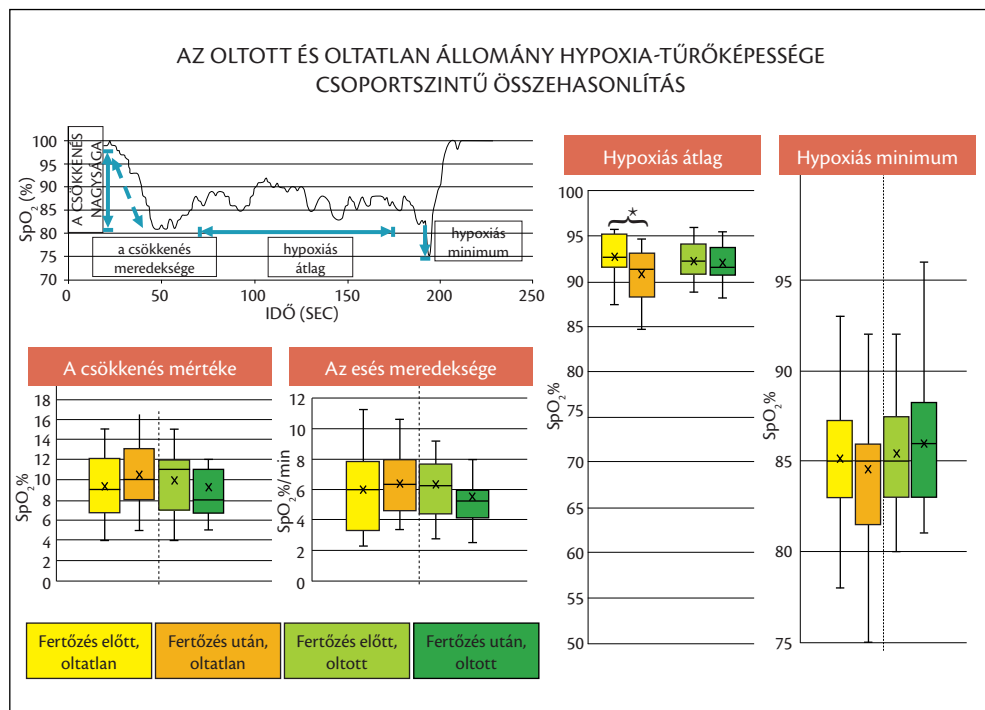
8. ábra. Perifériás oxigénszint (SpO₂-szaturáció) barokamrában COVID-19-vírusfertőzés előtt és után (a szerzők saját szerkesztése)

vizsgálatra az MH által előírt egy hónapos regenerációs periódus után, soron kívüli ROB-repülőalkalmassági vizsgálat keretében került sor. Tapasztalatunk szerint a vizsgálati alanyok a klinikailag enyhébb lefolyás mellett is a barokamrában, 5500 méteres magasságon sokszor csak maximális légzési munka mellett tudták fenntartani az elfogadható periferiás oxigénszaturációt. (8. ábra)

A két csoport (oltatlan és oltott) fertőzés előtti és utáni barokamrai eredményeit összehasonlítva látható, hogy a hypoxiás átlag (15 perc alatti átlagos hypoxiaterhelés) csak az oltatlan csoportban csökkent szignifikánsan. A többi vizsgált paraméter esetén nem történt szignifikáns változás a fertőzés előtti és utáni értékeket tekintve, illetve a két csoport között sem találtunk szignifikáns változást se a fertőzés előtt-

ti, se a fertőzés utáni értékek összehasonlítása során. Tendenciaként viszont látható, hogy az oltott csoport esetében mind a hypoxiás minimumérték, mind a kezdeti esés paraméterei inkább javulást mutattak. Itt valószínűleg az áll a háttérben, hogy nem alakult ki olyan endothel diszfunkció, ami rontaná az Euler–Liljestrand-reflex hatékonyságát, nem alakult ki a tágabb erek miatt ventilációs-perfúziós mismatch (egyenlőtlenség), továbbá a soron kívüli vizsgálat során a pilóták nagyobb figyelmet fordítottak a megfelelő légzéskontrollra már a korai szakaszban is, ezzel jobb teljesítményt érve el. (9. ábra)

Mérési eredményeink alapján így hypoxiás repülési környezetben is megerősítjük az oltás kedvező hatását a speciális munkavégző és harcképességre, illetve felhívjuk a figyelmet arra, hogy az agyi



9. ábra. Az oltott és oltatlan állomány COVID-19-fertőzés előtti és utáni hypoxia-tűrőképessége barokamrában (a szerzők saját szerkesztése)

Módosított BRUCE-protokoll futószőnyegen 2 perces lépcsők, N: 32 fő (búvár- és ejtőernyős-állomány)			
STAGE	Speed (km/h)	Grade (%)	MET (kb.)
supine	0,0	0,0	1,0
0	2,7	0,0	2,1
1/2	2,7	5,0	3,3
1	2,7	10,0	4,5
2	4,0	12,0	6,9
3	5,3–5,5	14,0	10,1
4	6,6–6,8	16,0	11,1–13,4
5	8,0	18,0	16,9
Peak	5,3–7,9	14,0–18,0	9,2–17,1
PEAK MET: 9,2 (akár 16–18 MET-értékig) repolarizációs zavar nem észlelhető, elvértve enyhe kamrai extrasystolia, oxigénszaturáció 97–98%			

10. ábra. Terheléses kapacitás módosított BRUCE-protokoll szerint COVID-19-fertőzésen átesett ejtőernyős- és búvárállományon (a szerzők saját szerkesztése)

oxigénellátás még inkább ki van téve az endothel funkciózavar okozta ingadozásnak alacsonyabb perifériás oxigéntelítettség mellett. Ennek további vizsgálata, az agyi oxigenizációra gyakorolt direkt hatásának elemzése folyamatban van, de a szakirodalom az agyban bekövetkező érbelhártya-funkció változását – például a COVID-fertőzéshez társuló agyvérzés (stroke) kialakulásában is – alapvetőnek tartja.⁴⁰ A vizsgált állománynál a kiegészítő pszichológiai vizsgálat (pszichometrián műszeres teljesítménymérés) során sem volt kognitív romlás, a kiegészítő egyéb markerek (Troponin T, D-dimer) nem voltak körjelzők hosszú távú szövődmények (thrombogenesis, myocarditis) szempontjából.

Az egyéb, speciális katonaialkalmasság-vizsgálatra kötelezett búvár- és ejtőernyős-állománynál a módosított BRUCE-

protokoll szerinti terheléses EKG-n, lassúbb ütemben fokozódó terhelési lépcsőkkel vizsgáltuk az aerob teljesítőképességet futószőnyegen. A gyógyulás után 30 nappal itt is már teljes funkciót észleltünk. (10. ábra)

A magyar légierőben egy pilóta szorult kórházi kezelésre a világjárvány korai szakaszában, egy oltással. A 42 éves Airbus-pilótát 2021. április 1-jén vették fel a Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Honvédkórház COVID-belgyógyászati osztályára, hat napja tartó láz, gyakori száraz köhögés, 2021. március 29-én észlelt COVID-teszt pozitivitás, 2021. március 30-án elkezdett favipiravir-kúra után. Felvételekor mindkét tüdő fölött krepitációt tapasztaltak, az oxigénszaturáció 98% volt (5 l/min sebességgel adagolt oxigén orrszondán át) tiszta tudat mellett. A CT-n

⁴⁰ Sashindranath, M.; Harshal H. N.: Endothelial Dysfunction in the Brain Setting the Stage for Stroke and Other Cerebrovascular Complications of COVID-19. 2020. május. Stroke. 2021;52:00–00. doi: 10.1161/strokeaha.120.032711. www.ahajournals.org/journal/str.

COVID-pneumoniára jellemző GGO (tejüveghomály), az alsó lebenyek területén kisebb consolidatumok, 12/25 súlyossági indexű pneumonitis volt észlelhető. A tüdőparenchyma-érintettség a jobb felső lebenyben kb. 10%, a középsőben kb. 10% és az alsóban kb. 50–55% volt. A bal felső lebenyben kb. 15%, az alsó lebenyben kb. 30%, valamint mindkét oldalon 9–10 szegment területén kisebb consolidatumok voltak láthatók. Az intézeti terápia fontosabb elemei a szteroid per os adása, az LMWH heparinoid, a remdesivir, a magas áramlású oxigéntámogatás és a légzéstorna voltak. Április 9-én hazabocsátották, ekkor a SARS-CoV-2-teszt már negatív volt, ott-honi terápiaként egy hónapig a következőkben részesült: D-vitamin (3000 NE), C-vitamin (2×500 mg), Quamatel (reggel 20 mg), Enterol (2×250 mg), Clexane (este 0,8 ml). Elhúzódó fáradékonyság miatt 2021. április 27-ig alapellátáson, majd május 13-ig a ROB (Repülőorvosi Bizottság) által meghosszabbított egészségügyi szabadságon volt. 2021. május 17–20. között az Országos Korányi Pulmonológiai és Gottsegen György Kardiológiai Intézetben ambuláns ellenőrző vizsgálatok történtek: a szívultrahang negatív eredménnyel zárult, a mellkasröntgen még residuális kötegezettséget írt le mindkét oldalon, aktív góccárnyék már nem volt, a fehérvérsejt 5 G/l, a FEV1 94% volt. A terhelhetőség fokozatosan javult, 2021. május 25–26-án a soron kívüli ROB-vizsgálat és a civil

EASA Class 1 közforgalmi pilóta megújító repülőalkalmassági vizsgálat sikeresen megtörtént: módosított BRUCE-protokoll alapján a futószőnyegen 9,7 MET-értéket⁴¹ ért el, a maximális pulzusszám 154 bpm volt, kóros eltérés nem jelentkezett. Barokamrai vizsgálat során (5500 m, fél atmoszféra össznyomás, 80 Hgmm-es oxigén parciális nyomás) 15 perc expozíciós idő alatt normális hypoxiás reakciót mutatott (az oxigénszaturáció minimuma a hetedik percben 86% volt),⁴² alkalmas minősítést kapott.

A járványhelyzet javulásával a járványügyi korlátozásokat fokozatosan visszavonták, 2023. május 3-án a WHO, az ENSZ Egészségügyi Világszervezete a globális egészségügyi vészhelyzetet visszavonta („még gyilkol és még változik” megjegyzéssel) – 765 222 932 megbetegedést (kumulatív incidencia) és 6 921 614 halálesetet összesítve.⁴³ A személyes jelenléttel történő kiképzés és oktatás visszaállásával a nemzetközi légi közlekedés újraindult. A repülésitapasztalat- és repülésirutin-vesztés okozta kiesés, vészhelyzetben az elvesztett begyakorlottság, a gyors reakciókészség hiánya sajnos nem zárja ki a repülésbiztonsági kockázatok átmeneti emelkedését. Ehhez járul még a vírusfertőzés okozta központi idegrendszeri gyulladásos folyamatok direkt neuropathiás hatásaként és a tartós/átmeneti munkanélküliség (földi létlenség és motivációvesztés) indirekt hatásaként kialakuló depresszió,

41 MET (metabolikus ekvivalens): a nyugalmi, vagyis 3,5 ml/ttkg/perc oxigénfogyasztáshoz viszonyított számérték, az aerob terhelhetőség mérőszáma.

42 A betegség előtt (2021 januárjában) a kilencedik percben 89% volt. 2023 áprilisában még a 7600 méteres vizsgálat harmadik percében is 84% volt (az oxigén parciális nyomása a barokamrai légköri levegőben a 7600 méteres vizsgálaton az 5500 métereshez képest 80 Hgmm helyett már csak 53 Hgmm volt, azaz nincs szignifikáns különbség).

43 Tedros Abhanom Gebreyesus WHO-főtitkár Twitter/X-bejegyzése. <https://news.un.org/en/story/2023/05/1136367>.

valamint a csökkent koncentráció-képesség kockázata.⁴⁴ A fáradékony-ság, illetve a koncentráció és a figyelmi funkció elhúzódó csökkenése repülési-repülésirányítói környezetben továbbra is folyamatos követést és elem-

zést igényel, amit az MH állományánál új típusú bioszenzorok kutatási célú bevonásával tervezünk (HRV: szív-frekvencia-variabilitás, EEG: az agyi elektromos aktivitás hullámmorfológiája, szinkronizációs tendenciája).⁴⁵

ÖSSZEFOGLALÁS

Az aktuális világjárványra legérzékenyebben a repülés, a repülőipar és a légi közlekedés reagált, mivel a vírus mind a katonai, mind a polgári repülésben súlyos és közvetlen fertőzési lehetőséget, a betegség direkt transzmisszióját és a repülésélettani kockázatokkal – mindenekelőtt a magassági oxigénhiánnyal – való direkt kombinációja révén a klinikai tünetek gyors progresszióját okozza. Sőt, a már gyógyultnak minősített esetek jelentős részében (egyes felmérések szerint akár 30%-ában) is akár hónapokig fennállhatnak a „ködös agy” és a fulladás-fáradékony-ság tünetei a poszt-COVID tünetegyüttesben, fokozhatják a magassági hypoxia önmagában is veszélyes hatását, csökkentve a pilóta munkavégző képességét, fizikai és mentális teljesítőképességét. A hypoxia által önmagában (sui generis) kiváltott kedvezőtlen kisvérköri változások a COVID-19-fertőzés okozta komplex keringésromlással és atelectáziával párosulva felgyorsítják és akár kivédhetlenné teszik a magasságfüggő hypoxia hatását.

A NATO Repülőorvosi Munkacsoport első számú repülésélettani problé-

mája a korszerű katonai vadászgépeken már négy alkalommal bekövetkezett hypoxiás halálesetek és a több mint 600 esetben előfordult – a bevetés megszakítását indokoló – repülési incidensek (mint például az UPE [Unexplained Physiological Events]: megmagyarázatlan élettani események) retrospektív elemzése. A magasságélettani kutatások legfrissebb eredményei a hypoxia megelőzésének és kezelésének revízióját indokolják – a repülésbiztonság elveit szem előtt tartva. A Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Kecskeméti Repülőorvosi Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézetében, a barokamrában végrehajtott VR-szemüveggel (virtual reality: virtuális valóság) szimulált repülések során NIRS-technikával (közel infravörös tartományban) végzett transzcraniális agyioximetria-mérések kapcsán azt találtuk, hogy hypobáriás hypoxiában a kellő mértékű parciális nyomással használt oxigénlélegeztetéssel sem lehet feltétlenül biztosítani a hypobáriás expozíció előtti, a tengerszinti levegő belégzésével elért, normális agyi oxigénszintet. A megváltozott sav-bázis egyensúly miatt az agyi

44 White, C.; Yetman, D.: What To Know About COVID-19 and Brain Fog? 2021. március 17. Healthline. <https://www.healthline.com/health/covid-brain-fog#causes>.

45 Guth-Orji Á.: A COVID19-fertőzés repülésbiztonsági aspektusai. A bioszenzorok alkalmazásának lehetőségei a fáradtságmérésben. *Haditechnika* LVII. évfolyam (3) 2023. 2–3. szám. (I–II. rész, 24–28. és 21–26. oldalak). <https://real.mtak.hu/176241>. DOI: 10.23713/HT.57.2.05.

oxigenizáció még akár a földre történő visszatérés után 10–20 perccel sem tér vissza a behatás előtti szintjére (mikor közben az ujjbegyen mért szaturáció már teljes, 100%-os értéket mutat). Az agyi oxigéndeficit komoly idegrendszeri funkcionális kiesést jelenthet, ami a hypoxia-másnaposság (hangover post-hatás) részjelensége lehet.⁴⁶ Emiatt szükség van a repülésbiztonsági kockázatot jelentő hypoxia-tűrőképesség minősítésére barokamrában, sőt, távlati célként a NIRS-EKG-HRV (agyi véráramlás és szívfrekvencia-variabilitás) mint szenzoros monitorizálás és kiértékelési képesség fedélzeti alkalmazása (orvosi fekete doboz) is felmerül a harcképesség nyomon követésére.⁴⁷

Az aktuális, masszív légúti szövőd-mények lehetőségével járó COVID-vírusfertőzés kapcsán a hypoxia-tűrőképesség monitorizálása mint releváns funkcionális diagnosztikai vizsgálat végrehajtása szakmailag indokolt és informatív, azonban más, dominánsan légúti gyulladásos jelekkel járó járványos betegségben is hasonló repülőorvosi minősítési és járványügyi eljárásrend indokolt. A soron kívüli, célzott ROB-protokoll és a közegészségügyi rendszabályok szigorított rendszere (a kórokozó antigén gyors diagnosztikája és PCR-tesztelése, elkülönített váltások, home office) más – sajnos várható – világjárványnál hazai érintettség esetén modellként és az aktuális kontingencia-terv részeként alkalmazható.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetünket fejezzük ki Fischer Gábor főmérnök úrnak (Anamed Kft.) a Mindray orvosbiológiai őrzőpult baro-

kamrai telepítéséért és a NIRS-, kapnograph- és EEG-modul alkalmazási lehetőségéért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

20/2021. (X. 06.) HM-rendelet „Az állami célú légiközlekedési személyzet repülőegészségi alkalmasságának feltételeiről, valamint a repülőegészségi alkalmassági vizsgálatot végző szerv kijelölésének és tevékenységének szabályairól”, 7. § d) pont.

Alonso, Melissa; Murray, Kelly; Silverman, Holli: United Passenger Died Of COVID-19 And Acute Respiratory Failure, Coroner

Says. CNN. Updated 2052 GMT (0452 HKT) 2020. December 22. <https://edition.cnn.com/2020/12/19/us/united-passenger-died-covid-symptoms/index.html>.

Barnes, O.: Coronavirus: Vietnam Coma Pilot Warns People „Not To Be Blasé. *BBC News*. Közzétéve: 2020. július 27. <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-53544345>.

46 Szabó S. A.; Tótká Zs.; Domján K.; Dunai P.; Vada G.: Az oxigéndeficit repülésbiztonsági jelentősége és lehetséges magyarázata agyi pulzoximetria NIRS eredményei alapján, szimulált repülési stresszhelyzetben. Repüléstudományi Tanulmányok 2021. In: *Repüléstudományi Szemelvények 2020.* (szerkesztette: Szilvássy László, Békési Bertold), 11–42. o. NKE Ludovika ISBN 978-963-531-631-1.

47 Szabó S. A.: Orvosbiológiai monitorizálás jelene és jövője a katonai repülésben (különös tekintettel a stressz okozta szívfrekvencia variabilitás és agyi véráramlás variancia jellemzésére). *Repüléstudományi Közlemények* 30. (2018), 2. 145–162. o.

- Bourouiba, L.: Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions: Potential Implications for Reducing Transmission of COVID-19. *JAMA*. Published Online. 2020. március 26. Doi: 10.1001/JAMA.2020.4756 Video: Respiratory Pathogen Emission Dynamics. <https://edhub.jama-assn.org/jn-learning/video-player/18357411>.
- Dhont, Sebastian; Derom, Eric; Van Braeckel, Eva; Depuydt, Pieter; Lambrecht, Bart N.: The pathophysiology of 'happy' hypoxemia in COVID-19. *Respiratory Research* (2020) 21:198. <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01462-5>.
- EASA Handbook for CAAs on the Management of Aviation Safety Risks Related to COVID-19 (Doc 10144). <https://www.icao.int/safety/safetymanagement/pages/covid-19-safety-risk-management.aspx>.
- EASA Repülésbiztonsági Kiadvány: Safety Information Bulletin Operations SIB No.: 2021-06, Kiadva: 2021. március 25. Subject: Vaccination of aircrew – Operational Recommendations. <https://ad.easa.europa.eu/sib-docs/page-1>.
- Európai Repülőorvosi Társaság online webinárium, 2020. október 15. <https://esam-academy.aero/esam-academy-education/webinars/esam-academy-online-webinars-2020-2021>.
- Guth-Orji Á.: A COVID19-fertőzés repülésbiztonsági aspektusai. A bioszenzorok alkalmazásának lehetőségei a fáradtságmérésben. *Haditechnika* LVII. évfolyam (3) 2023. 2–3. szám. (I–II. rész, 24–28. és 21–26. oldalak). <https://real.mtak.hu/176241>. DOI: 10.23713/HT.57.2.05.
- Guth-Orji Á.: A poszt-COVID szindróma repülésbiztonsági jelentősége. *Honvéddorvos*, 73 (1–2). 5–19. o. ISSN 0133-879x. (2021). <https://doi.org/10.29068/HO.2021.1-2.5-19>.
- Hui, D.S.; Wong, K.T.; Ko, F.; Tam, L.S.; Chan, D.P.; Woo, J.; Sung, J.J.Y.: The 1-Year Impact of Severe Acute Respiratory Syndrome on Pulmonary Function, Exercise Capacity, and Quality Of Life in a Cohort of Survivors. *Chest*. 2005. október; 128(4):2247–61. doi: 10.1378/chest.128.4.2247. PMID: 16236881, PMCID: PMC7094276.
- IATA REPORT – International Air Transport Association (Nemzetközi Légiszállítási Szövetség) updated impact assessment 2020. március 24. <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/ecomomic-report/third-impact-assessment>.
- ICAO-jelentés: Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis, Montréal, Canada. 2023. január 27. Economic Development –Air Transport Bureau. <https://www.icao.int/sustainability/pages/economic-impacts-of-covid-19.aspx>.
- Justin J. Elliott, David R. Schmitt: USAF Unexplained Physiological Episodes: A Pilot's Perspective. *Air & Space Power Journal*. 2019. ősz 33. évfolyam, 3. szám. 16., 18. o. <https://ufdc.ufl.edu/AA00058216/00074>.
- Kaitano, Dube, Godwell Nhamo, David Chikodzi: COVID-19 Pandemic and Prospects for Recovery of the Global Aviation Industry. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102022>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699721000053>.
- Nagy V.: A renin-angiotenzin-aldoszteron rendszer gátlása súlyos akut légúti tünetegyüttest okozó koronavírus 2 (SARS-CoV-2) járvány idején. *Cardiologia Hungarica* 2020;50:93–99. DOI: 10.26430/CHUNGARICA. 2020.50.2.93.
- Manen. O.; Guiu, G.; Brescon, C.; Monin, J.; Hornez, Ap.; Oliviez, J.F; Bisconte, S.; Perrier, E.: Medical Consequences for Pilots/ Cabin Crew Who Suffered from COVID-19 and Considerations of the Long Term Effects on Health and Fitness to Fly: The French Experience and Proposed Algorithm to Assist the AME. www.esam.aero. (A letöltés dátuma: 2021. január 30.)
- Mangili, A., Gendreau, M.A.: Transmission of infectious diseases during commercial air travel. *Lancet*. PMID: 15767002 PMCID: PMC7134995, DOI: 10.1016/S0140-6736(05)71089-8 Free PMC article. <https://www.thelancet.com/action/showFullTableHTML?isHtml=true&tableId=tbl1&pii=S0140-6736%2805%2971089-8>.

- Nalbandian, A., Sehgal, K., Gupta, A. et al. Post-acute COVID-19 syndrome. *Nat Med* 27, 601–615 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01283-z><https://www.nature.com/articles/s41591-021-01283-z#Fig2>.
- National Institute for Health and Care Excellence (UK): COVID-19 rapid guideline: managing the long-term effects of COVID-19. London: 2020. december 18. PMID: 33555768.
- NATO Repülőorvosi Munkacsoport Fórum (publikus): A kanadai légierő klinikai útmutatója post COVID betegek minősítésére. (Az nso.nato.int védett honlapról letöltve.)
- Queyriaux, B: COVID-19 and the Navies: An unexpected passenger. <https://military-medicine.com/article/4163-covid-19-the-navies-an-unexpected-passenger.html>. World-wide Military-Medicine.com 8th DIMIMED International Conference on Disaster and Military Medicine. (Virtuális konferencia: 2020. november 16–17. <https://events.military-medicine.com/dimimed/>)
- Pentagon study. <https://thehill.com/policy/defense/521303-pentagon-study-low-risk-of-contracting-covid-19-on-planes-with-passengers> (a letöltés dátuma: 2022. február 24.).
- POSZT-COVID SZINDRÓMA: A COVID-19 vírusfertőzésen átesett – és visszamaradó károsodásokat szenvedő – betegek gondozási protokollja. 2021. (Az EMMI és az országos szakintézetek útmutatója.)
- Sashindranath, M.; Harshal H. N.: Endothelial Dysfunction in the Brain Setting the Stage for Stroke and Other Cerebrovascular Complications of COVID-19. 2020. május. *Stroke*. 2021;52:00–00. doi: 10.1161/strokeaha.120.032711. www.ahajournals.org/journal/str.
- Simmons, R: EPPSI (2019). Pilot peer support programmes: The EPPSI guide. 1. évfolyam: Design and implementation. v.8.1 November. <http://bit.ly/32Gyq0H>.
- Szabó S. A.: Orvosbiológiai monitorizálás jelene és jövője a katonai repülésben (különös tekintettel a stressz okozta szívfrekvencia variabilitás és agyi vérátáramlás variancia jellemzésére). *Repüléstudományi Közlemények* 30. (2018), 2. 145–162. o.
- Szabó S. A.; Tótka Zs.; Domján K.; Dunai P.; Vada G.: Az oxigéndeficit repülésbiztonsági jelentősége és lehetséges magyarázata agyi pulzoximetria NIRS eredményei alapján, szimulált repülési stresszhelyzetben. *Repüléstudományi Tanulmányok 2021. In: Repüléstudományi Szemelvények 2020. (szerkesztette: Szilvássy László, Békési Bertold), 11–42. o. NKE Ludovika ISBN 978-963-531-631-1.*
- Tedros Abhanom Gebreyesus WHO-főtitkár Twitter/X-bejegyzése. <https://news.un.org/en/story/2023/05/1136367>.
- White, C.; Yetman, D.: What To Know About COVID-19 and Brain Fog? 2021. március 17. Healthline. <https://www.healthline.com/health/covid-brain-fog#causes>.

COVID-19 PANDEMIC AND AVIATION: AEROMEDICAL PHYSIOLOGICAL, CLINICAL AND EPIDEMIOLOGICAL EXPERIENCES AND CONSEQUENCES FROM CIVIL AND MILITARY FLIGHTS

AUTHORS

Col. habil. Sándor András Szabó, MD-PhD HDF Medical Centre
József Nagy-Bozsoky, M.D. Semmelweis University
Lt. Col. Zsolt Tótka, M.D. HDF Medical Centre
Lt. Col. Norbert Kuti, M.D. HDF Medical Centre
Lt. Col. Agnes Guth-Orji, M.D. HDF Medical Centre

KEYWORDS SARS-CoV-2 in aviation, COVID-19-related hypobaric hypoxia, cerebral and peripheral pulse oximetry, risk of sudden incapacitation in viral infection, “long COVID”

ABSTRACT *The COVID-19 pandemic is not only a global problem in preventive medicine and epidemiology but also has a deep impact on whole industrial branches and occupational sectors. It is extremely true of aviation as an industry and licensed aircrew as especially vulnerable employees exposed to aeromedical stressors. The full analysis of the COVID-19 pandemic from diagnostic, therapeutical and epidemiological aspects is not targeted, we only analyse the consequences in the field of aeromedical evaluation of the aircrew in both civilian and military flights. Special consideration is given to the hypoxic tolerance in a post-COVID state, accompanied by cognitive and mental performance decrement, demonstrated by adverse pulse oximetry data in barochamber.*