

# **Doktori (PhD) értekezés**

Dr. Guth-Orji Ágnes Judit o. alezredes

2026

NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM  
HADTUDOMÁNYI ÉS  
HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR  
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA

Dr. Guth-Orji Ágnes Judit o. alezredes

**A poszt-covid szindróma repülésbiztonsági  
jelentősége és a fáradtság objektív  
mérésének lehetőségei bioszenzorokkal**

Doktori (PhD) értekezés

Tudományos témavezető:

.....

Dr. habil Szabó Sándor András o. ezredes PhD,  
egyetemi docens

Budapest, 2026.

# Tartalomjegyzék

<b>BEVEZETÉS.....</b>	<b>5</b>
<b>A tudományos probléma megfogalmazása és aktualitása .....</b>	<b>5</b>
<b>Kutatási hipotézisek .....</b>	<b>8</b>
<b>Kutatási célok .....</b>	<b>9</b>
<b>Kutatási módszerek.....</b>	<b>10</b>
<b>A releváns szakirodalom áttekintése.....</b>	<b>11</b>
1. A poszt-covid szindróma emberi teljesítőképességet befolyásoló tünetei és azok prevalenciája .....	18
2. A fáradtság repülésbiztonsági jelentősége és a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági aspektusai.....	31
2.1. A humán faktor hibák szerepe a repülésbiztonságban .....	31
2.1.1. Humán faktor hibák repülésbiztonsági modelljei.....	34
2.2. A fáradtság szerepe a humán faktor hibák kialakulásában .....	39
2.2.1. A Fáradtság Kockázatkezelési Rendszer (FRMS).....	42
2.2.2. A repülésre való orvosi alkalmasság elbírálásnak nemzetközi rendszerei .45	
2.2.2.1. A polgári és a katonai repülőorvosi követelmények eltérései, a katonai hajózó állomány kedvezőbb egészségi állapota .....	48
2.2.2.2. Az életkor kitolódása a repülésben .....	50
2.3. A poszt-covid szindróma során kialakuló fáradtság és jellemző tünetek repülésbiztonsági jelentősége és kockázatértékelése .....	53
2.3.1. A poszt-covid szindróma komplex repülésbiztonsági kockázatértékelése .54	
3. A fáradtság mérésének lehetőségei .....	55
3.1. Szubjektív mérőmódszerek .....	56
3.2. Objektív mérőmódszerek .....	57
4. A covid-19 fertőzés prevenciójával kapcsolatos tendenciák, a járvány aktuális helyzete és a kutatás aktualitása .....	69
<b>Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>74</b>
<b>A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ELEMZÉSE .....</b>	<b>76</b>
<b>1. A Covid-19 fertőzésen átesett katonai repülőorvosi vizsgálatra kötelezett állomány teljesítménye a RAVGYI-ban elvégzett repülőorvosi alkalmasság-vizsgálatok eredményei alapján .....</b>	<b>76</b>
1.1. A soron kívüli repülőorvosi alkalmasságvizsgálatok eredményeinek elemzése ...	76
1.1.1. A covid-19 fertőzés hatása a fizikai erőnlétre a soron kívüli repülőorvosi alkalmasságvizsgálatok során .....	78
1.2. Az első hipotézis vizsgálata.....	82

1.3.	Részkövetkeztetések.....	83
<b>2.</b>	<b>A Covid-19 fertőzésen átesett pilóták és repülésben dolgozók teljesítményt befolyásoló panaszainak prevalenciája és lefolyása az első és az ismételt fertőzést követően, a rehabilitáció folyamata .....</b>	<b>83</b>
2.1.	Az empirikus vizsgálat bemutatása .....	85
2.1.1.	A vizsgálati eszköz bemutatása .....	85
2.1.2.	A vizsgálati minta bemutatása.....	86
2.1.2.1.	Életkor és szociometriai adatok.....	86
2.1.2.2.	Testalkati adatok .....	87
2.1.2.3.	Krónikus betegségek megoszlása a mintában .....	89
2.2.	Covid-19 oltással és fertőzéssel (tünethossz, tünetlefolyás) kapcsolatos eredmények.....	92
2.2.1.	Az első és az ismételt covid fertőzéseknél tapasztalható tünettan és kórlefolyás jellemzői.....	93
2.2.1.1.	Tünetek prevalenciája első és ismételt fertőzésekben .....	93
2.2.1.2.	Tünethossz alakulása első és ismételt fertőzésben .....	96
2.2.2.	A 2. hipotézis vizsgálata.....	98
2.2.3.	Részkövetkeztetések.....	98
2.2.4.	A poszt-covid és long-covid szindróma tüneteinek időbeni lefutása, a rehabilitáció hossza .....	99
2.2.4.1.	A poszt-covid tünetek prevalenciája és időbeni lefolyása.....	99
2.2.4.2.	A munkavégzéssel kapcsolatos eredmények .....	101
2.2.4.3.	A covid-19 fertőzést követő munkába való visszatérést nehezítő panaszok és azok időbeni alakulása .....	104
2.2.4.4.	Az alvásminőség poszt-covid szindrómában .....	105
2.2.4.5.	A humán faktor hibaforrás kockázata a poszt-covid szindrómában (önbevallás alapján).....	107
2.2.4.6.	A jólléttel kapcsolatos eredmények .....	108
2.2.5.	A 3. hipotézis vizsgálata.....	109
2.2.6.	Részkövetkeztetések.....	109
2.3.	Különbségek a polgári és a katonai populáció között a covid-19 fertőzés gyakoriságában és a hosszútávú szövődmények előfordulási gyakoriságában .....	110
2.3.1.	A 4. hipotézis vizsgálata.....	113
2.3.2.	Részkövetkeztetések.....	113
<b>3.</b>	<b>A fáradtság objektív mérésének lehetőségei bioszenzorokkal .....</b>	<b>114</b>
3.1.	A fáradtság szerepe a repülőgépbalesetekben .....	115
3.2.	A fáradtság objektív mérésének lehetőségei a gyakorlatban .....	115

3.2.1.	A Pszichomotoros Vigiliancia Teszt és korlátai .....	116
3.2.2.	A szemmozgás detektálása (OMG) .....	117
3.2.3.	Az agyhullám tevékenység, EEG-n észlelt mikromegalgások.....	117
3.2.4.	A bioszenzorok szerepe a mikromegalgások detektálásában .....	118
3.3.	A vizsgálati módszer bemutatása.....	119
3.3.1.	A mérőeszköz bemutatása .....	120
3.3.2.	Az EEG vizsgálati protokoll bemutatása: .....	122
3.4.	A vizsgálati eredmények bemutatása.....	125
3.4.1.	A monotónia tesztek (PVT) eredményeinek elemzése:.....	127
3.4.1.1.	Az 5. hipotézis vizsgálata .....	129
3.4.1.2.	Részkövetkeztetések.....	129
3.4.2.	Az EEG vizsgálatok eredményeinek az elemzése: .....	130
3.4.2.1.	Az EEG elemző szoftver bemutatása .....	134
3.4.2.2.	A 6. hipotézis vizsgálata .....	137
3.4.2.3.	Részkövetkeztetések.....	138
3.5.	A vizsgálatban használt különböző módszerek, eredmények koherenciájának és a minták megbízhatóságának vizsgálata.....	138
3.5.1.	Leíró statisztika .....	139
3.5.2.	Az EEG értékelési módszerek közötti kapcsolat.....	141
3.5.3.	A statisztikai vizsgálati eredmények bemutatása és értékelése .....	141
3.5.4.	A statisztikai eredmények értelmezése.....	143
	<b>ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK .....</b>	<b>144</b>
	<b>ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....</b>	<b>150</b>
	<b>AJÁNLÁSOK, JAVASLATOK.....</b>	<b>151</b>
	<b>A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA .....</b>	<b>153</b>
	<b>A KUTATÁS JÖVŐBENI FOLYTATÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI.....</b>	<b>154</b>
	<b>IRODALOMJEGYZÉK.....</b>	<b>157</b>
	<b>PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK .....</b>	<b>.....</b>
	<b>MELLÉKLETEK .....</b>	<b>.....</b>
	<b>Ábrák jegyzéke.....</b>	<b>.....</b>
	<b>Táblázatok jegyzéke: .....</b>	<b>.....</b>
	<b>KOHÉZIÓS TÁBLÁZAT .....</b>	<b>.....</b>
	<b>A kutatás dokumentációja.....</b>	<b>.....</b>

## BEVEZETÉS

### A tudományos probléma megfogalmazása és aktualitása

Az 1903-ban végrehajtott első sikeres irányított, motorhajtású, ember által vezetett, levegőnél nehezebb szerkezet repülését követően az amerikai Wright fivérek 1904-ben szabadalmaztatták a repülőgép aerodinamikai tulajdonságainak megváltoztatásával annak irányítását lehetővé tevő „szárny hajlítás” technológiájukat, amely egyben a mai modern repülőmérnöki tudomány alapját is képezi. A Wright fivérek mellett akkoriban több tudós is foglalkozott a repüléssel, többek között a francia Louis Blériot pilóta, feltaláló és mérnök, aki az első egyfedeles repülőgép megalkotójaként vált híressé. Ez utóbbi géptípusból ugrott ki a francia Adolphe Pégoud pilóta-oktató 1913-ban, aki ejtőernyős ereszkedése közben megfigyelte az elhagyott repülőgép mozgását, és felismerte, hogy a gép irányított műrepülő manőverekre is képes lehet – ezzel lerakva a műrepülés alapjait.

A műrepülő manővereket látva Blériot maga fogalmazta meg 1922-ben azt a tényt, miszerint: „Nem az anyag ellenállása limitálja a mesterséges madár aerodinamikai teljesítményét, sokkal inkább az ember élettani ellenállása, aki a mesterséges madár agya”<sup>1</sup> [1]. Ez a megállapítás mai napig igaz, sőt a modern komplex repülési környezetet figyelembe véve azzal a kiegészítéssel még pontosabb, hogy az aerodinamikai teljesítmény határa az emberi teljesítőképesség határa – jelentse ez magát a pilótát vagy a pilóta feladatainak ellátásához nélkülözhetetlen koordináló-kiszolgáló erők szakembereit. A humán faktor tehát a „leggyengébb láncszem” a repülésbiztonságban, az egyik legfőbb hibaforrás, hiszen a repülésben bekövetkező balesetek oka a komplex repülésbiztonsági menedzsment rendszerek mellett is mind a mai napig mintegy 80%-ban humán faktor hibára vezethető vissza [2].

A repülőtechnika dinamikus fejlődése, a megnövekedett felhajtóerő, az elő- vagy kacsaszárny és az egyre nagyobb teljesítményű hajtóművek jelentősen megemelkedett repülésélettani kihívást jelentenek az emberi szervezetre. Kifejezetten megnövelik az emberi testre ható gyorsulási erőket, melyek a szervezetben a keringő vérmennyiség tehetetlenségénél fogva a vér hirtelen áthelyeződését okozhatják, ez pedig az agyi keringés átmeneti- de jelentős

---

<sup>1</sup> Louise Blériot francia pilóta és repülőmérnök szavai 1922-ből: " It is not the resistance of material which limits the aerobatic performance of the artificial bird, but the physiologic resistance of man, who is the brain of the artificial bird." "nem a repülőgép anyagának ellenállása az, ami limitálja a mesterséges madár aerobatus képességeit, hanem az ember élettani ellenállása az, aki a gép agya" (a szerző saját fordítása) [1.] Pg.1. paragraph 2.

csökkenését okozva a pilóta hirtelen cselekvőképtelenné válásához vezethet, ami a repülésbiztonság egyik legkomolyabb rizikóját jelenti repülés közben. Mind a levegőben, mind a földön végrehajtott munka során a humán faktor hibaforrás a leggyakoribb repülésbiztonsági rizikó, tehát bármi, ami ennek a humán faktor hibának az előfordulási gyakoriságát növelheti- az jelentős repülésbiztonsági kockázattal járhat, ennek folytán szükséges azonosítani, kutatni és megvizsgálni ezeket a hibaforrásokat. Ezeknek a humán faktor hibaforrás veszélyét növelő repülésélettani kihívásoknak a kutatása és megértése- valamint a lehetséges rizikófaktorok csökkentése jelentősen növelheti a repülésbiztonságot, csökkentve a Human System Integration (HSI)- az ember és a gép komplex rendszeréből adódó humán faktor hibák előfordulását.

A leggyakoribb humán faktor hibaforrás a fáradtság, a koncentráció (figyelem) zavara, a térbeli orientáció (tudatosság) hiánya, a megemelkedett pszichikai nyomás és stressz [2]. A covid-19 járvány kitörése óta a hazai és nemzetközi szakirodalom folyamatosan nyomonköveti a fertőzés közben és az akut betegség gyógyulását követően kialakuló és hosszabb ideig is fennálló szövődmények prevalenciáját. A leggyakrabban előforduló tünetek és hosszabb ideig is perzisztáló panaszok közé tartozik a fáradtság (akut fázisban az esetek kb. 60-70%-ában fordul elő [3] és poszt-covid<sup>2</sup> illetve long covid szindrómában<sup>3</sup> is az esetek kb 30-40%-ában perzisztál akár 8-12 hónapig is [4]), a koncentrációs zavar (brain fog, ami az akut esetek kb. 40%-ában alakul ki és a poszt-covid/long-covid szindróma részeként hónapokig fennmaradhat), a megnyúlt reakció idő [3], az információ-feldolgozó képesség lassulása. Ezek önmagukban is jelentős teljesítőképesség romlást okozhatnak, a poszt-covid és long-covid szindrómában pedig gyakran együttesen is jelen vannak egymás hatását tovább fokozva. Mindezek alapján megállapítható, hogy a covid-19 fertőzés és az azt követő poszt-covid és long-covid szindróma jelentős repülésbiztonsági rizikót jelenthet a repülésben dolgozók körében jelentkező emberi teljesítőképességet rontó tünetek és szövődmények kapcsán, amik emelhetik a humán faktor hiba bekövetkezésének veszélyét.

Különösen veszélyes lehet a poszt és long-covid szindróma tünetegyüttese a polgári repülésben, ahol a katonai repüléshez képest sokkal enyhébb Európai Unió repülőorvosi

---

<sup>2</sup> Poszt- covid szindróma: a covid fertőzést követően 4 hétnél tovább fennálló panaszok (Magyar Tüdőgyógyász társaság 2021. p.6.[5]

<sup>3</sup> Long- covid szindróma: a covid-19 fertőzést követően 12 hétnél tovább fennálló panaszok (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2024) [18]

szabályozás<sup>4</sup> van érvényben, a repülőorvosi szakszolgálati engedélyre kötelezettek (pilóták, légitforgalmi irányítók, légiutaskísérők stb.) jelentősen kevesebb diagnosztikai vizsgálatra kötelezettek, az esetek döntő többségében a vizsgáló repülőorvos tapasztalatára és megérzésére van bízva, hogy milyen vizsgálatokat kér, vagy hajt végre a repülőorvosi minősítés meghozatalához. A betegség repülőorvos felé történő bejelentési kötelezettsége sem vonatkozik azokra a covid-19 fertőzésekre, amelyek nem járnak kórházi felvétellel- azonban ezekben az enyhébb lefolyású covid fertőzésekben is kialakulhatnak a repülésbiztonsági kockázatot fokozó poszt-covid tünetek. Mindezek mellett az enyhébb követelmények kapcsán a polgári repülésben érintetteknél jelentős arányban lehetnek jelen már meglévő krónikus betegségek, melyek esetében a szakirodalom alapján súlyosabb lefolyás és komolyabb poszt-covid tünetek várhatóak [7, 8, 9]. Az életkor előrehaladása a repülésben az egyik legkomolyabb repülőorvosi kihívás, a poszt-covid és long-covid szövődmények repülésbiztonsági kockázatai ezen a téren nagy jelentőséggel bírhatnak. Fenti gondolatok figyelembevételével feltételezhető, hogy a poszt-covid és long-covid szindróma repülésbiztonsági kockázata a magasabb átlagéletkorral és több alapbetegséggel is rendelkező polgári pilóták és repülésben dolgozók körében még magasabb lehet, mint a szigorúbb katonai repülőorvosi vizsgálatra kötelezettek körében.

A nemzetközi katonai repülésben napjaink egyik legnagyobb dilemmája és jelenleg az elsőszámú repülőorvosi probléma a NATO Repülőorvosi Munkacsoportban az un. megmagyarázatlan fiziológiai események (Unexplained Physiological Events, UPE) okainak azonosítása és azok elkerülése. Ezekben a repülési incidensekben a pilóta egészségügyi okból jelent veszélyhelyzetet, de az utólagos elemzés során nem lehet olyan oxigénrendszerben, vagy egyéb pilóta teljesítményét támogató rendszerben hibát találni, amely élettanilag magyarázhatná a pilóta által érzett panaszt. A panasz(ok) hátterében sem a klasszikus magassági hypoxia- sem a nagy gravitációs terheléssel járó manőverek, gyorsulási erők (G-erők) által okozott fiziológiai eltérések nem állhatnak [10] (figyelembe véve azt is, hogy az esetek egy részében a UPE nem repülés közben, hanem még földi körülmények között következik be). A UPE események száma a legújabb repülőtechnikák megjelenése óta meredeken emelkedik, ez felhívja a figyelmet arra, hogy a modern, jelentősen megnövelt manőverező képességekkel, rövid fel- és leszállásra (Short Take Off and Landing- STOL), vagy

---

<sup>4</sup> 1178/2011EU szabályzó a polgári légi közlekedéshez kapcsolódó műszaki követelményeknek és igazgatási eljárásoknak a 216/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet értelmében történő rögzítéséről (Magyarországon érvényben 2014. április 8. óta) [6]

helyből történő fel- és leszállásra (Vertical Take Off and Landing- VTOL) és a hangsebességet meghaladó sebességre képes repülőtechnikák által támasztott repülésélettani követelményeknek csak egészséges, megfelelő funkcionális tartalékkapacitással, maximális és stabil teljesítőképességgel rendelkező pilóták tudnak megfelelni anélkül, hogy UPE, vagy hirtelen cselekvőképtelenség alakulna ki [11]. A poszt-covid és long-covid szindróma számos tünete ronthatja jelentősen a pilóták teljesítményét különösen ilyen extrém élettani terhelés közben, így esetenként a poszt-covid vagy long-covid szindróma is állhat a UPE hátterében különösen ismételt covid fertőződés esetén, amiről a szakirodalom leírja, hogy bár az akut tünetek enyhébbek is lehetnek, mint korábbi fertőzésekénél, de a poszt-covid szövődmények kiújulnak és akár erősebbek is lehetnek, mint korábban [12]. Ha azt is figyelembe vesszük, hogy az utóbbi években a covid-tesztelési hajlandóság már annyira lecsökkent, hogy alig-alig végeznek tesztet felsőlégúti panaszoknál, akkor ezek az ismétlődő covid fertőzések a pontos diagnózis hiányában legtöbbször ismeretlenek maradhatnak, így a pilóta nem is számít poszt-covid okozta teljesítménycsökkenésre még akkor sem, ha tisztában van azok rizikóival, így végül a megszokott repülési terhelés során jelentkező panaszokat UPE-nek jelenti.

A covid-19 fertőzés és a poszt- valamint long-covid szindróma repülésbiztonsági jelentőségét komplexen még nem vizsgálták, ezért jelen kutatás hiánypótló lehet a témában, eredményei segíthetnek a poszt-covid és long-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatainak meghatározásában és csökkentésében. A kutatás fókuszában lévő fáradtság és annak objektív mérési lehetőségét kutató módszerek pedig jelentős előrelépést hozhatnak a repülésbiztonság objektív megítélését támogató rendszerekben, továbbá egy fáradtságot objektíven is sikeresen mérni képes bioszenzor technológia a repülésen kívül számos más (jellemzően monoton munkakörülmények között végzett, vagy nagy koncentrációt igénylő feladatok esetén mint pl. veszélyhelyzeti ügyeleti szolgálatok, drónkezelők, folyamatellenőrző munkakörök, hosszútávú gépjárművezetési feladatok stb.) fokozottan fárasztó ipari, vagy egyéb munkaterületen növelheti az ipar- és működésbiztonságot.

### **Kutatási hipotézisek**

1. A covid-19 fertőzésen átesett, szubjektív fáradtságról beszámoló személyek fizikai teljesítőképessége szignifikánsan alacsonyabb, mint azon fertőzésen átesett személyeké, akiknél a poszt-covid fáradtság a vizsgálat időpontjában már nem áll fenn.

2. Az ismételt covid-19 fertőzések fokozzák a poszt-covid tünetek súlyosságát, ezáltal növelik a repülésbiztonsági kockázatot.
3. A poszt-covid és long-covid szindróma során több, repülésbiztonsági kockázatot jelentő tünet és szövödmény akár 6–12 hónapig is fennmaradhat, és a munkába való visszatérést követően humán faktor hibák kialakulásához vezethet, azaz a rehabilitáció elhúzódó folyamat, mely során nő a humán faktor hiba veszélye
4. Szignifikáns különbség van a katonai és a civil pilóták között előforduló Covid-19 fertőzés gyakoriságában és a hosszútávú (megemelkedett repülésbiztonsági rizikó jelentő) szövödmények előfordulásában.
5. Szignifikáns különbség van a monotónia teszt (PVT) során mérhető reakcióidő megnyúlások (lapse-ok) számában a poszt-covid és a kontroll csoport között
6. Szignifikáns különbség mutatható ki az EEG-vizsgálattal detektált mikromegalváások számában a poszt-covid csoport és a kontroll csoport között.

## **Kutatási célok**

Jelen tanulmány átfogó célkitűzése a poszt-covid állapotok repülésbiztonsági kockázatainak tudományos igényű feltérképezése, különös tekintettel a krónikus fáradtság jelenségére, valamint objektív mérési módszerek és eszközök azonosítása a fáradtság és az éberségi állapot csökkenésének detektálására. A kutatás specifikus céljai a következők:

1. Megállapítani, hogy van-e objektíven kimutatható teljesítménycsökkenés a szubjektív fáradtsággal járó poszt-covid időszakban végrehajtott soron kívüli repülőorvosi alkalmasságvizsgálatok során.
2. Tisztázni a poszt-covid tünetek gyakoriságát és azok repülésbiztonsági kockázatát.
3. Megvizsgálni az ismételt covid-19 fertőzések repülésbiztonsági kockázatát.
4. Megvizsgálni és összehasonlítani a poszt-covid szindróma tüneteinek prevalenciáját a polgári és a katonai populáció között.
5. Kutatni ezen repülésbiztonsági rizikónak a lehetséges csökkentési módjait, megfogalmazni gyakorlati javaslatokat a poszt-covid illetve long-covid szindróma kapcsán megnövekedő repülésbiztonsági rizikó csökkentésére. A nemzetközi repülésbiztonsági szabályozás és pilóta alkalmassági követelmények kritikus értékelése a fáradtság menedzsment és poszt-covid repülésbiztonsági rizikója szempontjából.

6. Elkészíteni a poszt-covid szindróma komplex repülésbiztonsági kockázatértékelését.
7. Megvizsgálni, hogy kimutatható-e objektíven mérhető teljesítményromlás a szubjektív fáradtsággal járó poszt-covid csoport körében a monotónia teszteken.
8. Megvizsgálni, hogy az agyhullámokban jelentkező mikromegalvások detektálása EEG szenzorral alkalmas-e a fáradtság objektív mérésére. Szisztematikusan áttekinteni az EEG bioszenzor technológia és a mikromegalvás detektálási módszereket. Megvizsgálni, hogy kimutatható-e különbség az agyhullámokban detektálható mikromegalvások számában a poszt-covid és a kontroll csoport között.
9. Kidolgozni egy prediktív értékű mérési módszert és bioszenzor technológiát a fáradtság objektív méréséhez.

### **Kutatási módszerek**

1. A covid-19 fertőzésen átesett repülőorvosi vizsgálatra (a továbbiakban ROB vizsgálat) kötelezett állomány fertőzést követő munkábaállást megelőző soron kívüli ROB vizsgálati során keletkezett eredmények elemzésével megvizsgálom, hogy van-e objektíven is kimutatható teljesítményromlás a poszt-covid időszakban szubjektív fáradtságot jelző személyeknél.
2. Anonim, online kérdőívvel felmérem a covid-19 fertőzés akut szakaszára és az azt követő poszt-covid és long covid időszakra (fertőzést követő 1, 3, 6, 9 és 12 hónappal jelen lévő tünetek) jellemző tüneteket és azok előfordulási gyakoriságát, az ismétlődő covid-19 fertőzés esetén jelentkező tünetek jellemzőit és a fertőzést követő munkába való visszaállás után esetleg előforduló humán faktor hibák gyakoriságát önbevallás alapján.
3. Az anonim online kérdőív adataiban összehasonlítom a polgári és a katonai repülésben dolgozók körében a covid és poszt-covid tünetek gyakoriságát és időbeni eloszlását, az esetleges összefüggést az életkorral és a már meglévő betegségekkel.
4. EEG méréseket végzek poszt-covidos és kontroll csoportokban egy a fáradás, teljesítőképesség csökkenés detektálására validált és elfogadott 30 perces pszichomotoros vigilancia teszt (PVT) közben és megvizsgálom, hogy a PVT teszt során mért teljesítménycsökkenés (reakció idő romlással járó lapse) korrelál-e az EEG-n észlelt mikromegalvásokkal.

5. Átlagos napi munkavégzés közben hosszú idejű EEG mérésekkel megvizsgálom a mikromegalgások előfordulásának gyakoriságát a poszt-covidos és a kontrol csoport tagjai között.

## **A releváns szakirodalom áttekintése**

A covid-19 világjárvány 2019-es kezdete óta a globális egészségügyi válsághelyzet jelentős hatással volt az élet minden területére, beleértve a légiközlekedést is. A vírus akut fertőző fázisán túl egy összetett és tartós utóhatás-együttes jelent meg, amelyet poszt-covid, vagy long-covid szindrómának nevezünk. A betegség kezdeti súlyosságától függetlenül a fertőzöttek jelentős része – egyes becslések szerint 10-35%-a – tartós tüneteket tapasztal, amelyek súlyosan befolyásolják életminőségüket és funkcionális kapacitásukat [13]. Ezen tartós tünetek közül a leggyakoribb és leginkább korlátozó a mély és tartós fáradtság, amelyhez gyakran társul kognitív diszfunkció („brain fog”) és alvászavar is [14]. Ez utóbbi különösen veszélyes, mivel az alvászavarok a megfelelő minőségű- vagy mennyiségű alvás hiányában a napi regenerációs idő jelentős csökkentése révén tovább fokozhatják az egyébként is jelentős poszt-covid fáradtságot és nagyban hozzájárulhatnak a krónikus fáradtság kialakulásához. A poszt-covid és long covid szindróma jelenlétét a fertőzés után a szakirodalmak a kezdetekben szereplő 3-6 hónap helyett jelenleg már tipikusan 4-9 hónap közé sorolják [13], de számos kutatásban szerepel ennél hosszabb időtartam, akár 12 hónap is [15, 16]. A tünetek perzisztálása tehát a korábbi feltételezéseknél is hosszabb időre terjedhet a regenerációig.

Az akut SARS-CoV-2 fertőzést követően jelentkező tartós, megterhelő tünetek megjelenése szükségessé tette a kutatás, diagnosztika és kezelés irányítására szolgáló hivatalos klinikai definíciók kidolgozását. A két legjelentősebb definíciót az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organisation, WHO) és az Amerikai Betegségmegelőzési és Járványügyi Központok (Centre for Disease Control, CDC) szolgáltatta, amelyek nagyrészt összhangban vannak, de finom, ám fontos különbségeket mutatnak időbeli kritériumaikban [52].

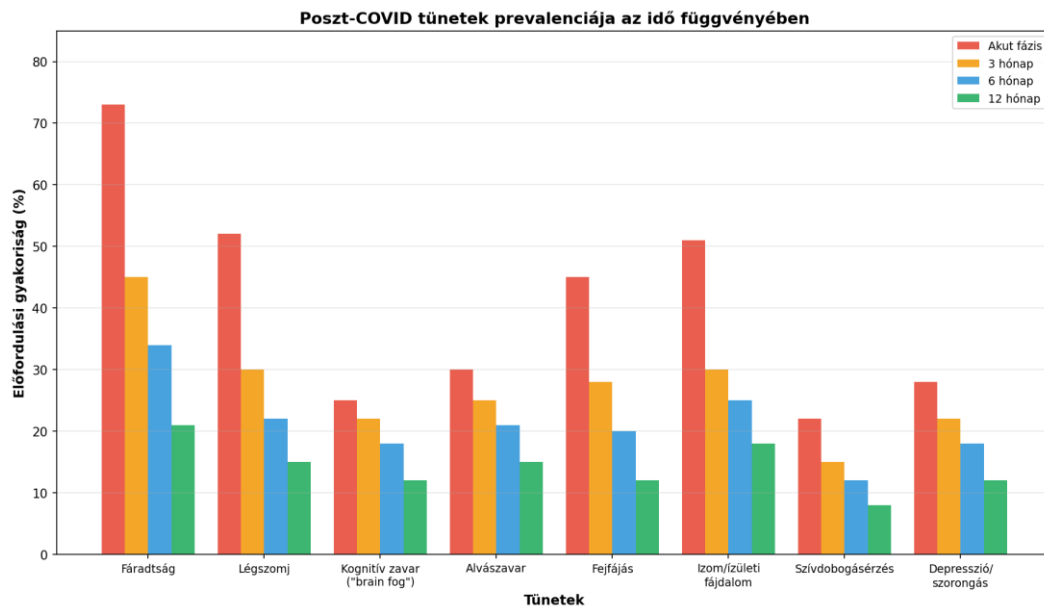
A WHO – a betegeket, kutatókat és klinikai szakértőket bevonó Delphi konszenzusos folyamaton keresztül – úgy határozza meg a poszt-covid állapotot, mint amely valószínűsített vagy igazolt SARS-CoV-2 fertőzésen átesett egyéneknél fordul elő [13,53]. E definíció szerint a tünetek jellemzően az akut betegség kezdetétől számított három hónap múlva jelentkeznek, és legalább két hónapig fennállnak [13,52]. Ezek a tünetek, amelyeket alternatív diagnózis nem magyaráz, gyakran magukban foglalják a fáradtságot, a légszomjat és a kognitív diszfunkciót

és a mindennapi működésre gyakorolt akár jelentősen korlátozó hatásokról ismertek [13]. A WHO definíciója azt is elismeri, hogy a tünetek lehetnek új keletűek, fennállhatnak a kezdeti betegség óta, vagy idővel ingadozó, visszatérő lefolyást is mutathatnak [13]. A covid-19 pandémia tudományos szakirodalmi manapság már ezt a WHO definíció szerinti későbbi szakaszt (ld. feljebb: a fertőzéstől számított 3 hónapon túl is jelenlévő tünetek) már long-covid szindrómának definiálják, míg a fertőzéstől számított 4 hétnél tovább (a long covid időszakig, azaz 4-12 hét között) fennálló panaszokat nevezi poszt-covid szindrómának [5,18].

A WHO definícióval szemben a CDC szélesebb időbeli keretet alkalmaz. A poszt-covid állapotokat (Poszt-covid Conditions, PCC) olyan új, visszatérő vagy folyamatban lévő egészségügyi problémák széles skálájaként definiálja, amelyek a kezdeti fertőzés után négy vagy több héttel is jelen vannak [54,55]. Ez a definíció, amelyet az Amerikai Egészségügyi és Humán Szolgáltatások Minisztériumával együttműködve fejlesztettek ki, a jelek, tünetek és állapotok sokféle halmazát öleli fel, amelyek hetekig, hónapokig vagy akár évekig is tarthatnak [54,55]. Míg a WHO három hónapos kezdeti kritériuma specifikusabb, a CDC négy hetes küszöbértéke lehetővé teszi az olyan egyének korábbi azonosítását, akik nem a tipikus betegség-lefolyás mentén gyógyulnak [52]. A kezdeti időpont ezen különbsége ellenére mindkét szervezet egyetért abban, hogy a poszt-covid és long-covid szindróma egy több szervrendszeri érintettségű, heterogén megjelenésű állapot, amelyet olyan tünetek jellemeznek, amelyek jelentősen károsíthatják az egyén funkcionális állapotát [54, 13].

A poszt- és long-covid szindróma prevalenciája jelentős közegészségügyi kihívás, bár a becslések százalékos értékei a használt definíció, a vizsgált populáció és a fertőzés időpontjában keringő specifikus vírusvariáns függvényében változnak [13,14]. Globális becslések szerint a covid-19 fertőzésben megbetegedett felnőttek körülbelül 6-7%-ánál és a gyermekek 1%-ánál alakul ki poszt-covid állapot [28]. Egyes tanulmányok szélesebb incidencia-tartományról számolnak be, és azt sugallják, hogy a covid-19 túlélők 10-35%-a tapasztalhat hosszú távú tüneteket [53]. Ez az arány lényegesen magasabb lehet az akut betegség miatt kórházi kezelést igénylő egyének körében, ahol egyes jelentések akár 85%-os prevalenciát is jeleznek ebben a kohorszban [53]. Az 1. ábra jól mutatja a különböző szakirodalmi adatok alapján a covid-19 fertőzést követően kialakuló panaszok prevalenciáját és azok időbeni elhúzódó jellegét. Ezen az ábrán a fentebbi becsléseket jóval meghaladó mértékben, a fáradtság tekintetében az esetek 70-45%-ában alakul ki poszt-covid fáradtság, kb 30%-ban a fáradtságot tovább fokozni képes alvászavarok és ugyancsak kb. 30%-ban alakul ki és marad fenn poszt-covid szindróma alatt kognitív képességek zavara (brain fog). Mondhatni

10-ből 6-7 embernél kell a számolni a poszt-covid fáradtsággal hónapokig és kb minden 3. embernél kell az alvászavarokkal és kognitív képességek romlásával is számolni. Nem elhanyagolható tehát ezeknek a repülésbiztonságot is veszélyeztető tüneteknek a gyakorisága és az újabb kutatások alapján jóval tovább perzisztálnak, mint azt eleinte gondoltuk.



**1. ábra. A poszt-covid tünetek prevalenciája az idő függvényében (A szerző szerkesztése a szakirodalmi adatok alapján)**

A fertőzés kialakulását követő poszt-covid szindróma folytatásaként a 12 hétnél tovább is fennálló panaszokkal definiálható long-covid szindróma klinikai megjelenése rendkívül sokféle, több mint 200 különböző tünetről számoltak be több szervrendszerben [13]. A leggyakoribb és funkcionálisan leginkább korlátozó tünetek közé tartozik a mindennapi életet zavaró mély fáradtság (amely 3-6 hónap között is még az esetek kb 35%-ában fennáll) és egy jellegzetes tünet, az úgynevezett terhelés utáni elgyengülés (post-exertional malaise, PEM), ahol a fizikai vagy mentális erőfeszítés a tünetek hirtelen és jelentős rosszabbodásához vezet [14]. Ez az állapot (PEM) különösen veszélyes lehet a repülésben dolgozók körében a munkába való visszatérést követően, a korábban megszokott munkaterhelés hatására ez esetben exponenciálisan növekedhet a kifáradás és ezzel a humán faktor hiba veszélye is.

A **poszt-covid** szindrómában szenvedő egyének által tapasztalt **mély és tartós fáradtság** nem csupán fáradtság, hanem összetett és megterhelő kimerültségi állapot, amely gyakran aránytalan az aktivitási szintekhez képest. A nemzetközi kutatások adatai alapján a covid-19 fertőzésen átesett betegek jelentős része, 60-70%-a számol be elhúzódó fáradtságról a fertőzés után [4]. A fáradtság prevalenciája időben fokozatosan csökken ugyan, de jelentős mértékben

fennmarad még hónapokkal a fertőzést követően is. Három hónappal a fertőzés után a betegek körülbelül 45-50%-a számol be krónikus fáradtságról, míg hat hónappal később ez az arány mintegy 34%-ra csökken [19]. A legújabb kutatások szerint azonban a fáradtság akár 12 hónapig vagy még tovább is fennállhat az esetek jelentős részében [16]. Egy a pandémia kezdeti szakaszában publikált tanulmány alapján meglepő módon ez a poszt-covid fáradtság a fiatal, egészségesebb populáció körében még nagyobb valószínűséggel jelenik meg. A publikációban 72,8%-ban volt jelen a fiatalok körében a kifejezett poszt-covid fáradtság [7], ami különösen nagy jelentőséggel bírhat a katonai repülésben jellemzően alacsonyabb átlagéletkorú és egészségesebb vadászpilóta populációban, akik munkájuk során nagyobb élettani terhelésnek vannak kitéve a repülőgép rendkívül agilis aerodinamikai tulajdonságai és az e közben a szervezetet érő gyorsulási túlterhelések kapcsán.

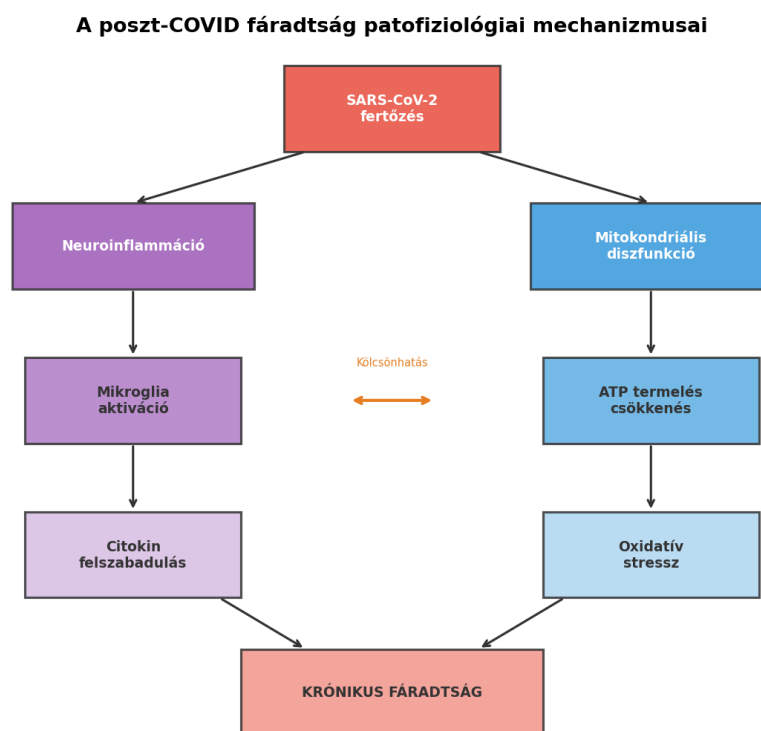
A neurológiai megnyilvánulások is kiemelkedőek, beleértve a gyakran „**brain fog**”-ként (ködös agy) leírt kognitív nehézségeket, a fejfájást, a tartós alvási problémákat, a felálláskor jelentkező szédülést (ortosztatikus intolerancia) és az érzékszervi változásokat, például a megváltozott szaglást vagy ízeletést [14].

A **pszichiátriai tünetek**, mint a depresszió és a szorongás is gyakran jelentkeznek [14]. Ez utóbbiak ismét csak kiemelt veszélyforrást jelenthetnek a repülésben, növelve a munkahelyi stressz miatt, vagy veszélyhelyzetek kialakulásakor fellépő pánikreakciók, nem adekvált cselekedetek kockázatát. **Kardiorespiratorikus** szempontból a betegek légszomjat, tartós köhögést, mellkasi fájdalmat és szívdobogásérzést tapasztalhatnak kb az esetek egyharmadában [14]. Egyéb gyakori fizikai tünetek közé tartozik az izom- és ízületi fájdalom, a gasztrointesztinális problémák, mint a hasmenés és a gyomorfájás [14], amik szintén bírnak repülésbiztonsági kockázattal. Az ízületi fájdalmak nehezíthetik a műszerek megfelelő és biztonságos használatát, míg a gyomor és bélpanaszok tekintetében veszélyforrás lehet a hipobárikus viszonyok miatt a fedélzeti alacsonyabb légnyomás, aminek hatására közismerten meteorizmus jelentkezik (gáztörvények alapján alacsonyabb nyomáson tágulnak a gázok), amik jelentősen fokozhatják mind a gyomor, mind a bélpanaszokat, akár hirtelen cselekvőképtelenséghez is vezethetnek repülés közben.

A poszt- és long covidban tapasztalt tünetek, mint pl. a **mély és tartós fáradtság alapjául szolgáló patofiziológia** sokrétű, és intenzív tudományos vizsgálat tárgyát képezi. A jelenlegi bizonyítékok a neuroinflammatorikus folyamatok és a szisztémás mitokondriális diszfunkció konvergenciájára mutatnak, amelyek egy önfenntartó ciklust hoznak létre a károsodott energiaanyagcsere és a krónikus gyulladás között. A poszt és long-covidban megfigyelt patofiziológiai

jellemzők közül sok feltűnő hasonlóságot mutat a myalgias encephalomyelitis/krónikus fáradtság szindróma (ME/CFS) esetében találtakkal, amely állapot gyakran vírusfertőzés következményeként alakul ki [58].

A vezető hipotézis a **neuroinflammáció** szerepére összpontosít. A kezdeti SARS-CoV-2 fertőzés súlyos élettani stresszort képvisel, amely erőteljes akut immunválaszt vált ki [59]. Fogékony egyéneknél ez a válasz nem oldódik meg, hanem krónikus immunszabályozási zavarba megy át [58]. Ez a folyamat közvetlenül érintheti a központi idegrendszert. A kiemelt érdeklődési terület a hypothalamus paraventricularis magja (PVN), az agy egy olyan régiója, amely kritikus stressz-integrátor funkciót tölt be [59,60]. A gyulladáshoz vezető mediátorok, vagyis citokinek, amelyek az akut fertőzés során szabadulnak fel, olyan stresszjeleket továbbíthatnak, amelyek túlterhelik a PVN szabályozó kapacitását [59, 60]. A poszt-covid fáradtság patofiziológiáját a 2. ábrán szemléltetem.



**2. ábra. A poszt-covid fáradtság patofiziológiai mechanizmusai (A szerző szerkesztése a szakirodalmi adatok alapján)**

Ez tartós diszfunkcióhoz vezethet a PVN neurológiai áramköreiben, túlérzékenyvé téve azt a későbbi stresszorokra [59,60]. Úgy vélik, hogy ez a túlérzékenység kulcsfontosságú mechanizmus a terhelés utáni rosszullét (PEM) hátterében, ahol még kisebb fizikai vagy kognitív erőfeszítés is súlyos tüneti visszaesést válthat ki. Amikor egy bizonyos

stresszküszöböt meghaladnak, a PVN epicentrummá válhat a mikroglia – az agy rezidenciális immunsejtjei – aktiválásához [59,60]. Ez a mikroglia-aktiváció krónikus neuroinflammatorikus állapotot idéz elő, amely kiterjedhet a hypothalamusból a limbikus rendszer szomszédos területeire, amely az érzelmekért, az emlékezetért és az autonóm működésért felelős [59,60]. Ez a kiterjedt neuroinflammáció segít megmagyarázni a poszt- és long-covid szindrómában látható tünetek sokféleségét, beleértve a fáradtságot, a kognitív károsodást és a hangulatzavarokat [59,60].

**A neuroinflammatorikus modellt kiegészíti a széles körű mitokondriális diszfunkcióra** vonatkozó növekvő bizonyítékok köre. A mitokondriumok a sejtek energiaközpontjai, amelyek a szervezet energiájának döntő többségét állítják elő adenozin-trifoszfát (ATP) formájában. A poszt- és long-covidban szenvedő egyének izomszövetéből vett minták vizsgálatai kimutatták, hogy mitokondriumaik jelentősen kevesebb energiát termelnek az egészséges kontrollokhoz képest [61]. Ez a „sejt-szintű energiaösszeomlás” közvetlen biológiai magyarázatot ad a mély fizikai fáradtságra, az edzés-intoleranciára és a terhelés utáni rosszullétre (PEM), amelyről a betegek beszámolnak [61]. Ez a mitokondriális károsodás szorosan **összefügg a fokozott oxidatív stressz állapotával**. A diszfunkcionális mitokondriumok túlzott mennyiségű reaktív oxigénfajtát (ROS) termelnek, amelyek rendkívül reaktív molekulák, és károsíthatják a sejteket, fehérjéket és DNS-t [62]. A long-covid betegeknél emelkedett szintet találtak az oxidatív stresszel és mitokondriális károsodással kapcsolatos biomarkerekből, valamint csökkent szinteket olyan kulcsfontosságú antioxidánsokból, mint a koenzim Q10 [62]. Ez az oxidatív stressz tovább károsíthatja a mitokondriumokat, ördögi kört hozva létre. Ráadásul a mitokondriális diszfunkció nem elszigetelt az immunrendszerrel. Gyulladásos útvonalakat aktiválhat és modulálhatja az immunválaszokat [32]. Egyes elméletek azt vetik fel, hogy a krónikus immunaktiváció, vagy akár a mitokondriális komponenseket célzó autoimmun válaszok állhatnak a tartós diszfunkció hátterében [63].

A szokatlanul erős fáradtságon túl a poszt- és long-covid szindróma két leginkább funkcionálisan korlátozó aspektusa a **kognitív károsodás és az alvászavarok**. Ezek a tünetek gyakran együtt fordulnak elő, és megterhelő visszacsatolási hurkot hozhatnak létre, ahol a rossz alvás súlyosbítja a fáradtságot és a kognitív nehézségeket, és a kognitív diszfunkció mentális megterhelése zavarja a pihentető alvást. Mindkét jelenség mélyen gyökerezik a korábban tárgyalt patofiziológiai változásokban, és jelentős következményekkel jár az egyén azon képességére, hogy visszatérjen igényes szakmai munkájához. A köznyelvi „brain fog” (ködös agy) kifejezéssel jelölt kognitív károsodás egy neurokognitív deficitek csoportját leíró

kifejezés, amely a poszt- és long- covid szindrómában szenvedő egyének jelentős részét érinti [64]. Ez nem hivatalos orvosi diagnózis, hanem a mentális ködösség és ineffektivitás szubjektív tapasztalatát ragadja meg. A tünetek változatosak, de jellemzően magukban foglalják a lassú gondolkodást és az információfeldolgozási nehézségeket; jelentős memóriaproblémákat, amelyek érintik a szabad felidézést, a támogatott felidézést és a procedurális memóriát; a fókuszálási vagy figyelemfenntartási képtelenséget és nyelvi nehézségeket, például szótalálási problémákat [64,65]. Sokan számolnak be a végrehajtó funkciók károsodásáról is, amelyek a tervezést, döntéshozatalt és kognitív rugalmasságot irányítják [65]. Ezek a funkciózavarok direkt veszélyforrást jelenthetnek a repülési feladatok rutin végrehajtásában.

**A brain fog** hatása az életminőséget jelentősen ronthatja, arra kényszerítve az egyéneket, hogy küzdjenek a korábban rutinszerű feladatokkal, és egyes esetekben munkahely-változtatást tesz szükségessé [64,65]. Míg az állapot sokak számára hat-kilenc hónapon belül oldódik, a betegek egy részénél 18 hónapig vagy még tovább is fennállhat [64]. A brain fog okára vonatkozó vezető tudományos elméletek a poszt- és long-coviddal összefüggő neuroinflammációra és vaszkuláris problémákra mutatnak [66]. A központi idegrendszeren belüli tartós gyulladásos állapot megzavarhatja a neurogenézist, interferálhat a szinaptikus plaszticitással, és ronthatja a neurális hálózatok hatékonyságát [66].

**Az alvászavarok** a long-covid egy másik nagyon gyakori és megterhelő jellemzői. Ezek nem egyszerűen fáradtságérzésről szólnak, hanem az alvás architektúrájának és szabályozásának alapvető megzavarását jelentik [67,68]. A megnyilvánulások sokfélék, és magukban foglalják az inszomniát, amelyet az elalvási, az alvásfenntartási nehézségek vagy a nem felüdítő alvás jellemez; a hiperszomniát, vagyis túlzott nappali álmoságot, amely elhúzódó alvásidőtartamként és tartós bágyadtsági állapotként nyilvánulhat meg és az általános nem frissítő alvás érzését, ahol az egyének úgy ébrednek, mintha egyáltalán nem pihentek volna, függetlenül az alvás időtartamától [67,68,69]. Egyes tanulmányok szerint a long-covid betegek legalább 40%-a közepes vagy súlyos alvászavarról számol be [70]. A kutatások több társuló tényezőt azonosítottak az alvászavarok kialakulásában, beleértve az akut covid-19 fertőzés miatti kórházi kezelést és a társuló hangulatzavarokat [70]. A magasabb testtömegindexet (BMI) is összefüggésbe hozták a long-covid súlyosabb fenotípusával, amely inszomniát és nappali álmoságot foglal magában [67]. Az alvás és a covid-19 fertőzés közötti kapcsolat kétirányúnak tűnik. Nemcsak a long-covid okoz jelentős alvási problémákat, hanem a meglévő alvászavarok, mint az obstruktív alvási apnoe (obstructive sleep apnoe- OSA) vagy a krónikus inszomnia, bizonyítottan növelik az egyén SARS-CoV-2 fertőzésének, kórházi

kezelésének és long-covid kialakulásának kockázatát [71,72]. Ez kiemeli az alvás kritikus szerepét az immunfunkcióban és a vírusfertőzéssel szembeni általános ellenálló képességben.

**Több tényezőt** azonosítottak, amelyek **növelik a fertőzöttek körében a poszt-covid szindróma kialakulásának kockázatát**. Az akut betegség súlyossága elsődleges prediktor, a kórházi kezelést vagy intenzív ellátást igénylők jelentősen magasabb kockázatnak vannak kitéve [14,57]. Fontos azonban megjegyezni, hogy a poszt-covid és long-covid szindróma enyhe kezdeti fertőzések után is előfordulhat [57]. A demográfiai tényezők is szerepet játszanak; tanulmányok kimutatták, hogy a nők, az idősebbek és a spanyol vagy latin származásúak fogékonyabbak [57]. A meglévő krónikus betegségek, mint az elhízás vagy az asztma, tovább növelik a kockázatot [57]. Ezen tanulmányok eredményei azt mutatták, hogy a covid-19 elleni védőoltás bizonyítottan a leghatékonyabb eszköz a poszt és long-covid megelőzésére, mivel a nem oltott egyéneknél nagyobb valószínűséggel alakul ki az állapot [14,57]. Ezzel szemben más tanulmányok felhívják a figyelmet arra, hogy az oltások ellenére az ismétlődő covid-fertőzések előfordulása nem csökken az oltottak körében sem [26], és az ismétlődő fertőzések után nő a poszt- és long-covid tünetek kialakulásának kockázata [27]. Ezeket a kockázatokat és a poszt-covid tünetek időbeni alakulását a poszt-covid tünetek emberi teljesítőképességre gyakorolt hatásáról szóló következő fejezetben részletesen elemzem.

Az eddigiek alapján megállapítható, hogy a poszt-covid- és a long-covid szindróma is jelentős repülésbiztonsági aspektusokkal rendelkezhet, melyeket kockázatelemzés és kockázatcsökkentés érdekében érdemes és szükséges vizsgálni. A folytatásban górcső alá veszem ezen tünetcsoport repülésbiztonsági vonzatait a nemzetközi szakirodalmak alapján.

### *1. A poszt-covid szindróma emberi teljesítőképességet befolyásoló tünetei és azok prevalenciája*

A covid pandémia világszerte hatalmas kihívás elé állította nem csupán az egészségügyet, de minden kormányzati szektort a szükséges megelőző intézkedések bevezetésétől azok fenntartásán át az élet- és munkavégzési körülmények teljes átsztrukturalásáig. A világháborúk óta nem látott személyi szabadságot korlátozó kijárási tilalom, gyülekezési tilalom, kötelező távolságtartás és korosztályonként ütemezett ügyintézési és bolti nyitvatartások, otthoni munkavégzés, munkahelyi váltások elkülönítése térben és időben mind a továbbterjedés megakadályozása, lassítása érdekében meghozott intézkedések voltak. Mindezekre azért volt szükség, mert a pandémia kitörésekor a vírus olyan gyorsan terjedt, hogy egyszerre túl nagy mennyiségű betegnek kellett egészségügyi ellátást biztosítani, különösképpen a súlyos

lefolyású eseteknél, ahol kórházi bennfekvés, oxigénterápia volt szükséges. A hirtelen megemelkedett intenzív oxigéntámogatásra szoruló betegek száma sok helyen meghaladta az ellátási kapacitást mind lélegeztető gép, mind a szükséges szakképzett egészségügyi személyzet tekintetében. Tovább fokozta a kialakult kritikus veszélyhelyzetet az ellátó egészségügyi szakszemélyzet saját személyes sebezhetősége a fertőzött betegekkel való szoros kontaktus miatt. Az egészségügyi intézmények teljes kapacitással, sőt ideiglenesen kialakított plusz elkülönítési és elhelyezési kapacitások kiszolgálásával voltak elfoglalva, de a tudományos adatgyűjtés hamarosan megkezdődött és világszerte publikálták a covid-19 fertőzés kapcsán kialakuló tüneteket és azok előfordulási gyakoriságát, elemezték a súlyos-kórházi ellátásra szoruló betegek adatait, hogy azonosítsák a legfőbb rizikófaktorokat.

Az első publikációk többsége az akut fertőzés közben jelentkező tüneteket gyűjtötték össze, hiszen akkor még nem volt ismert a poszt-covid szindróma.

A **nemzetközi szakirodalom alapján elmondható**, hogy a covid-19 fertőzésen átesettek körében jelentősen romlik a reakcióidő, nő a hibaszázalék, azaz szignifikánsan romlik az emberi teljesítőképesség [3]. A nemzetközi kutatások alapján a fertőzésen átesett személyek jelentős többségénél, mintegy 60-70%-nál alakul ki nagyfokú, munkavégzőképességet és életminőséget rontó mértékű fáradtság, mintegy 40- de akár 60%-nál is kialakulhatnak légzési nehézséggel kapcsolatos problémák (légszomj) a betegség alatt, és a betegek 25-45%-ánál kialakulnak pszichés problémák is (depresszió, hangulatzavarok) [4], amelyek jelentősen akadályozhatják az emberi teljesítőképességet és amennyiben a munkaképtelen időszakot követően is fennmaradnak, akkor a munkába való visszatérés során jelentősen növelhetik a humán faktor hibaforrás veszélyét. A covid fertőzés okozta panaszok súlyosságát tekintve a tanulmányok egyértelmű összefüggést találtak a tünetek súlyossága, a betegség lefolyásának súlyossága és az életkor, valamint a már meglévő krónikus betegségek között. A szakirodalmi adatok igazolták, hogy pozitív korreláció van a covid fertőzés okozta tünetek súlyossága és a betegség lefolyásának valamint szövődményeinek súlyossága és a magasabb életkor, valamint a meglévő ismert krónikus betegségek között [4]. Minél idősebb a páciens és minél több ismert alapbetegése van- különösen magas rizikónak számít az obesitás, a magasvérnyomás, a cukorbetegség és az immungyengeséggel járó krónikus betegségek csoportja, annál valószínűbb, hogy a covid fertőzés súlyosabb tünetekkel jár, nagyobb valószínűséggel lesz szüksége oxigén támogatásra, kórházi kezelésre, vagy akár intenzív oxigénterápiára és annál komolyabb poszt-covid szövődmények várhatóak a fertőzést követő gyógyulási szakaszban. Ez a rizikófaktor különösen jelentős lehet a polgári repülésben dolgozók között, ahol jelenleg

is az egyik legnagyobb repülőorvosi vitatéma az életkor kitolódása kapcsán a repülésre való egészségügyi alkalmasság felső korhatára [17].

Nem mondhatjuk azonban, hogy a fiatalabb, egészségesebb korosztály ne lenne veszélyben, esetükben ugyan enyhébb tünetek várhatóak, azonban a nemzetközi szakirodalom alapján a fiatal egészséges populáció körében még az összesített átlagnál is nagyobb arányban, kb. 72,8%-ban alakul ki jelentős fáradtság [7]. Ami igazán veszélyessé teheti ezt a magas százalékos arányt az a tünetek perzisztálására vonatkozó kutatásokból derül ki. Képzelt diagnosztikai eljárásokkal számos esetben mutattak ki a covid fertőzés kapcsán a tüdőparenchimában érintettséget, mely a fertőzést követően lassan regrediál, azonban a fertőzést követően hetekkel, hónapokkal is fennmaradnak panaszok, amikor a szervi érintettség már nem mutatható ki, így a poszt-covid és long-covid tünetegyüttes patomechanizmusa nem csupán a légzőszervi hatásokon alapulhat, hanem feltételezhetően számos más kórfolyamat is zajlik a vírusfertőzést követően, amely létrehozza a poszt- és long-covid szindróma hátterében valószínűsíthető többszervi érintettséget.

**Számos covid fertőzés során kialakuló tünet, köztük a leggyakoribb humán faktor hibaforrásként emlegetett fáradtság, koncentrációs nehézség, a térbeli orientáció (tudatosság) hiánya, a megemelkedett pszichés nyomás és stressz [2] szerepel a leggyakoribb panaszok között** mind a nagyobb rizikójú idősebb és komorbid populációban, mind pedig a fiatalabb, egészségesebb populációban. A panaszok egy része a fertőzést követően hosszabb ideig is fennáll. A bevezetőben leírt WHO és CDC poszt-covid és long-covid definícióknak ellentmondásai kapcsán jelen tanulmányban poszt-covid szindrómának nevezzük a Magyar Tüdőgyógyász Társaság meghatározását alapul véve a fertőzést követően 4 hétnél tovább is fennálló panaszokat együttesen [5], míg a fertőzést követően 12 hétnél tovább perzisztáló panaszokat pedig long-covid szindrómának [18].

A nemzetközi szakirodalomban a covid fertőzés tüneteinek és elhúzódó szövődményeinek leírásakor több esetben párhuzamot vonnak a 2005-ben lezajlott SARS (severe acute respiratory syndrome- súlyos akut légzőszervi szindróma) illetve MERS (Middle East Respiratory Syndrome- közeli légzőszervi szindróma) járványok során tapasztaltakkal, mivel mindkettőt SARS koronavírus okozza. Párhuzamot vontak a kialakuló tünetek súlyossága, időbeni lefolyása és a szövődmények kialakulása között is, mivel mindhárom kórképben a koronavírus okozta poszt-infekciós gyulladáshoz hiperreaktivitást és tipikus poszt-infektív szövődményeket írt le a szakirodalom [3, 5, 19]. A kialakuló tünetek és a CRP (C-

reaktív protein)<sup>5</sup> összefüggéseit vizsgálva megállapították, hogy a gyulladás súlyosságát jelző CRP szint korrelál a kognitív képességek romlásával. A SARS járvány alatt kialakuló krónikus fáradtságot 4 évig ki tudták mutatni a páciensek körében. Ez előrevetítheti a poszt-covid fáradtság várható perzisztálását is.

Azt is előrevetítik, hogy a tüdőparenchima érintettség mértéke is korrelál a fokozottabb gyulladással, CRP szinttel, a tüdőparenchima érintettsége pedig növelheti a repülés közben a manőverek kapcsán fellépő gyorsulás túlterhelés okozta aero-atelektázia veszélyét, ami a pilóta hirtelen cselekvőképtelenségéhez vezethet. A nagy túlterheléssel járó HPA (High Performance Aerobatics) műrepülő manőverek során a mellkast érő gravitációs és gyorsulási túlterhelés a szervek tehetetlenségénél fogva összenyomja a tüdőt, a pilóta légzési teljesítménye ekkor nagymértékben függ a tüdő funkcionális rezerv kapacitásától, amit a tüdőparenchima érintettsége jelentősen csökkenthet. Más szakirodalmakban a covid-19 fertőzés tünetei és szövődményei kapcsán a szepszisben tapasztalható patofiziológiával vonnak párhuzamot, kiemelve a tényt, hogy a covid pandémia oly mértékben terhelte túl az egészségügyi rendszert és az egészségügyi ellátó személyzetet, hogy valószínűleg jóval kevesebb figyelmet tudtak fordítani a szepszis megelőzésére ismert és jól bevált módszerek betartására (korán megkezdett lélegeztető gépről való levétel napi légzéspróbákkal, fokozatos szedáció csökkentés és korai mobilizáció), ami fokozhatta mind a covid tünetek súlyosságát, mind a kialakuló rövid és hosszútávú szövődmények kialakulásának valószínűségét.

**A fáradtság az egyik leggyakrabban kialakuló és egyben legtovább perzisztáló poszt-covid tünet,** a fertőzést követő 3 vagy akár 6 hónappal is, amikor a fertőzésben érintett tüdőparenchima már teljesen regenerálódott, légzési kapacitás csökkenést már nem okoz, mégis a betegek jelentős része panaszodik még mindig krónikus fáradtságról és jelentősen csökkent fizikai terhelhetőségről. Az esetek kb. 70%-ában alakul ki krónikus fáradtság, ami fennmarad 3 hónapig, 34%-nál pedig 6 hónap után is jelen van, a betegek 3 sőt 6 hónappal a fertőzés után is beszámolnak a funkcionális képességek romlásáról, az életminőség romlásáról mentális és kognitív képességeket felmérő kérdőívek során. Leírtak objektíven mérhető teljesítményromlást is légzésfunkciós teszteken, illetve 6 perces gyaloglási teszten ugyanezen intervallumokban [19]. A 6 perces gyaloglási teszt a fizikai állóképesség mérésére használható, főleg olyan idősebb, mozgásszervi, vagy súlyos koronária és/vagy szívbetegségben szenvedő egyéneknél, akiknél a szokványos futószalag- vagy kerékpár ergometria nem kivitelezhető. A

---

<sup>5</sup> CRP- C reaktív protein, egy gyulladási faktor az emberi szervezetben, emelkedett értéke a szervezetben zajló gyulladást jelzi, az emelkedés mértékével arányosan súlyosbodó állapotot igazol.

tesztet az 1980-as években fejlesztették ki, melynek során a páciens 6 percig kell, hogy gyalogoljon a saját maga által elfogadható tempóban akár a megszokott segédeszközeivel együtt, ha szükséges szünetet is tarthat. A teszt értékelése a 6 perc alatt megtett távolságon alapul (méterben), vagy amennyiben nem tudja a 6 percet egyben teljesíteni, akkor a befejezésig megtett távolság a mérvadó. A 6 perces gyaloglási tesztet összehasonlították a klasszikus ergometriás vizsgálatok során mért fizikai teljesítménnyel és az eredmények jól korrelálnak, tehát ez a teszt is alkalmas a fizikai teljesítőképesség objektív mérésére olyan pácienseknél, ahol valami oknál fogva a futószalag, vagy kerékpárergometria nem kivitelezhető [20, 21]. Mindezek mellett ez a teszt a háziorvosi praxisban és ergometriás eszközök nélkül is lehetőséget ad a páciens fizikai állóképességének felmérésére, ezáltal a covid fertőzésen átesett idősebb, mozgási nehézségekkel vagy komolyabb szív-érrendszeri alapbetegségekkel rendelkező pácienseknél is lehetőséget adott a fizikai állapot felmérésére.

A poszt-covid fáradtságot és annak emberi teljesítőképességre gyakorolt negatív hatását tovább fokozza a páciensek körében az akut fázisból való gyógyulást követő fizikai vagy mentális terhelésre jelentkező fokozott elgyengülés, kóros mértékű kifáradás (post-exertional malaise-PEM). A páciensek a fertőzést követően nem csak fáradtabbak, de megszokott munkaterhelésükbe visszatérve a terhelés hatására teljesítőképességük szokatlan gyorsasággal és mértékben romlik, akár rosszul is okozhat. Ez a PEM tünetcsoport nem csupán fizikai munka hatására jelenhet meg, hanem mentális terhelés, adminisztratív, vagy tervező-szervező-irányító munkakörben, vagy éppen a napjainkban jellemző nagyfokú automatizmussal üzemelő repülőgépek pilótái és személyzete körében is.

**A pandémia kezdetét követő első néhány évben megjelent publikációkkal szemben a beteganyag és adatok valamint az eltelt idő rövidege miatti korlátozottságuk folytán megfogalmazhatók kritikák.**

1. A kezdeti publikációk viszonylag kicsi beteganyagon (24- 287 fő) történt elemzéssel készültek és a százalékos prevalencia értékekben nem minden esetben vették figyelembe az elhalálozások számát. 2021-től kezdődően azonban már jelentek meg nagyobb beteganyagon végzett adatelemzések meta-analízisei és nagyobb kohort tanulmányok is, amiknél a prevalencia értékekben már az elhalálozások számát is figyelembe vették, ennél fogva kicsivel alacsonyabb előfordulási értékeket írtak le, mint a korábbi publikációk, azonban elmondható, hogy nagyságrendileg egyeztek a tünetek és szövődmények előfordulási valószínűségei a nagylétszámú tanulmányok esetében is. Ilyen nagyobb beteganyagon végzett elemzés például a Nagy-Britanniában

4182 fő covidon átesett páciens nyomonkövetése 8-12 hétig a fertőzés után diagnosztikai vizsgálatokkal és telefonos applikációval [22], ebben a illetve egy amerikai tanulmány jelentős populációt áttekintő kohort vizsgálattal 62.354 covid fertőzésen átesett páciens bevonásával retrospektív adatelemzéssel a fertőzéshez társuló új/meglévő pszichiátriai betegségek előfordulását illetően [23], mely alapján megállapítható, hogy a covid fertőzést követően várható a már meglévő pszichiátriai betegségek súlyosbodása és e mellett új pszichiátriai betegségek is megjelenhetnek. A tanulmány szerint azon covid fertőzésen átesett pácienseknél, akiknek nem volt korábban diagnosztizált pszichiátriai zavara, a covid-fertőzés diagnózisa a fertőzést követő 14-90 napban nagyobb valószínűséggel társult új pszichiátriai panasz kapcsán történő megjelenéssel, mint a legtöbb hétköznapi banális fertőzés esetében. A leggyakoribb újonnan keletkezett pszichiátriai panaszok a nyugtalanság, szorongás, depresszió, inszomniák és hirtelen kialakuló demencia voltak. A covid fertőzésen átesett páciensek 18.1%-a jelent meg a fertőzést követően pszichiátriai ellátáson, amiből 5.8% első pszichiátriai diagnózis volt, a többi az ismert pszichiátriai betegségek relapsusa (kiújulása, vagy fokozódása) kapcsán került ellátásra [23].

2. A korai **publikációk többsége kórházi kezelést igénylő súlyos, vagy közép súlyos megbetegedésben szenvedő alanyokat vizsgált**, jellemzően idősebb és már ismert alapbetegségekkel rendelkező pácienseket érintett. Ennek magyarázata részben a korábban leírt tünetek, életkor és már ismert komorbiditási faktorok közötti összefüggés, miszerint az ebbe a csoportba tartozó egyének nagyobb rizikóval szenvednek el súlyosabb lefolyású covid fertőzést. Másrészt az magyarázhatja, hogy a pandémia ezen korai szakaszában a szakembereknek a nagy leterheltség miatt csak a kórházban kezelt betegek adataihoz volt hozzáférése, szabad nyomonkövetési kapacitások hiányában még nemigen álltak rendelkezésre enyhébb lefolyású megbetegedések körében összegyűjtött adatok. A levont következtetések így egy magasabb átlag életkorú (jellemzően 60 év körüli átlagéletkor) az ismert rizikófaktorok kapcsán magasabb rizikójú csoport adata alapján lettek levonva. A saját kutatási témát tekintve ez nem feltétlenül torzító adat, mivel a bevezetőben leírtak alapján a polgári repülésben jellemzően idősebb átlag életkorú és már több ismert alapbetegséggel is küzdő aviátorokról kell a covid fertőzés valamint a poszt-covid szindróma kapcsán repülésbiztonsági kockázatelemzést végezni és abból következtetéseket levonni, így ezen korai publikációkban megjelenő idősebb és komorbiditásokkal rendelkező csoport adatai jól alkalmazhatóak az idősebb polgári

repülésben dolgozók körében várható rizikók becsléséhez. Az idézett szakirodalmak között szerepel kifejezetten fiatal és egészséges egyének körében végzett (átlag életkor 30 év, 70% ismert alapbetegségek nélkül) kérdőíves felmérés is 278 fő bevonásával [7], amely alapján az egészséges fiatal populáció körében 72.8%-ban alakult ki fertőzést követően kifejezett fáradtság, itt a fiatal populációban is egyértelmű összefüggés mutatkozott a már meglévő betegségek és a covid fertőzés okozta megbetegedés súlyossága között, akárcsak az idősebb populációban, így tehát elmondható, hogy a fiatalabb egészségesebb csoportba tartozó covid fertőzésen átesett egyéneknél is nagyon magas százalékban alakul ki fáradtság és az esetleg meglévő komorbiditás fokozott rizikót jelent a várható tünetek és a betegség súlyossága szempontjából. A poszt-covid tünetek között az egyéb publikációkban szereplő 60-70%-os átlagnál is magasabb arányban volt jelen a fáradtság, mindezek mellett a fiatalok többsége, 90%-a jelzett vissza egyszerre több poszt-covid tünetet is, melyek között a fáradtság vezető szerepét követően a leggyakoribbak a nyugtalanság (38%), mellkasi panaszok megjelenése (29%), depresszió (28,6%), légzési nehézségek (28,2%) mellett az újkeletű diabetes diagnózis (2,4%). A myocarditises szövödmények mellett az újkeletű diabetes diagnózist poszt-covid időszakban a saját katonai alkalmasságvizsgálati adatainkban is láttuk előfordulni, szerencsére leggyakrabban átmeneti időszakra jelent meg a diabetes, kezeléssel kb 1 év időtartam alatt rendeződött, tehát elmondható, hogy az újkeletű diabetes a fiatalok körében a long-covid szindróma része lehet. Hasonlóan láttuk saját katonai alkalmasságvizsgálati eredményeinkben a poszt-covid időszakban az újkeletű hipertónia diagnózisát, valamint a szorongásos panaszok megjelenését, melyek a poszt-covid diabeteszhez hasonlóan jellemzően 1 év alatt rendeződtek. A közlemény ezen tapasztalatok alapján a fiatalok körében is javasolja a poszt-covid tünetek hosszútávú nyomonkövetését. Ezek a fiatalabb, viszonylag egészséges egyénekre vonatkozó megfigyelések jól megfeleltethetők a szorosabb egészségügyi szűrésekre kötelezett és általában fiatalabb átlagéletkorú katonai pilótákra és repülésben dolgozókra, valamint a fiatalabb polgári repülésben dolgozókra is, mindkét csoportban felhívva a figyelmet arra, hogy a poszt-covid fáradtság még erőteljesebben jelenik meg a fiatalok körében és hogy számítani kell újkeletű megbetegedések megjelenésére, amik ugyan várhatóan kb. 1 év alatt rendeződnek, de addig is ki kell tudni szűrni a betegséget és megtenni a szükséges lépéseket a kezelés irányába az esetleges komplikációk (hipertrophias cardiomyopathia, stroke, diabetses célszervi károsodások pl a látásban, vesefunkcióban, perifériás idegek működésében stb) és

későbbi szövődmények megelőzése érdekében. Szükséges tehát a poszt-covidos pilóták, repülésben dolgozók szorosabb repülőorvosi nyomonkövetése nem csupán az idősebb, hanem a fiatalabb, egészségesebb populációban is.

3. Egyes szerzők maguk vetik fel kritikaként, hogy **a feldolgozott adatok „elfogult” szelekció alapulhatnak** [8], az összesített eredményeket torzíthatja a saját kritériumok mentén ki- vagy beválogatott betegek csoportja, mert nem minden esetben az összes beteg létszámára van kivetítve az eredmény. Ezeknek a kritizált irodalmakban jellemzően technikai okai lehettek, kizárásra kerültek olyan betegek, akik nem kooperáltak, vagy bár elkezdtek, de nem fejezték be a vizsgálati kérdőíveket, nem állt rendelkezésre megfelelő eszköz- vagy a kellő eszköz és rendszerismerete az elektronikus kérdőívek kitöltéséhez, vagy a páciens demenciája olyan fokot ért el, hogy nem volt érdemben várható a kérdőív valóságnak megfelelő kitöltése, esetleg a páciens elhalálozott a vizsgálati időszak alatt. Ez ellen a kritika ellen szól továbbá az is, hogy a későbbiekben megjelenő nagyobb elemszámmal végrehajtott vizsgálatok nagyságrendileg ugyanazokat az eredményeket publikálták, mint ezek a kisebb létszámú és „elfogult” szelekcióval vádolható publikációk (lsd. 1. táblázat).
4. Klinikai szempontból kritikaként vethető fel ezen korai publikációk tekintetében, hogy **a szerzők többsége szubjektív megítélésen alapuló kérdőíves módszerekkel mérte fel a poszt-covid panaszokat**, viszonylag kevés tanulmány végzett el, vagy vett figyelembe klinikai tesztek a fizikai terhelhetőség megítélésére (légzésfunkciós vizsgálatok, 6 perces gyaloglás teszt szaturáció méréssel, képalkotó diagnosztika, tényleges demencia és reakcióidőt, információ feldolgozó képességet mérő tesztek) [19]. Azon tanulmányok, amelyek klinikai méréseken is alapultak, a páciensek közel összesénél (99%) már abban az állapotban kerültek végrehajtásra, amikor a tüdőparenchima érintettsége képalkotó vizsgálatokkal már nem volt kimutatható, elméletileg a légzési kapacitás regenerálódott, mégis, a páciensek jelentős részénél (22%) volt kimutatható még mindig a csökkent fizikai teljesítőképesség, rosszabb eredményt mutatott a 6 perces gyaloglási teszt, emellett a páciensek 16%-ánál volt mérhető a deszaturáció<sup>6</sup>, a vizsgálati tesztek a betegek nem kevesebb, mint 36%-ánál mutattak ki mentális, vagy kognitív funkciózavarokat, a szubjektív megítélésen alapuló kérdőíveken a résztvevők 69%-a jelzett fáradtságot és 65%-uk esetében volt észlelhető a funkcionális képességek csökkenése.

---

<sup>6</sup> A vizsgálatban deszaturációnak definiálták a minimum 4%-al romló perifériás szaturációs szintet

A covid-19 fertőzés tüneteinek prevalenciáját és időbeni lefolyását, valamint a kialakuló poszt-covid szövődményeket figyelemmel kísérő publikációk a járvány kezdete óta eltelt időben egyre hosszabb periódusokban tudták nyomonkövetni a panaszok alakulását. Az újabb tanulmányok már nem a kezdeti publikációkra jellemző 3-6 hónapos poszt-covid és long covid panaszokkal számolnak, hanem jellemzően 6-9- sőt 12 hónapig fennálló panaszokról számolnak be és legújabban már a 12 hónapot meghaladó periódusban vizsgálják a long-covid panaszokat. Egy 2022-ben megjelent nagy esetszámmal dolgozó tanulmány 12.000 18-65 év közötti (átlag életkor 44.1 év) covid fertőzésen átesett páciens adatait elemzi ki keresztmetszeti tanulmányban a fertőzést követő 6-12 hónapban [16]. A tanulmány adatai átlagosan 8.5 hónappal a covid fertőzés utáni long-covid időszakban vizsgálta a tüneteket, az adatok alapján a vizsgált esetek 28.5%-ában alakult ki poszt-covid vagy long-covid szindróma. Ilyen hosszú idő elteltével, átlagosan 8.5 hónappal a fertőzést követően is még mindig kimutatható a poszt-covid krónikus fáradtság a válaszadók 37.2%-ában, 31.3%-ban van még jelen koncentrációs probléma (brain fog), és 21.1%-ban maradnak fenn pszichológiai problémák. Azaz nagyjából minden 3. covid fertőzésen átesett embernél számolni kell a fáradtság és a koncentrációs zavarok okozta humán faktor hibaforrással akár 8.5 hónappal a fertőzés után is. Ez a repülésbiztonság szempontjából igen nagy kockázatúvá teszi a poszt-covid és long-covid szindrómát.

Kifejezetten a long-covid szindróma előfordulását kutatta egy 2023. második felében megjelent tanulmány [25], amelyben a szerzők 22 országból 1.2 millió ember egészségügyi adatait feldolgozva 54 tanulmány áttekintésével adtak képet a korábbi publikációkból hiányzó, többségében középkorú, kórházi kezelést nem igénylő enyhe lefolyású covid fertőzésen átesett betegek körében kialakuló long-covid (a fertőzést követő 12 hétnél tovább fennálló poszt-covid panaszok) szindrómáról. A tanulmány döntően a 36-50 év közötti korosztály körében előfordult enyhe- vagy közepes lefolyású, de kórházi kezelést nem igénylő, valamint súlyosabb lefolyású kórházi kezelést igénylő betegek adatait tekintette át, és azt találta, hogy az enyhe, vagy közepesen súlyos covid fertőzésen átesett páciensek körében átlagosan 10%-ban alakul ki long-covid szindróma, bár megemlíti a tanulmány, hogy ez egy moderált becslés, figyelembe véve, hogy sok eset dokumentálatlan maradhat. Összeségében az enyhe, kórházi kezelést nem igénylő esetek 10-30%-ánál, míg a súlyosabb lefolyású, kórházi kezelést igénylő esetek 50-70%-ánál alakul ki long-covid szindróma. A páciensek körében a koncentrációs problémák (brain fog) az esetek 10-30%-ában fordulnak elő és átlagosan 4 hónapig állnak fenn. Ezzel szemben a pszichológiai problémák jellemzően a súlyosabb, kórházi kezelést igénylő esetek

50-70%-ában alakulnak ki és azt követően 9 hónapig is fennállnak. A tanulmány a neurológiai tünetek kapcsán megemlíti, hogy azok gyakran jelentkeznek a fertőzést követően csak később, jellemzően 1 hónappal a fertőzés után és minél fiatalabb a páciens annál később jelentkezhetnek ezek a neurológiai problémák. A poszt-covid neurológiai problémák jellemzően idővel nem enyhülnek, hanem fokozódnak és sokáig fennmaradnak. Ez ismét felhívja a figyelmet a fiatalabb hajózók körében is szükséges nyomonkövetésre. Mivel ekkorra már elkezdődött és széleskörben végrehajtásra került a covid-elleni vakcináció, ez a tanulmány már vizsgálta a covid elleni oltások hatását is a poszt-covid és long-covid szindrómák előfordulási gyakoriságára és azt találta, hogy az oltottak között is 10-12%-ban alakul ki long-covid szindróma, nincs tehát jelentős különbség az oltott és az oltatlan állomány körében kialakuló long-covid szindróma prevalenciájában, ami megkérdőjelezheti az oltások hatékonyságát, azonban kétségtelen tény, hogy a vakcinák bevezetését követően jelentősen csökkent a súlyos, kórházi ellátásra és/vagy intenzív oxigénterápiára szoruló betegek száma, ezzel csökkent az egészségügyi ellátórendszerre nehezedő nyomás is.

Hivatkozott tanulmány	Fáradtság preval.	Koncentrációs problémák preval.	Pszichológiai problémák preval.	Dyspnea preval.
Postdischarge symptoms and rehabilitation needs in survivors of Covid-19 infection, a cross-sectional evaluation S J Halpin, et al (2020) 100 hospitalizált beteg 4-8 héttel a covid fertőzés után	60-70%	n/a	25-45%	40-60%
Assessment and characterisation of poszt-covid-19 manifestations, Marwa Kamal et al., (2020) <u>278 fiatal, relatív egészséges páciens</u>	72,8%	28,6%	28,6%	28,2%
Long COVID and Post-infective Fatigue Syndrome: A Review, Carolina X. Sandler et al, (2021) 115 2021 januárig megjelent publikáció meta analízise	átlag: 46 % 4-7.hét:50 % 8-11.hét:53 % 12-15.hét: 40% 16-20.hét: 28% 28. hét után: 34%	Hasonló, kicsit alacsonyabb %	n/a	Hasonló, kicsit alacsonyabb %
Comprehensive health assessment three months after recovery from acute COVID-19 Bram van den Borst et al. (2021) <u>3 hónap utáni poszt-covid tünetek, 124 beteg</u>	69%	36%	30%	22 %
Post-acute sequelae of covid-19 six to 12 months after infection: population based study (Raphael S Peter et al, (2022) 6-12 hónappal a covid fertőzés után, kb. 12.000 páciens keresztmetszeti tanulmány, átlag 44,1 éves kor, átlag 8,5 hónappal a covid <u>infekció után</u>	37,2%	31,3%	21,1 %	30,2 %

Hivatkozott tanulmány	Fáradtság preval.	Koncentrációs problémák preval.	Pszichológiai problémák preval.	Dyspnea preval.
Davis HE, et al. Long COVID: major findings, mechanisms and recommendations. Nat Rev Microbiol. 2023	32%	Átlag: 22% 2 hónap után 16% 12 hónap után 26%	n/a	n/a

**1. Táblázat: a covid fertőzés tüneteinek, valamint a poszt-covid és long-covid szindróma tüneteinek előfordulási gyakorisága (a nemzetközi szakirodalom alapján készítette a szerző)**

Az újabb publikációkban a rendkívül hosszú ideig fennálló poszt-covid panaszok mellett már az **ismétlődő covid fertőzések** okozta eltéréseket is vizsgálták. Mivel a pandémia a bevezetett járványügyi intézkedések és a széles körben végrehajtott oltások hatására 2023 végére jelentősen enyhült, így 2024-től fokozatos, de tendenciózus enyhítések voltak a korábban bevezetett járványügyi rendszabályokban. Bár ajánlás szintjén megmaradt, de már nem volt kötelező sem az egyéni, sem a kollektív védekezésben korábban bevezetett rendszabály. Nem volt kötelező az oltottsági státusz sem az utazásokhoz, sem egyes kiemelt munkakörökben, megszűntek a kötelező maszkviselési, távolságtartási szabályok és gyülekezési korlátozások. Ezzel együtt sajnos jelentősen csökkent a diagnosztizálási gyakoriság is, sem molekuláris biológiai (PCR) tesztet, sem gyorsesztesztet nem végeztek a betegellátó orvosok az influenza-szerű felsőlégtúti megbetegedéseknél, így az ismétlődő covid fertőzések incidenciája és valószínűsége egyre nagyobb a teljes populációra nézve.

A szakirodalomban az újrafertőződés tényét leggyakrabban az előző covid fertőzést követő minimum 90 nap elteltével jelentkező újabb covid fertőzésként definiálják.

Már 2022 végén publikáltak egy tanulmányt több, mint 400.000 fő covid fertőzésen átesett páciens adatainak elemzésével [26], akik közül kb 10% kétszer, vagy többször is átesett ismételt covid fertőzésen. Összehasonlításként pedig egy kb 5 millió fős, covid fertőzésen át nem esett csoportot vettek figyelembe. Az eredmények alapján az ismétlődő covid fertőzésen átesetteknek körében a halálozási arány kb. a duplája, a súlyos kórházi kezelést igénylő megbetegedés kialakulásának valószínűsége kb. háromszorosa. Megdöbbentő eredményként leírják, hogy ezek a halálozási és súlyossági mutatók függetlenek voltak az oltottsági állapottól. Azt is leírja a tanulmány, hogy a szövődmények gyakorisága és súlyossága egyenes arányban áll az ismétlődő fertőzések számával, azaz minél többször esik át valaki a covid-19 fertőzésen

„annál súlyosabb szövődmények várhatóak. Ennek a tanulmánynak kritikájaként említhető, hogy az Amerikai Veteránok Szövetségének egészségügyi adatbázisát használták, tehát alapvetően magasabb átlag életkorral és meglévő társbetegségekkel rendelkező- összeségében véve magasabb rizikójú covid betegek adatait elemezték, de mindezek ellenére az eredmények egyértelműen igazolják a tendenciát, hogy ismétlődő fertőzéseknél nagyobb lehet a halálozás és a tünetek súlyossága- valamint a szövődmények súlyossága is- amit saját kutatásomnál az idősebb korosztályra, jellemzően az idősödő polgári repülésben dolgozókra jól lehet alkalmazni.

Ezzel a tanulmánnyal szemben eltérő eredményt mutatott egy 2024-es hasonlóan idősebb, 65 év feletti életkorú populáción végzett kutatás (31.899 fő adatainak retrospektív elemzésével), amiben az egyetlen covid fertőzésen átesett páciensek adatait hasonlították össze az ismételt covid fertőzésen átesett betegek adataival. Ez a tanulmány nem mutatott ki szignifikáns különbséget a betegségek klinikai kimenetelében az első és az ismételt fertőzésen átesett idősök körében [29].

Egy nem csupán idősekre, hanem teljes nemzeti adatbázisra kiterjedő brit tanulmány [30] az első és az ismételt covid fertőzések klinikai kimenetelét vizsgálva azt találta, hogy az ismételt fertőzéseknél jelentősen (61%-al) kevesebb a fertőzést követő 28 napon belüli halálozási arány és az ismételt covid fertőzéseknél kevesebb a súlyos, intenzív ellátást igénylő esetek száma is, kb. 76%-ra csökkent az első fertőzésre jellemző prevalenciához képest. Ez alapján az átlagpopulációban az ismételt covid fertőzések esetében enyhébb kórlefordulás várható.

Egy másik összefoglaló az ismétlődő covid fertőzéseknél várható tünetekre és poszt-covid vagy long-covid szindróma súlyosságára vonatkozóan vizsgálta általánosságban a nem idősebb korosztály körében várható tüneteket is [27]. Ez a tanulmány leírja, hogy bár az ismétlődő covid fertőzéseknél gyakran lehetnek enyhébbek az akut tünetek, de egyre nagyobb a valószínűsége a long-covid szindróma kialakulásának. Különösen igaz ez az új és újabb vírus variánsok megjelenésével, amik a korábbi fertőzések kapcsán kialakult immunitás lévén enyhébb akut tüneteket okozhatnak, ám a poszt-covid és long-covid tünetek minden újrafertőződéskor fellángolhatnak, még hozzá akár a nélkül is, hogy magát az újrafertőződést diagnosztizálnánk, vagy észrevennénk az enyhe lefordulás miatt. Több szakértő véleményét figyelembe véve megemlíti a cikk, hogy az ismétlődő covid fertőzések miatt egyre gyakrabban kialakuló long-covid panaszok egymásutánjai így végül akár az első fertőződéstől számított évekig is okozhatnak folyamatosan long-covid panaszokat (az újrafertőződésektől függően

hullámzó intenzitással, itt figyelembe véve a jelentősen lecsökkent egyéni és kollektív védekezési szinteket és az egyre gyengülő diagnosztizálási hajlandóságot valamint az ismétlődő fertőzéseknel esetleg jóval enyhébben jelentkező tünetek miatti betegség-tudatosság hiányát, ennek esélyét és ezzel a repülésbiztonsági rizikóját igen magasra lehet becsülni- a szerkesztő kiegészítése a szakirodalomhoz).

Ezek az ismétlődő covid fertőzésekre vonatkozó megfigyelések ismét fokozottan fókuszba helyezik a poszt-covid és long-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatait, mivel úgy jelentkezhetnek a repülésbiztonságot veszélyeztető tünetek, hogy annak veszélyeiről az illető nem is tud, hiszen a megbetegedést sem észlelte komolyabban, ám a poszt-covid fáradtság, koncentrációs zavar, memória zavarok és alvászavarok, valamint a terhelésre jelentkező szokatlan elgyengülés (PEM) könnyen okozhatják nála a humán faktor hiba előfordulását munkavégzés közben. Ez esetben hiába alakítunk ki kellően alapos ismereteket a covid fertőzés és poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatairól az érintettek körében, mert ha nem tudatosul benne a fertőzés jelenléte, akkor nem is tud odafigyelni sem a veszélyeztető jelekre, sem azok megelőzésére. Ezen a ponton válik igazán fontossá egy objektív mérési módszer kidolgozása, amely képes valós időben monitorizálni az emberi teljesítőképességet a fáradtság szintjének objektív mérésével és visszajelzést, vagy akár riasztást kiadni a felhasználó felé amikor a teljesítőképességében olyan csökkenés jelentkezik, ami már nagyban fokozza a humán faktor hiba bekövetkezésének veszélyét- függetlenül attól, hogy az illető valójában poszt-covid szindrómában szenved-e és tudatában van-e a kórkép jelenlétének.

Al-Aly Z. és munkatársai több tanulmányt is megjelentettek a long-covid fertőzés előfordulásáról és a jellemző tünetek prevalenciájáról, egyike ezeknek az a 2022-es tanulmány, amely az Amerikai Veterán Szövetség közel fél millió páciensének egészségügyi adatai alapján megállapította az ismételt fertőzéseknél jelentkező kétszeres halálozási rátát és a súlyosabb lefolyású betegségek kialakulásának háromszoros valószínűségét, valamint az ismétlődő fertőzések számával egyre súlyosbodó long-covid tüneteket is [26]. Al-Aly és munkatársai 2024-es összefoglaló publikációjukban [28] a long-covid szindróma globális előfordulását kb 400 millió páciensben jelöli meg, aminek kezelése az éves globális költségvetésnek kb 1%-át veszi igénybe. Megfogalmazásában a long-covid szindróma egy olyan komplex, multiszisztémás betegség, ami majdnem minden szervet érinthet és nagyon komoly korlátozottságokat okozhat. A betegség kialakulásának hátterében mára számos mechanizmust írtak le, többek között a vírus tartós jelenlétét, az immunológiai funkciók zavarát, a gyulladással rendszerek hiperreaktivitását, komplement rendszer diszregulációt, endotheliális gyulladást, a

mikrobiom zavarát, illetve a fáradtság egyik lehetséges okaként a mitokondriális diszfunkciót. Azt is megemlíti, hogy egyelőre még hiányzik egy globális kutatási és kezelési stratégia a long-covid szindróma optimális kezeléséhez [28].

Az ismétlődő covid fertőzések tüneteinek jellemzőit és a long-covid szindróma kialakulásával való kapcsolatukat a 2. sz táblázatban foglaltam össze.

Hivatkozott forrás	Ismételt fertőzés jellemzői			Long-covid szindr. kialakulásának esélye
Bowe B. Et al.: Acute and postacute sequelae associated with SARS-CoV-2 reinfection. (2022) Amerikai Veterán Szövetség idősebb betegeinek adatait feldolgozva)	Tünetek rosszabbodtak minden ismétlődéssel	Halálozási arány duplázódik	Súlyos, hospitalizációt igénylő lefolyás: 3-szoros valószínűség	Minden ismétlődésénél rosszabb long-covid tünetek jelenteztek
Mensah, Anna A. et al.: Disease severity during SARS-COV-2 reinfection: a nationwide study (2022)	Kórházi ellátást igénylő súlyosabb esetek előfordulása 49%-al kevesebb	Halálozási arány 61%-al kisebb	Intenzív ellátást igénylő kritikus esetek előfordulása 76%-al csökkent	n/a
Davis HE, et al.: Long COVID: major findings, mechanisms and recommendations. (2023)	Ismételt fertőzés tünetmentes 41.77%	Ismételt fertőzés enyhe tünetekkel 51.83%	Ismételt fertőzés súlyos tünetekkel 0.58%	n/a
Al-Aly, Z., Davis, H., McCorkell, L. Et al. Long COVID science, research and policy. (2024).	A különböző vírus variánsok eltérő long-covid rizikót jelenthetnek.	Az újrafertőződés egyértelműen növeli a long-covid kialakulását	Az újrafertőződés felerősítheti az előző long-covid panaszokat	A teljes felnőtt lakosság 6-7%-a lehet érintett, kevesek gyógyulnak meg 1 éven belül, még 2 éven belül is csak kb. 7-10% teljes gyógyulás várható

**2. Táblázat: a SARS-cov2 vírussal történő első- és az újrafertőzések esetén jelentkező tünetek összehasonlítása (a szakirodalmi adatok alapján készítette a szerző)**

## 2. A fáradtság repülésbiztonsági jelentősége és a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági aspektusai

### 2.1. A humán faktor hibák szerepe a repülésbiztonságban

A repülési iparág egy nagy megbízhatóságú, biztonságkritikus rendszerként működik, amely a személyzet csúcs fizikai és kognitív teljesítményére támaszkodik. Egy ilyen komplex és multifaktoriális rendszerben az összehangolt működéshez minden tényező maximális

teljesítőképességére szükség van. Mind az ideális munkahelyi környezet, mind a gép (repülőgép, vagy munkaeszköz) optimális működése, mind pedig a gépeket működtető ember (a humán faktor) megfelelő teljesítőképessége, koncentrációja szükséges a rendszer biztonságos üzemeltetéséhez. Ezt a folyamatosan változó, egymást kiegészítő, befolyásoló és támogató egyensúlyi rendszert nevezük az ember-gép-környezet ekvilibriumának, más kifejezéssel élve Humán Rendszer Integrációnak (Human System Integrations- HSI). Ebbe beletartozik a technika- a repülőgép maga, annak optimális működése, tökéletes műszaki állapota és veszélyhelyzeti rendszereinek megfelelő működőképessége, beletartozik a repülési környezet lehető legjobb kockázatértékelése, az időjárás, a műveleti és a személyi erőforrás feltételek alapos mérlegelése után meghozott döntések és nagyon nagy részben beletartoznak a repülésben szerepet vállaló emberek, és az ő munkavégzésre való alkalmasságuk. A katonai repülésben kiemelten fontos az akár ideiglenesen, akár tartósan nagy munka és stresszterhelés közben is megfelelő teljesítmény megtartására, sokszor akár hosszabb rövidebb monoton időszakot követő hirtelen nagy munkaterheléssel járó helyzetekben is (mint például egy készenléti szolgálat riasztása feladatvégrehajtásra az éjszaka közepén). Alaposan megvizsgálva ezt a 3 tényezőt, mindháromban kulcsszerepe van az embernek. Mind a gépek karbantartásában, mind a személyi állomány biztosításában, mind pedig a gépeket működtető emberek tekintetében kulcsszereplő maga az ember és annak teljesítőképessége, a humán faktor. Bármi, ami az ember teljesítőképességét, munkavégző képességét csökkentheti, az egyben humán faktor hibaforrás lehet a repülésben, tehát megfelelő repülésbiztonsági kockázatértékelést kell végezni és a lehető leghatékonyabb megelőzési módokat kutatni ezeknek a humán faktor hibaforrásoknak a megelőzésére a kockázatkezelés részeként.

Ahogy a bevezetőben is említettem, a humán faktor a repülésbiztonság régóta jól ismert rizikófaktor, a napjainkban jellemző automatizmus és mesterséges intelligencia megoldások ellenére is a repülésbiztonság legnagyobb kockázati tényezője [2]. A modern repülőtechnikák számos, a pilóta és a repülésirányító- valamint műszaki kiszolgáló személyzet munkáját támogató szoftver rendszerrel vannak felszerelve, azonban ezek egyúttal jelentősen meg is növelik az emberek számára a feldolgozandó információk mennyiségét, az emberi teljesítmény ilyenkor- különösen egy időköznyerben végrehajtandó feladat során- nagyban függ az egyén koncentrációs képességétől és fizikai valamint mentális állapotától. Nem csupán a repülés maga lett sokkal komplexebb, de a légiforgalom is jelentősen megnőtt és jóval összetettebb lett a repülés elmúlt évtizedeiben- még ha a covid-19 pandémia idején tapasztaltunk is átmenetileg szignifikáns csökkenést a légiforgalomban, ám az mára már teljesen visszaállt, sőt még

fokozódott is a pandémia előtti helyzethez képest. Ugyanígy a repülőgépek modernizálódása magával hozta a műszaki kiszolgálás jóval komplexebb rendszerét is, a számos új technológia karbantartása, javítása és folyamatos kiszolgálása jóval összetettebb folyamat, mint az egyszerűbb technikák idejében volt, az újabb rendszerek érzékenysége és összetettsége jóval nagyobb koncentrációt és odafigyelést igényel a kiszolgáló személyzettől. Egy-egy kicsi apró mulasztás vagy hiba is gyakran okozhat repülés közben vészhelyzetet. Minden technikai fejlődés ellenére napjainkban is igaz maradt Bleriot 1922-es megállapítása, hogy a repülésben nem a repülőgép maga a gyenge láncszem, hanem az ember, aki azt a repülőgépet irányítja [1]<sup>7</sup>. Ezért is kiemelten fontos napjaink aktuális kihívásait folyamatosan repülésbiztonsági szemszögből is megvizsgálni és keresni a kockázatcsökkentés lehetséges módjait.

**A humán faktor hibák leggyakrabban a koncentráció hiánya-, a fáradtság, a térbeli tudatosság (orientáció) hiánya, a figyelem zavara és a megemelkedett pszichés nyomás illetve stressz hatására következnek be [2], mely faktorok közül mind szerepel a covid-19 fertőzés során és az azt követően kialakuló és jellemzően hosszú ideig fennálló poszt-covid és long covid szindróma tünetei között [3,4,7,8,9,15,16,18,19,22,23,24,25], így a poszt-covid szindróma egyértelműen repülésbiztonsági rizikót jelenthet. Az elkövetett humán faktor hibák sokszor észrevétlenül maradnak, hiszen pontosan a figyelem és a tudatosság hiánya okozza a helyzeteket. Különösen igaz ez az ismétlődő covid fertőzéseknél, ahol a szakirodalmi adatok szerint maga az újbóli fertőződés enyhébb tünetekkel, vagy éppen tünetek nélkül folyhat le és még ha orvoshoz is fordul az illető a gyógyuláshoz szükséges egészségügyi szabadság érdekében sajnos az orvosok manapság már jellemzően nem végeznek diagnosztikai teszteket a covid-19 fertőzés tisztázása érdekében még tipikus tünetek esetében sem- így jelentősen növekszik az esély, hogy a páciens maga sem veszi észre az újbóli fertőzést és ebből kifolyólag nem is tudatosul benne a lehetséges poszt-covid szövődmény okozta humán faktor hibaforrás lehetősége.**

A repülésbiztonsági rendszerek (aviation safety management systems- ASMS) felismerve az emberi tényező okozta hibaforrás jelentőségét, kezdetektől fogva összetett biztonsági folyamatokban gondolkodnak, ahol a munkafolyamatok egymásra épülő rétegekben, szinteken segítik a lehetséges hibaforrások kiküszöbölését.

---

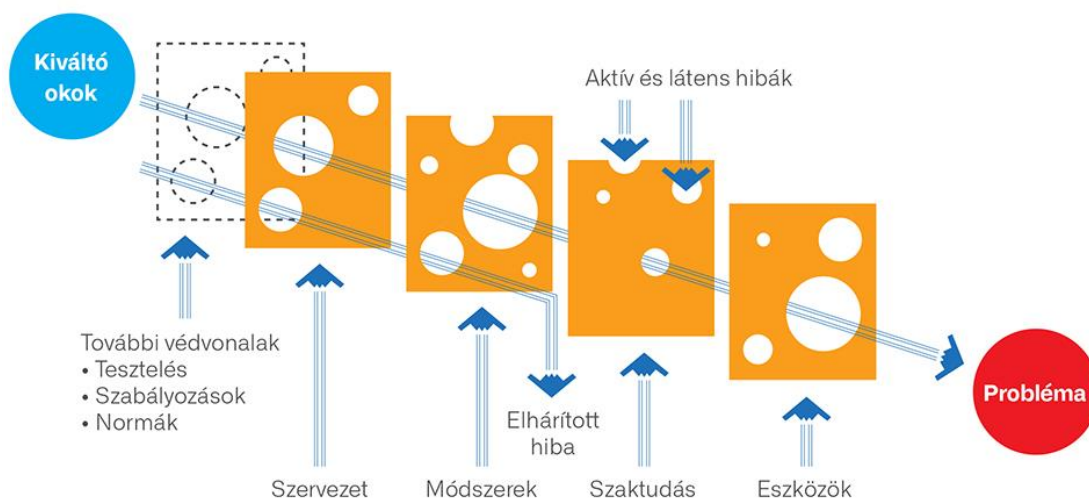
<sup>7</sup> Louise Bleriot francia pilóta és repülőmérnök szavai 1922-ből: " It is not the resistance of material which limits the aerobatic performance of the artificial bird, but the physiologic resistance of man, who is the brain of the artificial bird." "nem a repülőgép anyagának ellenállása az, ami limitálja a mesterséges madár aerobikus képességeit, hanem az ember élettani ellenállása az, aki a gép agya" (a szerző saját fordítása) [1.] Pg.1. paragraph 2.

### 2.1.1. Humán faktor hibák repülésbiztonsági modelljei

Többféle modell létezik a repülésbiztonságban a humán faktor hibáinak kiküszöbölésére [33], **közös bennük** az a megközelítés, hogy a leggyakoribb hiba oka az emberi tényezőtől ered, hibát többféle okból is el lehet követni, ám egy egyéni hiba nem feltétlen vezet incidenshez, vagy katasztrófához, amennyiben a komplex repülésbiztonsági rendszer többi eleme- mint másod, vagy harmad, vagy esetleg negyedleges védelmi vonal jól működik. Az ismert humán faktor modellek alapján az emberi tevékenységből származó hibaforrás (másnéven humán faktor hiba) számos okból következhet be. Még a legmodernebb, legjobban szervezett munkahelyeken is számolni kell ezekkel a lehetséges hibaforrásokkal, e miatt minden repüléssel foglalkozó szervezetnek kötelező repülésbiztonsági management rendszert működtetni. A bekövetkező hibák lehetnek egyéni hibák (pl. szabály nem ismerete, jártasság hiánya, figyelem zavara stb.), vagy szervezeti hibák, amikor a munkavégzés feltételei nem megfelelőek, vagy a munkaszervezés nem elfogadható (eljárásrendek hibái vagy hiánya, szolgálai beosztások, biztonsági rendszabályok betartatása stb.). Az emberi hibák legkomolyabb típusa a szándékos szabályszegés, illetve a meglévő érvényes eljárásrendek tudatos be nem tartása (rule breaking), ez azonban egyike a legritkább hibaforrásoknak, mivel a repülésben dolgozók mind tisztában vannak munkájuk kritikus minőségi követelményeivel és a hibáik lehetséges fatális következményeivel. Az esetek döntő többségében nem szándékos emberi hiba következik be. Ilyen nem szándékos, de elég gyakori hiba az egyébként jól megírt-jól alkalmazható eljárásrendek kivitelezésében elkövetett mulasztás, legtöbbször a jártasság hiánya, esetleg a szabály nem kellő ismerete, vagy az ismert szabály nem pontos betartása, vagy előfordulhat a szabályról való megfélekedés is (tudáshiányon alapuló hiba- knowledge based error). Ez az egyén hibája egy egyébként jól megszervezett munkakörnyezetben. Ugyanide a nem szándékos hibák közé tartozik az az eset is, amikor egy eljárásrend nem jól van megírva és a hiba a helytelen eljárásrend szabálykövető betartása miatt következik be (rossz szabályozás, vagy rule based error, szabályozás alapú hiba), ez utóbbi már nem egyéni, hanem szervezeti hibának minősül, hiszen a helyes és biztonságos szabályok megalkotása a szervezet feladata. A humán faktor hibaforrások közé tartozik számos szervezeti, környezeti tényező is (szervezeti hibák, organisational errors), például a szabályok kommunikációja, megismertetése a dolgozókkal, a feladatkörök egyértelmű és pontos tisztázása során elkövetett mulasztások, a munkakörnyezet, a munkafeltételek vagy éppen a munkaterhelés nem megfelelő szervezése, de szervezeti hibának számítanak a gazdasági környezet okán meghozott

munkavégzésnek nem kedvező döntések is (pl. létszámcsökkentés, meghosszabbított műszakok elrendelése, a biztonsági rendszerekre illetve biztonság tudatossági oktatásokra fordított költségvetés csökkentése).

A repülésbiztonsági rendszerek humán faktor modelljei közül az egyik legismertebb a **James Reason féle svájci sajt modell** (ld. 3. ábra), amely nagyon szemléletesen magyarázza a különböző egymásra épülő védelmi vonalak rendszerét a repülésbiztonságban, ez teszi lehetővé az egyes egyéni hibák felismerését és kiküszöbölését a többi védelmi vonal megfelelő működés esetén. A svájci sajt modellben az egyes szinteken (tevékenységi körökben) elkövetett hibákat a sajt szeleten lévő lukak jelképezik. Látható a modellen, hogy bármely szinten (bármely tevékenységi körben, ahol emberek dolgoznak) következhet be hiba, minden szeleten vannak/lehetnek lukak. Azonban az elkövetett hiba csak abban az igen ritka esetben vezet katasztrófához, ha minden védelmi vonalon ugyanazt a hibát elvétik- ha minden egyes sajt szeleten pontosan ugyanott van a luk. Ebből a modellből igen jól látszik a repülésbiztonság komplex rendszere, az egymásra épülő, egymással együttműködő feladatrendszerekben rejlő mind hibalehetőség, mind pedig ugyanennek a biztonsági, preventív lehetőségei is. James Reason humán faktor hiba modellje megkülönböztet aktív hibát (active failures), ami a frontvonalban dolgozók által elkövetett mulasztások (pl. pilóták, repülő-műszaki szakemberek, repülésirányítók stb. hibái), például eljárási hiba, rossz gomb megnyomása, egy check lista elem kihagyása stb. Ezek az aktív hibák hozzák mozgásba a repülésbiztonság komplex rendszerét, a különböző védvonalakat. Látens hibának (latent condition) nevezi azokat a hibaforrásokat, amik a menedzsment, a tervezés, a vezetés vagy az irányítás szintjén keletkeznek, pl. hibás eljárásrendek megalkotásával, vagy olyan munkabeosztás, munkaterhelés kialakításával, ami túlterheli a munkavállalókat, vagy akár a biztonsági rendszerek működtetésére fordított költségvetési források megnyirbálásával- amik közvetlen veszélyforrást nem feltétlenül jelentenek, de egy aktív hiba elkövetésében, vagy annak felismerésében és a további védvonalak hatástalanságában közrejátszanak, azaz a látens hibák hozzájárulnak az aktív hibák katasztrófává alakulásához. A látens hibák általában szervezeti szintű hibák (organisational error)- természetüknél fogva- sokáig rejtve maradhatnak, mígnem egy aktív hiba felszínre nem hozza a mögöttes, vagy hozzájáruló látens hibát.



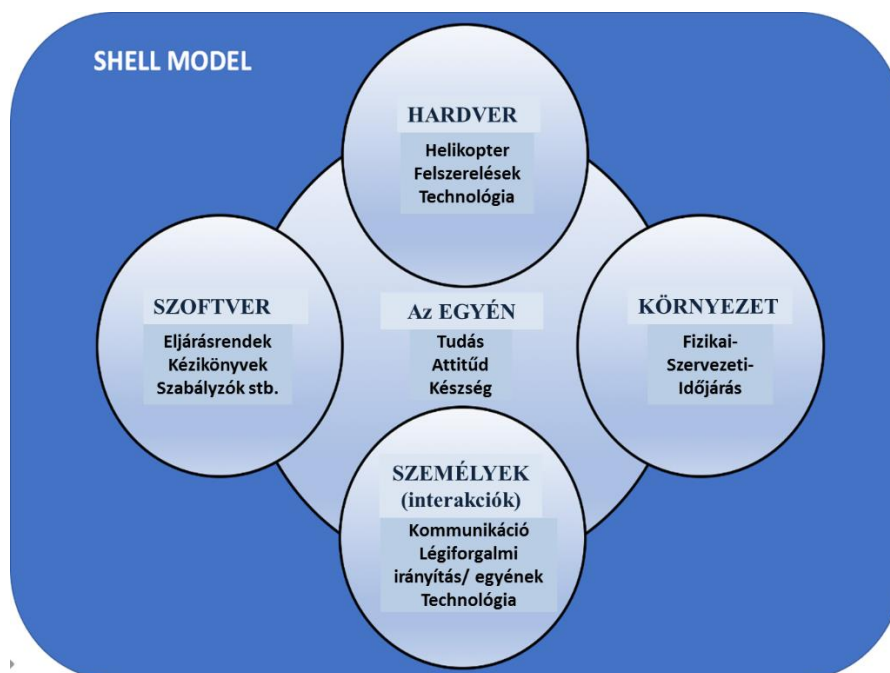
3. ábra. James Reason Svájci sajt modellje a repülésbiztonságról [34]

Igen kicsi a valószínűsége (de azért sajnos előfordulhat) hogy egy emberi hiba észrevétlen marad minden védelmi vonalon és katasztrófához vezet. A svájci sajt modell megérthető a következő példa alapján: tegyük fel, hogy egy éjszakai járaton váratlanul személyzetet kell cserélni (akár betegség miatt). A szervezet egy ifjú pilótát tesz a kiesett másodpilóta helyére, aki így hirtelen jött feladat elé néz, nem kellően gyakorlott azon az útvonalon és még a repülésben sincs túl sok gyakorlata ráadásul éjszakai járatról van szó, így nem tudott eleget pihenni előtte a tervezhetőség hiányában. Ez az ifjú titán a repülés előtti ellenőrzéskor elfeledkezik a check lista egyik pontjáról- például az egyik biztonsági rendszer (pl. a repülési azonosító és helyzetjelző rendszer) ellenőrzéséről. Ez akár katasztrófát is okozhatna amennyiben repülés közben (különös tekintettel az éjszakai feladatra) a biztonsági rendszer nem riaszt időben a veszélyhelyzet kialakulásakor és a pilóták nem tudnak kellő időben megfelelően reagálni a veszélyhelyzet elhárítására. A svájci sajt modell alapján az ifjú és gyakorlatlan másodpilótánk hibát követett el, azonban van a rendszerben számos másik védelmi vonal is. A repülésért felelős pilóta (pilot in command) ugyancsak részt vesz ennek a check listának az ellenőrzésében, együtt hajtják végre, tehát ez a pilóta észreveheti, hogy az ifjú másodpilóta kifelejtett egy lépést. Ha a másik pilóta sem veszi észre a hibát, akkor ez a második védvonal is elesett (a modell alapján ezt a pilótát képviselő második sajt szeleten is pontosan ugyanott van luk). További védvonal az eljárásrendekben az is, hogy manuálisan is jelölni kell minden tételt, amit ellenőriznek, tehát a hiányzó jelölés is figyelmeztetheti a személyzetet- bár előfordulhat, hogy ifjú másodpilótánk a rutin hiánya miatt a listán beikszelte a szóban forgó biztonsági rendszer ellenőrzését annak ellenére, hogy az valójában nem történt meg- ebben az esetben a manuális megerősítés a harmadik védelmi vonal- ami a mi példánkban

szintén „elesett”, ezen a sajtrétegen is pontosan ugyanott van luk. Felszállás előtt a személyzet bejelentkezik a repülésirányítóknak, akik szintén elvégzik a maguk ellenőrzési lépéseit és itt feltűnhet, hogy a repülőgép nem transzmittálja az elvárt azonosító jeleket és adatokat- ebben az esetben a torony rá fog kérdezni a hiba okára a pilótáknál és ki is küszöböli a humán faktor tévedést. A svájci sajt modell alapján ez esetben a negyedik védvonalat képviselő repülésirányítás már nem követte el ugyanazt a hibát, észlelte és megakadályozta a korábban 3 védelmi vonalon is túljutott humán faktor hiba miatt kialakuló veszélyhelyzetet és ezzel a lehetséges katasztrófát is. Egy nem túl valószínű esetben előfordulhat, hogy a kiindulási repülőtér irányító tornya sem veszi észre a repülési azonosítók és adatok hiányát- például a fokozott leterheltség miatt- azaz a negyedik védvonal is elesik, de az útvonal repülés közben a személyzetnek több alkalommal is be kell jelentkeznie a körzetileg illetékes repülésirányításhoz, akik biztosan észlelni fogják az irányításhoz szükséges adatok hiányát. Értelemszerűen minél később derül fény egy elkövetett hibára, annál nagyobb a veszélyhelyzet és esetleges katasztrófa kockázata, de amint a fenti példából is látszik, a Reason féle svájci sajt modell alapján számos védelmi vonal van, ami megakadályozhatja az elkövetett hiba katasztrófává fejlődését. Ennek kicsi a valószínűsége, de pontosan a covid-19 pandémia kapcsán tapasztaltuk meg a légiforgalom átalakulása miatt a kiképzett, gyakorlattal rendelkező szakemberek hiányát a légiközlekedés újraindulásakor, továbbá a poszt-covid szindróma tünetei jelentősen ronthatják a feladat ellátásában résztvevő személyek koncentrációs képességét, mentális és kognitív kapacitásait, a poszt-covid fáradtság- különösen ha a szintén gyakori poszt-covid alvászavar is társul hozzá, akkor jelentősen ronthatja az éjszakai repüléshez szükséges éberségi állapotot mind a hajózó személyzetnél, mind a repülésirányítóknál- vagy a repülőgép felkészítését végrehajtó műszaki szakembereknél. Poszt-covid szindróma esetén tehát egy emberi hiba előfordulásának valószínűsége is nagyobb- és a Reason féle svájci sajt modell többi védelmi vonalában bekövetkező hasonló hiba rizikója is jelentősen emelkedik.

A humán faktor hibák másik közismert modellje a **SHELL modell** (lsd. 4. ábra), ami a korábban említett ember-gép-környezet (HSI) dinamikus egyensúlyát tükrözi, megjelölve az 5 fő hibaforrás körét. Az emberi tényezőket és a rendszerkomponenseket- valamint ezek közötti interakciókat vizsgálja a humán faktor hibák hátterében. Jól érzékelteti ezeknek a moduloknak az egymásra való hatását, egymástól való függését, azaz a repülésbiztonság korábban is említett komplex voltát. A SHELL modell mozaikszó betűiből azonosíthatók a fő rendszerkomponensek, úgy mint a Software oldal (S): szabályok, eljárások, kézikönyvek,

check listák és ezekből származtatható hibák, a Hardware elemek (H): fizikai eszközök, a repülőgép, a kijelzők, monitorok és kezelőszervek és a belőlük eredeztethető hibák, a környezet oldal (Environment- E): a munkakörnyezet, időjárás, fizikai- szervezeti- társadalmi és ezek kapcsán kialakuló hibák, maga az élő ember (liveware- L, egyéni tudás, attitűd, készség), aki az adott környezetben feladatot hajt végre (pilóta, légiforgalmi irányító, repülőműszaki szakember stb.) és ennek hibái – a klasszikus humán faktor hibák-, valamint külön modulként említi a rendszerben dolgozó különböző emberek interakciójából származó hibaforrásokat (kommunikációs zavarok, csapatmunka hiánya stb) szintén élőerő- de más emberekkel való kapcsolat (Liveware- communication, technologies). A SHELL modell is kiemeli, hogy a balesetek gyakran nem egyéni hibából, hanem a különböző modulok, komponensek közötti megfelelő interakciók hiányából (mismatch) adódnak. A Reason féle svájci sajt modellnél említett példa a SHELL modell alapján a csereként belépő újonc másodpilóta egyéni Liveware- tudás és készség alapú hibájaként (tapasztalatlan, felkészületlen volt) értelmezhető, valamint a vezető pilóta (pilot in command) és a légiforgalmi irányítás emberek közötti interakció (szintén liveware, de kommunikáció, interakció modulban) és részben a környezet (Environment- az éjszakai repülési feladat kihívásai) hibájaként értelmezhető.



4.ábra. SHELL modell a repülésbiztonságban [35] (Software: működést biztosító programok; Hardware: maga az eszköz, az ember, aki dolgozik; Liveware: és akikkel dolgozik)

A SHELL modell tekintetében is számos helyen jelenthet megnövekedett hiba-kockázatot a poszt-covid szindróma; az egyéni készségek, attitűd szintjén kihívást jelenthet a poszt-covid

koncentrációs és memória zavarok (brain fog), ami egyébként meglévő rutin képességeket is akadályozhat, a poszt-covid fáradtság, alvászavarok és neuropszichológiai szövődmények (um. idegesség, depresszió, pánik zavarok) mind az egyéni- mind az egyének közötti interakciókat akadályozhatják (L és L modulok), a környezeti faktorok miatt előforduló hibákat pedig kiemelten veszélyeztetheti a jelentős és sokáig fennálló krónikus poszt-covid fáradékonyság és alvászavarok tünetegyüttese.

A következő- szintén jól ismert humán faktor hibaforrás modell a **Rasmussen nevéhez köthető SRK-modell**. Ez szintén mozaikszó, mely megmutatja a Rasmussen féle rendszer alapjait, melyben a hibákat készség-alapú (Skills), szabály-alapú (Rules) és tudás alapú (Knowledge) hibákra csoportosítja. Ez az 1983-ban megszületett modell a humán faktor hibaforrásokat a kognitív kontrol alapján a fenti 3 csoportba osztja az egyén tapasztalatai és az alapján, hogy mennyire van tisztában a feladattal. Készség alapú hibák jellemzően az automatizált munkafolyamatoknál jelentkehetnek, amiknél viszonylag kevés kognitív kontrollra van szükség (szalagmunka, alkatrész-összeállítási rutin feladatok stb.). Szabály alapú hibák közé tartoznak azok a tévesztések, amelyek a tisztán megfogalmazott eljárásrendek, szabályok előírásainak be nem tartásán alapulnak és végül tudás alapú hibának számít, amikor meglévő tudásunkat rosszul használjuk fel a feladat végrehajtásában egy ismeretlen, vagy nem szokványos helyzetben. Ez a modell főleg ember-gép (HSI) környezetben használható jól, de a repülésben is érvényes, a fejlődési folyamat során először a (saját) tudás alapú viselkedésből szabály alapú munkavégzés, majd idővel és a gyakorlat megszerzésével végül készség alapú feladatvégrehajtássá alakul.

### *2.2...A fáradtság szerepe a humán faktor hibák kialakulásában*

Komoly kihívás a **fáradtság tudományos igényű definiálása**, hiszen jelentős mértékben szubjektív megítélés alá esik. Repülésbiztonsági rizikóját pontosan ez a nagyfokú szubjektív megítélés emeli ki, mert különösen veszélyes az a hibaforrás, mint a fáradtság, aminek megítélésében (csupán) az egyén véleményére alapozunk. A katonai repülésben különösen jellemző a műveleti nyomás, a feladatoknak való megfelelési kényszer, de hasonló helyzet jellemezheti a polgári repülést is a légiforgalom növekedésekor, vagy a megfelelően képzett humán erőforrás hiánya esetén. Tovább ronthatja a fáradékonyságot a hosszabb-rövidebb ideig fennálló monoton munkakörnyezet, a fluktuáló feladatintenzitás, ami jellemző tényező például a légiforgalmi irányításban vagy a készenléti munkakörökben. Ilyen helyzetben a repülésben dolgozóknál a feladatorientáltság, vagy parancsuralmi rendszer akadályozhatja az egyén szubjektív fáradtság-megítélését, könnyen előfordulhat, hogy alulértékeli- vagy nem jelzi kellő

időben saját teljesítőképességének romlását, ezzel tudatosan, vagy akár öntudatlanul is humán faktor hibát követhet el (aktív hiba), amelyre legtöbb esetben nem is derül fény, mivel a fáradtság objektív mérésére nemigen van példa még napjainkban sem a különböző repülési szervezetknél (látens szervezeti hiba).

Az **ICAO definíció** szerint a fáradtság egy olyan mentális és/vagy fizikai teljesítőképesség romlás, ami alváshiány-, elhúzódó idejű ébrenlét-, felborult cirkadián ritmus-, és/vagy megemelkedett (mentális, vagy fizikai) munkaterhelés miatt alakul ki és leronthatja a személy éberségi állapotát valamint feladatainak biztonságos végrehajtási képességét [35]<sup>8</sup>. Ahogyan azt a poszt-covid szindróma szakirodalmi összefoglalójánál említettem, covid-19 fertőzés után a páciensek közel 70%-ánál alakul ki jelentős mértékű- fizikai vagy mentális teljesítőképességet befolyásoló fáradtság, amely fiatal egészséges egyéneknél is megjelenik és a tapasztalatok alapján nagyon hosszú ideig fennáll mind a poszt-covid, mind a long-covid időszakban az esetek kb 35-40%-ában, akár 8-12 hónapig is. Ez önmagában is igazolja a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági jelentőségét, de a kifejezett poszt-covid fáradtság mellett több olyan tünet is jelen lehet, ami a fáradtság ICAO szerinti definíciója alapján jelentős szerepet játszhat a fáradtság kialakulásában vagy fokozódásában, úgy mint az alvászavarok, a mentális és fizikai teljesítőképesség romlása, vagy az átlagos fizikai vagy mentális terhelésre megjelenő hirtelen kifejezett gyengeség (post-exertional malaise, PEM) a poszt-covid szindrómában.

A fáradtság repülésbiztonsági veszélyeit régóta ismerik, és jelentőségét az is igazolja, hogy **a repülésbiztonsággal foglalkozó nemzetközi szervezetek több olyan szabályzót és ajánlást is megfogalmaztak, ami a fáradtság veszélyeinek elkerülését célozza**<sup>9</sup>. Komplex fáradtság-management rendszer került kialakításra (Fatigue Risk Management System **FRMS**) [36, 37], amelynek betartására fokozottan kell figyelnie minden repülésben szereplő szervezetnek, mivel a fáradtság az egyik legismertebb, legkomolyabb humán faktor hibaforrás tényező. A Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (International Civil Aviation Organisation- ICAO) egy általános repülésbiztonsági fáradtság menedzsment ajánlásban és több- a repülési

---

<sup>8</sup> ICAO Doc9966 Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches, Glossary, pg 17., a szerző saját fordítása

<sup>9</sup> ICAO Doc9966 Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches, Fatigue Management Guide for Airline Operators, Fatigue Management Guide for General Aviation Operators of Large and Turbojet Aeroplanes, Fatigue Management Guide for Air Traffic Service Providers, Fatigue Management Guide for Helicopter Operators, IATA Fatigue Risk Management és Fatigue Risk Management Systems (FRMS) White Paper, Federal Aviation Administration Advisory Circular on Fatigue Risk Management Systems.

szektor különböző szereplőire specifikált ajánlásban is foglalkozik a fáradtság repülésbiztonsági jelentőségével [35]. A fáradtság repülésbiztonsági jelentősége tehát kiemelt kérdés- ám amikor ezek az útmutatók íródtak, akkor még nem volt ismert a poszt és long-covid szindróma okozta hosszan perzisztáló krónikus fáradékonyság veszélye, így erre érdemes külön is felhívni a figyelmet.

**A fáradtság szerepe a repülőgép-balesetekben** számos alkalommal volt közvetlen oki tényező és szinte minden más esetben hozzájáruló- vagy facilitáló tényező. A repülési technológia és biztonsági rendszerek figyelemre méltó fejlődése ellenére az emberi tényező továbbra is a legkritikusabb és gyakran leginkább sebezhető eleme a rendszernek. A teljesítményt rontó és hibához vezető különböző emberi tényezők között a fáradtság az egyik leginkább elterjedt és legveszélyesebb. A fáradtság egy másik megfogalmazásban értelmezhető úgy, mint a csökkent teljesítőképesség élettani állapota, amely olyan tényezőkből ered, mint az alváshiány, a hosszan tartó ébrenlét és a cirkadián zavar [38]. Ez az állapot jelentősen növeli a pilótahiba kockázatát, közvetlen fenyegetést jelentve a személyzet és az utasok biztonságára. A repülés működési valósága – kiszámíthatatlan munkaidő, hosszú szolgálati időszakok, gyakori időzóna-átlépések és magas munkaterhelés – különösen fogékonyra teszi a pilótákat erre a veszélyre. A fáradtság és a repülési balesetek közötti kapcsolat nem csupán elméleti, hanem jól dokumentált jelenség, amelyet évtizedek balesetvizsgálati jelentései és tudományos kutatások támasztanak alá.

A repülési balesetek statisztikai elemzése meggyőző bizonyítékot szolgáltat a fáradtság jelentős szerepéről. Míg a módszertanok és a pontos számok tanulmányonként eltérnek, következetes mintázat rajzolódik ki. Egyes konzervatív becslések szerint az összes polgári repülési incidens és baleset 4-7%-a tulajdonítható fáradt pilótáknak. Más átfogó áttekintések azonban sokkal nagyobb hatásra mutatnak, egy tanulmány szerint a fáradtság valószínű ok vagy hozzájáruló tényező volt a nagyobb polgári repülési balesetek megdöbbentő 21-23%-ában 2001 és 2012 között [38]. A Szövetségi Repülésügyi Hatóság (FAA) egy mérföldkö-tanulmánya, amely az 1978 és 1999 közötti időszakot ölelte fel, közvetlen korrelációt talált a parancsnok szolgálati ideje és a baleset valószínűsége között [39]. Az elemzés feltárta, hogy míg a 13 órát vagy annál tovább szolgálatban lévő pilóták az összes pilóta szolgálati idő mindössze 1%-át tették ki, az emberi tényezővel kapcsolatos balesetek 5,62%-ában érintettek voltak, ami több mint ötszörös túlreprezentációt jelent [39]. a 3. táblázatban látható néhány kiemelt repülőgép baleset, amelyben a kivizsgálás a fáradtságot közvetlen kiváltó okként (root cause) jelölte meg.

Járat	Év	Helyszín	Fáradtság szerepe
Colgan Air 3407	2009	Buffalo, USA	Mindkét pilóta elégtelen pihenése
Air India Express 812	2010	Mangalore, India	Parancsnok elalvása repülés közben
Korean Air 801	1997	Guam, USA	Parancsnok fáradtsága
American Airlines 1420	1999	Little Rock, USA	Személyzet fáradtsága, stressz
FlyDubai 981	2016	Rosztov, Oroszország	Személyzet fáradtsága

**3.táblázat: Jelentősebb repülőgép-balesetek, ahol a fáradtság hozzájáruló tényező volt (a szerző szerkesztése a balesetvizsgálati jelentések alapján)**

### 2.2.1. A Fáradtság Kockázatkezelési Rendszer (FRMS)

Ahogy az emberi fáradtság tudományos megértése alaposabbá vált, a repülési ipar egyre inkább felismerte a hagyományos, előíró Repülési Idő Korlátozási (Flight time limitation-FTL) szabályozások korlátait. Míg az FTL-ek szükséges biztonsági alapszintet biztosítanak a munkaidő abszolút korlátainak meghatározásával, eredendően mindenkire egyformán alkalmazható megoldást jelentenek. Nem veszik megfelelően figyelembe a fáradtságot okozó tényezők összetett kölcsönhatását, mint például a napszak, a kumulatív alváshiány, jet lag és a működési környezet specifikus jellege. Válaszul a Fáradtság Kockázatkezelési Rendszer (Fatigue Risk Management System, FRMS) koncepciója kifinomultabb, adat-vezérelt, teljesítmény-alapú megközelítésként jelent meg [51]. Az FRMS a fáradtsággal kapcsolatos biztonsági kockázatok folyamatos monitorozásának és kezelésének szisztematikus módszertana, amely lehetővé teszi az üzemeltetők számára, hogy eljárásaikat egyedi működési kontextusukhoz igazítsák, miközben fenntartják vagy akár növelik a biztonsági szinteket [40].

Az FRMS több alapelvre épül, amelyek megkülönböztetik az előíró szabályrendszerektől. Elsősorban adat-vezérelt megközelítés. Az FRMS a személyzet éberségével, alvási mintázataival, munkaterhelésével és működési teljesítményével kapcsolatos adatok folyamatos gyűjtésére és elemzésére támaszkodik [40,51]. Ezt az információt proaktívan használják a fáradtsággal kapcsolatos veszélyek azonosítására és az enyhítési stratégiák hatékonyságának monitorozására. Másodsorban, az FRMS tudományos alapokra épül. Beépíti az alvás, a cirkadián ritmusok és az emberi teljesítmény bevett tudományos elveit [51]. Például elismeri, hogy az alvás mennyisége és minősége elengedhetetlen a regenerálódáshoz, hogy a teljesítmény megjósolható módon változik a nap folyamán a cirkadián óra miatt, és hogy mind a magas, mind az alacsony munkaterhelés súlyosbíthatja a fáradtságot [51]. Biomatematikai modelleket

gyakran használnak az FRMS-en belül a fáradtsági szintek előrejelzésére a munka- és alvási ütemtervek alapján [51].

Az FRMS egyértelműen kiemeli a fáradtság jelentősége mellett az annak kialakulásában és fenntartásában közrejátszó faktorokat, például az alváshiányt, ami kialakulhat a minőségi pihentető alvást megakadályozó alvászavarok miatt. Továbbá figyelembe veszi az éberségi állapotot befolyásoló tényezőket, mint a koncentrációs zavarok és memóriazavarok, valamint a munkaterhelés és stressz-tűrőképesség változásait is. Ezek mentén a poszt-covid szindróma legjellemzőbb tünetei mind külön-külön és egyben is az FRMS kockázatértékelési és kezelési rendszer egy-egy komoly inputját jelentik, növelve a repülésbiztonsági kockázatokat. Szükséges és indokolt tehát a poszt-covid szindróma komplex repülésbiztonsági kockázatértékelése és a kockázatcsökkentés módjainak felkutatása.

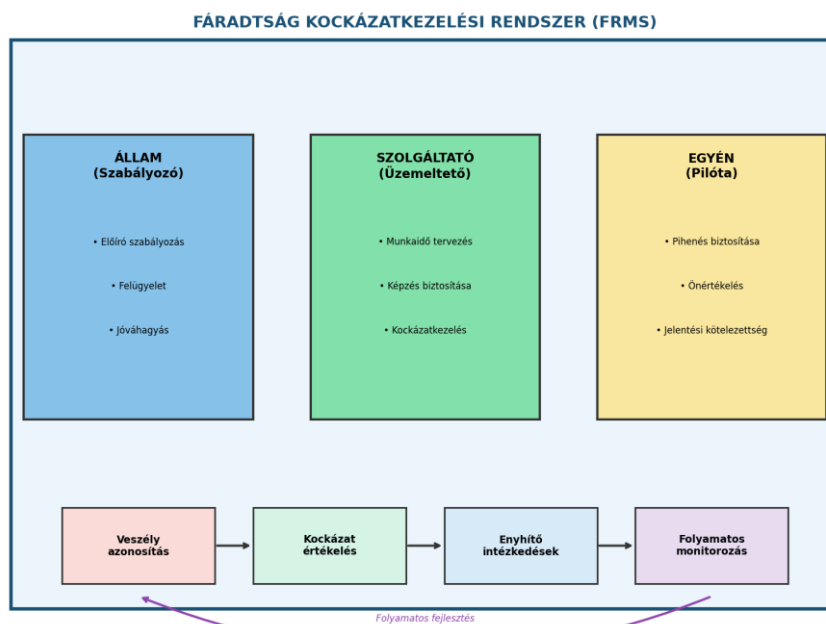
A fáradtság kiemelt repülésbiztonsági jelentőségét felismerve születtek **ajánlások (recommendations) és szabályozások is a fáradtság elkerülésére**. Az egyik lefontosabb nemzetközi fáradtság menedzsment dokumentum a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (International Civil Aviation Organisation- ICAO) kiadmánya.

Az **ICAO** az Egyesült Nemzetek Szervezetének (ENSZ) szakosított ügynöksége, a polgári repülés globális fórumaként szolgál [35]. Az ICAO mandátuma magában foglalja a Szabványok és Ajánlott Gyakorlatok (Standards and Recommended Practices, SARPs) fejlesztését, amelyek alapvető alapot biztosítanak a harmonizált globális repülésbiztonsági szabályozásokhoz. A tagállamok felelősek ezen SARPs-ok nemzeti jogi keretrendszerükbe való átültetéséért [35]. A pilóta alkalmasság kontextusában az ICAO iránymutatása különösen lényeges az **orvosi követelmények és a fáradtság kezelése** területén, mindkettőt a repülési műveletek biztonságának kritikus kockázataként ismeri el. A szervezet megközelítése sokrétű, az előíró szabályozások és a teljesítmény-alapú rendszerek kombinációját támogatva, tudományos elvekre és az állam, az üzemeltető és az egyén közötti megosztott felelősség filozófiájára épülve [41].

Az ICAO SARPs két elsődleges, mégis eltérő módszertant támogat a személyzet fáradtságával kapcsolatos kockázatok kezelésére [35,41]. Az első a **hagyományos előíró megközelítés**, amely megköveteli, hogy a légitársasági szolgáltatók a nemzeti szabályozó hatóságuk által meghatározott repülési és **szolgálati időkorlátozásokon** (Flight Time Limitations, FTL) belül működjenek [36,41]. Ezeket a korlátokat nem maga az ICAO határozza meg, hanem minden egyes állam egyedileg, ideális esetben kockázatértékelési folyamaton

keresztül [41]. E keretrendszeren belül a fáradtságot az üzemeltető meglévő Repülés Biztonsági Menedzsment Rendszerének (Aviation Safety Management System, **ASMS**) **ernyője alatt**, számos más biztonsági veszélyforrás egyikeként kezelik. Az előírt korlátok meghatározott határokként működnek, és az üzemeltető felelős a fáradtsággal kapcsolatos kockázatok kezeléséért ezen korlátokon belül [41]. Ez az egységes megközelítés azonban széles körben elfogadott vélemény alapján önmagában nem elegendő a biztonságos működés garantálásához, mivel nem feltétlenül veszi figyelembe a különböző típusú repülések specifikus működési komplexitását vagy élettani valóságát [37].

A tisztán előíró modell korlátainak kezelésére az **ICAO egy második, fejlettebb módszertant szorgalmazott**: a teljesítmény-alapú megközelítést, amelyet a Fáradtság Kockázatkezelési Rendszer (Fatigue Risk Management System, **FRMS**) testesít meg [35, 36,41]. Az FRMS-t az ICAO úgy definiálja, mint a fáradtsággal kapcsolatos biztonsági kockázatok folyamatos monitorozásának és kezelésének adat-vezérelt eszközét [37]. Ez a rendszer tudományos elvekre, működési tapasztalatokra és felhalmozott tudásra épül, azzal a végső céllal, hogy biztosítsa, hogy minden releváns személyzet megfelelő éberségi szinttel végezze feladatait [37]. Az FRMS lehetővé teszi, hogy az üzemeltető – állami szabályozója jóváhagyásával – túllépjen az előíró repülési idő korlátozások (FTL) merev korlátain, és fáradtság-kezelési stratégiáit a működése egyedi jellemzőihez igazítsa [41]. Ez magában foglalhatja a maximális szolgálati idők és minimális pihenőidők testesztését, amelyek eltérhetnek a szabványos előíró szabályoktól, egy kiterjedt adatgyűjtéssel és elemzéssel alátámasztott robusztus biztonsági elemzésre alapozva [41]. A komplex fáradtság kockázatkezelési rendszer (FRMS) elvi vázlatát az 5. ábra szemlélteti.



**5. ábra. Fáradság Kockázatkezelési Rendszer (FRMS) keretrendszer (A szerző szerkesztése az ICAO iránymutatások alapján)**

### 2.2.2. A repülésre való orvosi alkalmasság elbírálásnak nemzetközi rendszerei

Az **Európa Unió** (EU) területén belüli tagállamokra és repülésekre vonatkozó repülésbiztonsági keretrendszert, beleértve a fáradság okozta repülésbiztonsági kockázatok elkerülésével kapcsolatos szabályzókat az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége (European Union Aviation Safety Agency, **EASA**) adta ki, mely az Európai Unió repülésbiztonsági stratégiájának központi eleme. Küldetése a legmagasabb közös biztonsági és környezetvédelmi szabványok előmozdítása a **polgári repülésben**. Az EASA szabályozásai jogilag kötelező érvényűek mind a 31 tagállamban, harmonizált és egységes biztonsági környezetet teremtve [42]. A pilóta alkalmasság szempontjából a legkritikusabb szabályozásokat az 1178/2011/EU rendelet IV. melléklete (Part-MED) tartalmazza, amely meghatározza az összes pilótára vonatkozó orvosi tanúsítási követelményeket [42,43]. Ezeket a szabályozásokat a pilóta cselekvőképzetlenségének kockázatának kezelésére tervezték, biztosítva, hogy a személyzet tagjai szigorú fizikai és mentális alkalmassági követelményeknek feleljenek meg [42].

Az **EASA Part-MED** átfogó és egységes keretet biztosít a pilóták orvosi tanúsításához [42,44]. Az alapelv az, hogy bármely olyan egészségügyi állapotot korán fel kell ismerni és folyamatosan monitorozni, amely veszélyeztethetné a repülés biztonságát [42]. A szabályozás három elsődleges osztályú orvosi tanúsítványt határoz meg, mindegyik eltérő szabványokkal

és érvényességi időtartammal, a végzett repülés típusához igazítva. Az 1. osztályú orvosi tanúsítvány a kereskedelmi légi szállításban részt vevő pilóták számára szükséges, mint például azok, akik légitársasági szállítási pilóta engedéllyel (Airline Transport Pilot Licence- ATPL) vagy kereskedelmi pilóta engedéllyel (Commercial Pilot Licence- CPL) rendelkeznek, ők megélhetés-szerűen repülnek, akik pénzt kapnak azért, hogy másokat, vagy csomagokat repülőgéppel szállítsanak [42]. Ez a polgári repülésben a legszigorúbb orvosi szabványokkal rendelkezik, és a kezdeti vizsgálatokat speciális Repülőorvosi Központban (Aeromedical Centre, AeMC) kell elvégezni [42]. A 2. osztályú orvosi tanúsítvány magánpilóták (un. hobbipilóták, Private Pilot Licence- PPL tulajdonosok) számára szükséges, mérsékelt szigorú szabványokkal [42]. Végül az ultrakönnyű repülőgép pilóta engedély (Light Aircraft Pilot Licence- LAPL, olyan kisméretű, 2000kg össztömeg alatti repülőgépek, amikben maximálisan 4 fő tud utazni és az utazásért a pilóta nem kaphat pénzt) orvosi tanúsítványának követelményei a legkevésbé szigorúak [42].

Ezen tanúsítványok érvényességi időtartama életkorfüggő, tükrözve az orvosi felügyelet fokozott szükségességét a pilóták életkorának előrehaladtával [42,45]. Például az 1. osztályú tanúsítvány 12 hónapig érvényes a 40 év alatti pilóták számára egypilótás kereskedelmi műveletek esetén, de ez az időszak 6 hónapra csökken a 60 éves és idősebb pilóták számára [42]. Bizonyos betegségek megjelenésekor, amik még nem zárják ki a pilótát a repülésre való alkalmasságból, de már fokozott kockázatot jelenthet az egészségi állapota a repülés közbeni hirtelen cselekvőképtelenség kialakulásában, akkor működési korlátozások adhatók a repülőorvosi engedélyben, melyeknek célja a felmerülő kockázatok csökkentése (pl. csak másodpilótaként, vagy biztonsági pilótával, vagy csak többpilótás rendszerekben repülhet, vagy csak látáskorrekció használatával repülhet, esetleg az jogszabályban előírnál hamarabb kell kontroll-vizsgálatra mennie, vagy speciális kiegészítő orvosi vizsgálat szükséges a soron következő repülőorvosi minősítés során). Ez a többszintű rendszer biztosítja, hogy a magasabb kockázatú kereskedelmi műveletekben részt vevő pilóták gyakoribb és szigorúbb orvosi vizsgálatnak legyenek alávetve. A Part-MED részletes követelményeket határoz meg fiziológiai és pszichológiai területek széles skálájára, beleértve a kardiovaszkuláris, respiratorikus, neurológiai és mentális egészségügyi rendszereket [46]. Míg sok állapot, mint a jól kontrollált magas vérnyomás vagy a korrigált látásproblémák, repülésre alkalmasak lehetnek specifikus korlátozásokkal vagy működési megszorításokkal, mások, mint a kontrollálatlan cukorbetegség, az epilepszia vagy az aktív pszichózis, általában kizáró jellegűek [42].

Az **Egyesült Államokban** (United States of America, USA) a Szövetségi Repülésügyi Hatóság (Federal Aviation Administration, **FAA**) a nemzeti repülésügyi hatósága, amelynek elsődleges felelőssége a **polgári repülés** biztonsága. Az FAA szabályozásait a Szövetségi Szabályzatok Kódexének 14. címe (14 CFR) tartalmazza, és meghatározzák a repülőgépekre, repülőszemélyekre és üzemeltetőkre vonatkozó szabványokat is. Az FAA biztonsági rendszerének sarokköve az a követelmény, hogy a pilótáknak érvényes orvosi tanúsítvánnyal kell rendelkezniük, biztosítva, hogy fizikailag és mentálisan alkalmasak legyenek feladataik ellátására [47]. Az FAA kifejezetten elismeri a fáradságot, mint a repülés biztonságának súlyos veszélyét, és olyan szabályozásokat és iránymutatásokat hozott létre, amelyek mind orvosi, mind működési szempontból kezelik azt [70].

Az FAA előírja, hogy a legtöbb pilótának – kivéve a vitorlázó repülőgépeket vagy léghajókat üzemeltetőket – érvényes orvosi tanúsítvánnyal kell rendelkeznie a pilóta engedélye jogosultságainak gyakorlásához [48]. E tanúsítványok szabványait a 14 CFR 67. részben részletezik, és a kijelölt Repülőorvosi Szakértők (Aviation Medical Examiners, AME) hálózata adminisztrálja [48,49]. Az FAA többféle osztályú orvosi tanúsítványt bocsát ki, a megkövetelt osztály a repülési műveletek jellegétől függ. Az 1. osztályú orvosi tanúsítvány a légitársasági műveletekben parancsnokként szolgáló pilóták számára szükséges, ez a legszigorúbb szabványokkal és legrövidebb időtartammal rendelkezik, különösen az idősebb pilóták esetében [50]. A 2. osztályú orvosi tanúsítvány a légitársasági szállításban nem részt vevő kereskedelmi pilóták számára szükséges, mint például a vállalati vagy charter pilóták, valamint a légitársasági másodpilóták számára [50]. A 3. osztályú orvosi tanúsítvány a tanuló-, rekreációs és magánpilóták számára szükséges [50]. A hagyományos minősítési rendszer mellett az **FAA bevezette a BasicMed-et**, egy alternatív folyamatot, amely lehetővé teszi bizonyos pilóták számára, hogy FAA orvosi tanúsítvány nélkül repüljenek. A BasicMed jogosultsághoz a pilótának 2006. július 14. után orvosi tanúsítvánnyal kellett rendelkeznie, teljesítenie kell egy orvosi oktatási tanfolyamot, és fizikai vizsgálaton kell átesnie egy államilag engedélyezett orvosnál [50]. A BasicMed azonban jelentős működési korlátozásokkal jár, beleértve a repülőgép típusára, magasságra vonatkozó megszorításokat, és a díjazás vagy bérlet fejében történő repülés tilalmát [50]. Az FAA fenntartja a specifikusan kizáró orvosi állapotok listáját is, mint például a pszichózis, epilepszia, szívinfarktus és anyagfüggőség [48]. Az ilyen állapotokkal rendelkező pilótáktól általában megtagadják a tanúsítást, bár léteznek speciális kiadási vagy mentesítési lehetőségek, amelyek gyakran kiterjedt orvosi értékelést és a

repülőorvos jelenlétében végrehajtott gyakorlati repülési tesztet igényelnek az elfogadható biztonsági szint demonstrálásához (pl. végtaghiány esetén) [48].

#### 2.2.2.1. A polgári és a katonai repülőorvosi követelmények eltérései, a katonai hajózó állomány kedvezőbb egészségi állapota

**Magyarországon az állami célú légiforgalomban** szerepet betöltő személyekre a fentebb részletezett szabályozóknál sokkal **szigorúbb követelmények** vonatkoznak. Ennek oka a katonai repülésre jellemző specifikus környezet és fokozott terhelés, a szuperszónikus pilótáknál a nagy G terheléssel járó légi harc manőverek (HPA- High performance aerobatics), de önmagában a katonai repülést meghatározó feladatrendszer és szervezeti kultúra elvárásai is fokozott fizikai és pszichés terhelésnek teszik ki a katonai repülésben dolgozókat (pl. légtérvédelem, légi harc feladatok). Mindezek mellett a polgári repüléstől eltérően számos munkakörben jellemző a relatív monotónia hosszabb- rövidebb időszakokban, megszakítva hirtelen és egyenetlenül előforduló nagy intenzitású feladatokkal (készenléti szolgálatok), ami különösen érzékennyé teszi a katonai repülésben dolgozókat a monotónia és a fáradtság veszélyeire. A katonai repülés egészségi és pszichés követelményeit a 20/2021. (X. 6.) HM rendelet az állami célú légiközlekedési személyzet repülőegészségi alkalmasságának feltételeiről, valamint a repülőegészségi alkalmassági vizsgálatot végző szerv kijelölésének és tevékenységének szabályairól határozza meg [56]. Ez a követelményrendszer a repülés szempontjából magában foglalja a hajózókat, fedélzeten tevékenykedőket, a légiforgalmi irányítókat, a repülőgép műszaki kiszolgálásáért felelős személyeket, és ezek tanulóit is. Repülési szakszolgálati engedélyük repülőorvosi minősítéshez kötött, melyet a Magyar Honvédség saját repülőorvosi centruma, a MH Egészségügyi Központ Repülőorvosi Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet (továbbiakban RAVGYI) ad ki a feladatkörökben meghatározott időintervallumokban **széleskörű szakorvosi és repülésélettanban jártas pszichológiai vizsgálatok, valamint funkcionális diagnosztikai vizsgálatok** eredményeinek figyelembevételével a vizsgálatokat követően repülőorvosi vizsgáló bizottság összesített döntése alapján (a továbbiakban ROB vizsgálat). A speciális repülőorvosi funkcionális diagnosztikai vizsgálatok célja a szervezet tartalék kapacitásainak felmérése mégpedig nem nyugalmi helyzetben- hanem a valós repüléshez lehető legközelebb álló terhelési helyzetekben [24]. Ilyen funkcionális diagnosztikai módszerek közé tartozik a terheléses EKG kerékpár vagy futószalag ergometriával a szív érrendszer állóképességének és tartalék kapacitásainak felmérése, a billenőasztal próba a keringési reflexek intaktságának ellenőrzésére, a

túlnyomásos oxigén belélegzési teszt a jobb szívfél működési tartalékainak ellenőrzésére, a Bárnán féle forgószék, bizonyos esetekben a Hilov hinta a vesztibuláris rendszer érzékenységének vizsgálatára, és nem utolsósorban a nagy magasságra jellemző hipobarikus hipoxia hatásainak és a hipoxia tűrőképességnek az ellenőrzése a barokamrai vizsgálatok során. Ezek mellett speciális Funkcionális Repüléselettani és Neuro-pszichológiai vizsgálatok is történnek, többek között a reakcióidőt, memória képességeit, a monotónai tűrést és a komplex feladatok megoldásához szükséges kognitív feladatok végrehajtásának színvonalát vizsgálva.

Az állami célú repülésben az időszakos (kötelező) vizsgálatok között egyes egészségügyi problémák jelentkezése, vagy vészhelyzeti leszállás, katapultálás után úgynevezett soron kívüli ROB vizsgálat is kötelező, a ROB kötelesek egészségi és pszichés állapotát pedig folyamatosan nyomon követik a légi bázisain egészségügyi alapellátást és a folyamatos napi repülőorvosi kontrollt biztosító repüléselettanban jártas csapatorvosok és csapatpszichológusok. Ennek az egyedi és a polgári élettől jelentősen különböző, szigorúbb és szorosabb kontrollt jelentő repülőorvosi és pszichológusi hálózatnak, valamint a katonai repülés specifikus és fokozottan megterhelő követelményeihez igazodó repülőorvosi szabályzórendszernek és szigorúbb orvosi alkalmassági követelményeknek köszönhetően a katonai repülésben dolgozók a polgári repülésben dolgozóktól eltérő egészségi és pszichés állapotú populációnak tekinthetők. Míg a polgári repülésben sokkal enyhébb alkalmassági követelmények és sokkal megengedőbb korlát van, addig az állami célú légiközlekedésben szolgálóknak a katonai alkalmassági követelményeknek is meg kell felelniük a szigorúbb repülőorvosi előírások mellett. Ez utóbbi komoly fizikai állóképességet vár el a katonai szolgálathoz, az utóbbi pedig a szigorúbb követelmények miatt az alacsonyabb átlag életkor mellett alapvetően jobb egészségi állapotot feltételez. A katonai ROB köteles állományban is vannak már meglévő krónikus betegséggel gondozottak, azonban az ő esetükben jóval szorosabb egészségügyi kontroll és szigorúbb korlátozások vannak érvényben a repülés biztonságának megtartása érdekében.

Ezeknek a komplex, alapos vizsgálatoknak köszönhetően **a katonai repülésben dolgozók egy alaposan és gyakran szűrt, szigorú követelmények mentén engedélyezett- ennek folytán feltételezhetően egészségesebb és a katonai alkalmassági követelmények kapcsán fiatalabb populációnak vehetők.** Ezek mentén a nemzetközi covid szakirodalomban megfogalmazottak alapján kisebb kockázatú csoportnak számítanak, tekintve az alacsonyabb átlagéletkort és kevesebb alapbetegséget- azonban nem szabad megfeledkeznünk egyrészt arról a szakirodalomban ugyancsak leírt adatról, miszerint a repülésbiztonságot leginkább veszélyeztető poszt-covid tünet, a fáradtság, minden logikus elvárással ellentétben még

magasabb százalékban fordul elő a fiatalabb, viszonylag egészséges egyéneknél [7], és azt is figyelembe kell vennünk, hogy a társuló poszt-covid alvászavarok és koncentrációs problémák, a fizikai- vagy mentális terhelésre jelentkező poszt-covid hirtelen kifáradás (PEM) a fokozott fizikai és mentális terheléssel és a készenléti szolgálatok, 24 órás- vagy éjszakai szolgálatok miatt gyakoribb monotónia figyelembevételével a protektív faktorokkal ellenben komolyan fokozzák a munkavégzés során a humán faktor hibaforrás veszélyét a katonai populációban is poszt-covid szindrómában.

#### 2.2.2.2. Az életkor kitolódása a repülésben

A fejezet elején részleteztem a polgári repülőorvosi követelményrendszert, ami ugyan komplex keretrendszert ad az egészségügyi követelmények tekintetében főleg a kereskedelmi forgalomban dolgozó hajózókra vonatkozóan, de igen megengedő a saját kedvtelésből és nem megélhetésként repülő magánpilóták, hobbipilóták körében. Különösen enyhék a repülőorvosi követelmények a kisméretű LAPL kategóriában, amihez repülőorvosi szakszolgálati engedélyt nem csak a repülésélettanban jártas repülőorvosi vizsgáló orvosok (Aeromedical examiner AME), de repülőorvostani alapképzettség nélküli foglalkozás-egészségügyi (occupational health practitioner-OHP) és alapellátást végző háziorvos (General practitioner- GP) is adhatnak ki. Mivel a repülés fiatalon egy komoly sportág és extrém sport is lehet, mindezek mellett egy igazán különleges élmény, és idősebb korban sokan a repülésben ledolgozott hosszú évek után is szeretnének a repülésben maradni hobbipilótaként, így nagyon széles a páciensköre egy polgári repülőorvosi vizsgálóorvosnak. Az alkalmasság elbírálása sokszor a repülőorvosi vizsgálóorvos „6. érzékére” van bízva, ahogy a gyakorlottabb kollégák szokták mondani: amikor egy ember repülőorvosi engedélyéről gondolkodsz, tedd fel magadnak a kérdést, hogy Te repülnél-e ezzel a pilótával?

A pilóták, a légiforgalmi irányítók, a repülőmérnökök, repülőműszaki szakemberek mind olyan speciális szaktudást képviselnek, amit nehéz és hosszú idő alatt lehet megtanulni, és a repülőtechnikák folyamatos fejlődésével folyamatosan lépést kell tartani. Pilótának lenni mindenki vágyik valamikor legalább egyszer gyerekkorában, ennek ellenére csak nagyon kevesek kerülnek erre a pályára. Számos más speciális tudást igénylő szakmához hasonlóan, a repülésben is jellemző a humán erőforrás hiánya. A nagy munkaterhelés és a jövedelmek miatt nagy a fluktuáció, állandó az emberhiány ebben a szakágban is. Mind a kereskedelmi légiforgalomban, mind a magán/hobbipilóták között egyre nő az átlag életkor az emberhiány miatt. Folyamatos a nyomás a nemzetközi repülőorvosi közösségen a repülésre való alkalmasság felső korhatárának emelésére. Jelenleg ez a polgári repülésben 65 év, de számos

olyan kereskedelmi és oktató pilóta van, aki e felett is szeretne repülni, mert munkájára szükség van, nincs, aki tanítsa a fiatalokat. Bármilyen igaz is, hogy az idősödő, de még repülni vágyó pilóták, repülésben dolgozók nagyon vigyáznak az egészségükre, a nagy populációs méretű study-k egyértelműen jelzik a súlyos kardiovaszkuláris események valószínűségének kockázatát a kor előrehaladtával. Ugyanez igaz a krónikus betegségek megjelenésére, általánosságban igaz, hogy a kor előrehaladtával nagyobb a valószínűsége a társult krónikus betegségek megjelenésének. A repülőorvos igen nehéz helyzetbe kerül az életkorral együttjáró természetes öregedési folyamatok kapcsán jelentősen emelkedő szív-érrendszeri és keringési vészhelyzetek rizikójában. Nehéz meghúzni a határt a Hopkirk kritériumok<sup>10</sup> szerinti 1%-os valószínűséghez, hogyan dönthetjük el, hogy adott idősödő koronária és keringési rendszer esetében nagyobb-e a repülés közben bekövetkező hirtelen cselekvőképtelenség veszélye 1%-nál az elkövetkező 1 évben?

Az ultrakönnyű repülőgép pilóta engedélyek (LAPL) tekintetében különösen alacsony a repülőorvosi követelmény, sőt az FAA BasicMed rendszerében akár e nélkül is lehet repülni, mivel kisebb teljesítményű repülőgéppel és kisebb magasságon repülhetnek- de! Ezek a pilóták is szállíthatnak utasokat (max 3 utas) és repülésbiztonsági szempontból is ellentmondásos ez a kategórikus enyhítés, mivel a legtöbb repülőgép incidens, baleset pontosan az ilyen kisgépes hobbipilótákkal történik, és ha egy repülőgép kritikus infrastruktúrára zuhan, a kis repülőgép is komoly károkat tud okozni, tehát repülésbiztonsági és humán faktor szempontból is aggályos a repülésben tapasztalható életkor kitolódása. Ahogy a későbbiekben elemzem majd részletesen, a meglévő krónikus betegségek, amik általában együttjárnak a korral, jelentősen emelik a súlyosabb poszt-covid szindróma tüneteinek és szövődmények kockázatát is, amik közül prominensen kiemelkedik a krónikus fáradtság a covid-19 fertőzés után, és idősebb korban jelentősen csökkennek a szervezet funkcionális tartalék kapacitásai, amik egy repülési vészhelyzetben általában a pilóta kompenzációs mechanizmusainak kulcsát biztosítják (pl idősebb korban jelentősen csökkenhet a reakcióidő, a kognitív és memória kapacitás, a vérnyomás- és szívritmus rugalmas alkalmazkodóképessége, a tüdőfunkciós tartalékok), tehát jelen kutatás szempontjából több okból is fokozott rizikót jelent a repülésben az életkor kitolódása.

---

<sup>10</sup> A Hopkirk kritérium a repülőorvostanban az alkalmasságból való kizárás kritériuma, 1%-os szabálynak is nevezik, azt jelenti, hogy ha a repülésben dolgozó szakszolgálati engedélyre kötelezett személy bármely betegsége, egészségügyi, fizikiai vagy mentális problémája kapcsán a repülés közbeni hirtelen cselekvőképesség kialakulásának valószínűsége meghaladja az 1%-ot az elkövetkező 1 évben, akkor a személy alkalmatlan a repülésre, nem kaphat repülőorvosi szakszolgálati engedélyt.

A felső korhatár kitolódása mellett érvelők általában azt hozzák fel, hogy a kor nem egyenlő a kórral, azaz nem mindenre igaz, hogy az életkorral betegeségek is jönnek, továbbá érvelnek azzal is, hogy az idősebb pilótának lehet lassabb a reakcióideje és a rosszabb a keringési rendszer flexibilitása, de a korral együtt jelentősen nagyobb a repülési tapasztalatuk is, egy-egy vészhelyzetben a rutin kompenzálja az esetleges reakcióidő lassulást. Jómagam is ismerem teljesen fitt 65 feletti volt-pilótákat, akikben megbíznék és repülnék velük, azonban repülőorvosként és repülésbiztonsággal foglalkozó humán faktor szakemberként úgy vélem kétséges, hogy a tapasztalat tudja-e kellően kompenzálni a kort a repülésben a megemelkedett szív-érrendszeri rizikóval vagy éppen a poszt-covid fáradtsággal szemben.

A repülőorvosi alkalmasságot szabályozó rendszerek mind elismerik és próbálják kezelni a fáradtság okozta repülésbiztonsági kockázatot, ám nem térnek ki a covid fertőzést követő munkábaállás, vagy a poszt-covid/long-covid szindróma tüneteinek nyomonkövetésére és így ezek folyamatos kockázatértékelésére sem. Egy általános érvényű szabályzótól nem elvárható, hogy részletesen minden felmerülő problémára útmutatást adjon, keretszabályokat fogalmaz meg, amin belül a repülőorvosi vizsgálatot végző orvosnak magának kell tudni dönteni a felmerült egészségügyi- vagy pszichés kockázat értékeléséről. Ezért is szokta a köznyelv például a polgári repülésre vonatkozó Európai Unió EASA orvosi alkalmassági szabályokat „gumi-szabályoknak” nevezni, mivel a repülőorvosi vizsgálatot végző orvos saját meglátása szerint próbálja az általa feltárt problémára ráhúzni valamelyik passzusát a szabályzónak. Azonban, mivel keveseknek van repülésbiztonsági képzettsége is az egészségügyi terület mellett, az orvosok folyamatos továbbképzésének rendszere (continuous medical education, CME) mellett sem lehetünk biztosak abban, hogy minden egyes repülőorvosi vizsgálatot végző orvos világszerte ugyanolyan kockázatként kezeli a covid-19 fertőzést és az azt követő poszt-covid szindrómát. E szempontból hiánypótló lehet jelen kutatás és ennek kapcsán fogalmazódott meg a kutatás egyik céljává az, hogy egy összefoglaló repülésbiztonsági kockázatelemzés eredményeképpen ajánlásokat fogalmazzon meg a covid-19 fertőzésen átesett repülésben dolgozók körében a munkába való visszaállás és azt követő megfigyelés eljárásrendjére az egységes és lehető legbiztonságosabb repülőorvosi megítélés kialakítása érdekében.

### 2.3. A poszt-covid szindróma során kialakuló fáradtság és jellemző tünetek repülésbiztonsági jelentősége és kockázatértékelése

Jelen tanulmány aktualitását az adja, hogy a covid-19 fertőzés és a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági aspektusait eddig kevesen vizsgálták szisztematikusan. A poszt-covid tünetek – különösen a fáradtság, a kognitív zavarok, a memóriaproblémák és az alvászavarok – pontosan azokba a humán faktor hiba veszélyét fokozó problémakörökbe tartoznak, amelyek a repülőgép-balesetek döntő többségéért felelősek.

A poszt-covid és long-covid szindróma tüneteinek nagy prevalenciája, időben való tartós perzisztálása, a tünetek alattomos és gyakran ingadozó jellege kihívást jelent a repülésbiztonságban és a repülőorvosi alkalmasság értékelésének bevett keretrendszerei számára, így egy újszerű, kevésbé ismert emberi tényező okozta hiba kockázatot jelent a repülési műveletek során. A fáradtság már a járvány előtt is az egyik legjelentősebb humán faktor fenyegetésként volt ismert a repülésben, és jelentős számú incidens és baleset kiváltó okaként azonosították [31]. A poszt-covid és long-covid szindrómával összefüggő fáradtság azonban nem egyszerű fáradtság, amely egyetlen éjszakai pihenéssel helyreállítható – ez mély, sejt szintű energiahiany, amely kiszámíthatatlan és fokozott biztonsági kockázatot jelent [32]. A poszt-covid szindróma hátterét kutató tudósok napjainkban már számos patomechanizmust írtak le a fertőzést követően kialakuló krónikus fáradtság magyarázataként, ezek között szerepel a vírusinfekciót követő hiperreaktív gyulladási folyamatok, a sejtszintű mitokondriális energiatermelő folyamatok érintettsége, a neuroinflammáció, a cirkadián ritmus felborulása és az alvászavarok, a poszt-covid szindrómára jellemző erőteljes és hosszan tartó fáradtság és koncentrációs képesség zavara. A repülésbiztonság szempontjából is veszélyes poszt-covid tüneteknek az időbeni lefutását mutatja összefoglalva a 4. számú táblázat.

<b>Tünet</b>	<b>Akut fázis</b>	<b>3 hónap</b>	<b>6 hónap</b>	<b>12 hónap</b>
Fáradtság	60-73%	34-45%	21-34%	15-21%
Kognitív zavar	25-35%	20-22%	12-18%	8-12%
Alvászavar	16-30%	25-31%	21%	10-15%
Légzési problémák	40-60%	25-30%	20-22%	12-15%
Pszichés problémák	25-45%	22-28%	18%	12%

4. táblázat. A repülésbiztonsági rizikót jelentő poszt-COVID tünetek előfordulási gyakorisága (A szerző szerkesztése a szakirodalmi adatok alapján [4,16,19])

Komoly kockázatot jelent ezeknek a humán hiba veszélyét növelő tüneteknek az időbeni természete. A poszt-covid kutatások most már nem 3-6 hónapban követik nyomon ezek prevalenciáját, hanem 8-12 hónapig, sőt az ismétlődő fertőzések kapcsán felvetik az akár évekig is fennmaradó poszt és long-covid szindróma lehetőségét.

A poszt-covid szindróma jelentette kockázat nem egyszeri esemény; minden újabb SARS-CoV-2 fertőzés új lehetőséget teremt a poszt és long-covid kialakulására [14]. A legújabb kutatások arra utalnak, hogy bár az **ismételt fertőzések** akut tünetei gyakran enyhébbek, a poszt-covid tünetek – különösen a fáradtság – fellángolhatnak és hosszabb ideig fennállhatnak, mint az első fertőzésnél [26]. Ráadásul az egészség társadalmi meghatározói, beleértve a gazdasági helyzetet és a földrajzi elhelyezkedést, olyan egészségügyi egyenlőtlenségeket hozhatnak létre, amelyek aránytalanul növelik a kockázatot és a negatív kimeneteket bizonyos csoportok számára [14].

### 2.3.1. A poszt-covid szindróma komplex repülésbiztonsági kockázatértékelése

A korábban részletezett ismétlődő covid-fertőzések kockázatának és valószínűségének emelkedését figyelembe véve ezek alapján a poszt-covid szindrómát igen jelentős repülésbiztonsági kockázatként lehet azonosítani, mely ellen szükséges kockázatkezelési módszereket kidolgozni. Ezek alapján a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatelemzését az 5. számú táblázatban összegeztem.

A kockázatértékelésből látható, hogy a poszt-covid szindróma minden felsorolt tünete jelentős hatással lehet a repülésbiztonságra. Kiemelendő a fáradtság és az azt fokozni képes alvászavarok, mindkettő extrém magas kockázatot jelent a repülésbiztonságra a kockázatértékelési mátrix alapján. A fáradtság azért, mert jelentős a hatása és nagyon magas a valószínűsége is, míg az alvás a jelentős hatás mellett magas valószínűségű és a leírásban is szereplő módon fokozhatja az egyébként is súlyos fáradtságot, így az is extrém magas kockázatot jelent. E két poszt-covid tünet tehát extrém magas kockázatot jelenthet a repülésbiztonságra, mindenképpen tenni kell a kockázatok csökkentése érdekében. A koncentrációs és memória zavarok, a poszt-covid brain fog a fáradtságnál alacsonyabb prevalenciával rendelkezik, ezért bár a hatása ennek is jelentős, de a valószínűsége alacsonyabb, összeségében magas kockázatot jelent. A poszt-covid szindrómában előforduló pszichés problémák hatása jelentős, de előfordulási valószínűségük kisebb, így összeségében közepes kockázatot jelentenek a repülésbiztonságra.

Kockázat	Sebezhetőség leírása	Hatás (1-5)	Valószínűség (1-5)	Kockázati szint	Javasolt intézkedés
Poszt-covid fáradékonyság, PEM	A fáradékonyság előfordulási gyakorisága 60-70% még egészséges populációban is és 8-12 hónapig is fennállhat, kifejezetten ismétlődő fertőzéseknel	4 Jelentős	5 Nagyon Magas	<b>EXTRÉM MAGAS</b>	Szoros nyomonkövetés, a munkára való alkalmasság ellenőrzése <b>ajánlás kidolgozása</b> ), figyelemfelhívás és <b>tájékoztatás</b> a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázataira és annak megelőzési lehetőségeire, a <b>fáradtság objektív mérésére alkalmas módszer kidolgozása</b>
Poszt-covid brain fog	Veszélyeztetheti a megszerzett tapasztalatok, tudás biztonságos kivitelezését, előfordulása 30-40%	4 Jelentős	3 Közepes	<b>MAGAS</b>	
Poszt-covid alvás-zavarok	Fokozhatja a fáradtságot, fokozhatja a krónikus fáradtság kialakulását	4 Jelentős	4 Magas	<b>EXTRÉM</b> (repülőorvosi és repülésbiztonság <b>MAGAS</b> )	
Poszt-covid pszichés zavarok	Ronthatja a veszélyhelyzetekre adott válaszreakciókat, a csapatban való hatékony működést, pánik kialakulásának veszélyét	4 Jelentős	2 Alacsony	<b>KÖZEPES</b>	

5.táblázat: a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatértékelése (a szerző munkája)

A kockázatértékelési táblázat alapján jelen kutatás és kutatási célok egyértelműen indokoltak, hiánypótlók és szükségesek a kockázatok csökkentése érdekében. Ezen kihívások kezelése összehangolt cselekvést igényel a szabályozó hatóságok, a légitársaságok, a repülésben dolgozók és a kutatói közösség részéről.

### 3. A fáradtság mérésének lehetőségei

A fáradtság egy nagyon komplex állapot, ami túlmutat azon az érzésen, hogy csupán fáradtak vagyunk. Mértéke széles skálán mozoghat az egyszerű kifáradástól, amit egyetlen éjszakai megfelelő minőségű alvással kipihenhetünk, egészen a krónikus fáradtságig, vagy kimerülésig, amit már nem lehet egyetlen éjszakai alvással kompenzálni. A fáradtság

kialakulásában és fokozódásában a bevezetőben részletezett szerteágazó és igen komplex patofiziológiai folyamatok feltételezhetők, különösen a covid-19 vírusfertőzést követően.

**A fáradtság emberi teljesítőképesség-csökkentő hatása** vitán felül áll, a fáradtság **ugyanolyan romboló hatással van az emberi teljesítőképességre, mint az alkoholfogyasztás** [76,77,80]. 18 óra alvás nélküli ébrenlét (alvásmegvonás) olyan mértékű teljesítményromlást okoz, mint 0.05% véralkohol szint, ennél az értéknél már jelentkezhetnek koordinációs és beszéd érthetőségi problémák (elkent beszéd), látászavarok (fókuszálási problémák) és agitáltság [81]. 26 órányi alvásmegvonás pedig a 0.08-0.1%-os véralkohol szinthez hasonló teljesítményromlást okoz, ami még az enyhébb alkoholos befolyásoltságra vonatkozó országokban is eléri az ittas vezetés azon fokát, ami már alkalmatlanná teszi az egyént a biztonságos autóvezetésre [81].

A repülésbiztonságban az előző fejezetekben részletezett komolysággal kezelik ezt a problémát, mint az egyik leggyakoribb humán faktor hibaforrást és összetett fáradtság menedzsment rendszer implementálásával igyekeznek csökkenteni a fáradtságból adódó emberi hibák rizikóját. **A fáradtságot mind a mai napig leginkább szubjektív tényezőként kezelik, kevés objektív mérési módszer alkalmazott a mérésére** [78].

### *3.1. Szubjektív mérőmódszerek*

**A fáradtság szubjektív mérésére több önbevallás alapján elkészíthető kérdőív-skála** ismert. Ezek közül a kifejezetten a fáradtság mérésére alkalmazott legismertebbek az Epworth-féle nappali álmoságot mérő skála [73], az elmúlt 1 hétre jellemző fáradtságot vizsgáló Fáradtság Súlyosságát mérő Skála (Fatigue Severity Scale- FSS) [74], az egyes feladatok végrehajtásánál érzékelt szubjektív fáradtság mérésére alkalmas Karolinska Álmosági skála [75], vagy a Patient-Reported Outcomes Measurement Information System (PROMIS) [79]. Számos más, gyakran használt életminőséget és/vagy kognitív képességeket mérő tesztnek vannak fáradtságra vonatkozó moduljai is, például az SF-36 (Short form - Health Survey), az EQ-5D (európai életminőség 5 doménes skála- European Quality of life 5D), Páciens Egészség felmérő kérdőív (Patient Health Questionnaire- PHQ-9), a Covid-19 rehabilitációs telefonos felmérő eszköz (covid-19 rehabilitation telephone screening tool) tartalmaz fáradtság mérésére vonatkozó kérdéseket. Ezek közül nemzetközileg validált, a fáradtság mérésére elismert eszközök szubjektív mérésnél pl. az FSS, a PROMIS-GH, utóbbit magyar populációra is validálták [79]. Ezek a skálák azonban szubjektív megítélésen alapulnak, és ahogy a bevezetőben említettem egy feladatorientált, fokozott teljesítménykényszerrel és

parancsuralmi rendszerrel jellemezhető munkakörnyezetben, mint az állami repülés, **nem feltétlenül bízhatunk meg az egyének csupán szubjektív megítélésére alapozó mérési módszerek hatékonyságában.**

### *3.2. Objektív mérőmódszerek*

**A fáradtság objektív mérésére közvetett adatok alapján** a modern **bioszenzor** technológiák (viselhető bioszenzorok, wearable technologies) szintén igyekeznek információt adni az egyén fáradtsági szintjéről, jellemzően olyan biológiai jelek érzékelésével és analizálásával, mint például a szívritmusból származtatható szívfrekvencia variabilitás (heart rate variability- **HRV**), amelyek közvetett információt adhatnak a szervezet stressz-szintjéről, illetve a stressz és a relaxáció arányáról, a relaxációs periódusok hatékonyságáról. Erre magyar kutatási példa is van, amiben HRV mérések alapján állapították meg covid-19 fertőzésen átesett páciensek stressz-szintjét és relaxációs képességét [82]. Az alanyok a katonai repülésben dolgoztak, a covid-19 fertőzésen átestek, jellemzőek voltak náluk a poszt-covid fáradékonyság és egyéb poszt-covid tünetek is. Nagyon látványos eredményt publikáltak egy légiforgalmi irányító vizsgálati eredményei alapján: 6 héttel a fertőzés után a páciens három napos mérési adatait elemezve a HRV mérések azt mutatták, hogy az éjszakai pihenés fázisában is szokatlanul magas a szívfrekvencia tartomány, ami a szervezet pihenésre való képtelenségét mutatja, krónikus fáradtságról, kimerültségről tanúskodik. Az idegrendszer ilyen körülmények között nem tud megfelelően regenerálódni, a páciens energiaszintje mind nappal, mind alvás közben a korosztályos átlagtól elmaradt, igazolva a páciens poszt-covid panaszai között megjelenő szubjektív fáradtságérzést. A stressz és a regeneráció egyensúlya a szervezetben a nap folyamán jelentősen felborult, a 100 pontos skálából mindössze 27 pontot ért el, ami a korcsoportos átlagnak alig fele. Az alvás minősége hasonló értékelést kapott, 41 pontot ért el, ami alig közepes alvásminőséget jelent. Összességében „a pulzus variancia értékek a 43 éves páciensnél olyan tartományban mozogtak, amely kb. 20 évvel idősebb, betegségekkel terhelt szervezetre jellemző” [82, 33]. Nemzetközi keresztmetszeti kutatás is vizsgálta a poszt-covid szindrómában szenvedők HRV jellemzőit [86] és szintén azt találta, hogy a kontroll csoporthoz képest a covid-19 fertőzésen átesett pácienseknél alacsonyabb HRV értékek mutathatók (emelkedett stressz szint) ki, valamint tendencia a szimpatikus tónus fokozódására (csökkent regenerációs képességre utal), melyek a fertőzéstől eltelt idővel egyenesen arányosan javulnak.

Az okos eszközökbe integrált **aktivitásmérők** szintén közvetett információt nyújthatnak az **alvásminőségről** (alvási idő, alvásminőség az ébredési periódusok és részben a biológiai paraméterekben érzékelhető alvás-ciklusok számáról) ami jelentősen befolyásolhatja az egyén

fáradtságának szintjét. Erre nemzetközi katonai kutatás-fejlesztési projekteknél találunk már példát, amelyek a covid pandémia alatt az okosórák bioszenzorainak mérései alapján igyekeztek előrejelezni a várható megbetegedést kb 2 nappal a láz és komolyabb tünetek megjelenése előtt.

Az **emberi teljesítőképesség megítélésére orvosi biológiai paraméterek mérésével** voltak magyar fejlesztések a katonai repülésben korábban [83] (pl. TAGUÁN élettani paramétereket és környezeti tényezőket repülés közben mérő műszer [84], és jelenleg is folynak kutatások bioszenzorokkal, pl. az NKE és a RAVGYI közös kutatási projektjében a GINOP Aviation Human alprojekt keretében a barokamrai hipobarikus hipoxiás körülmények között, virtuális valóság (Virtual Reality- VR) eszközökkel szimulált valóshoz közeli repülési helyzetben az agyi oxigénellátottság vizsgálata infravörshöz közeli szenzorral (near infrared sensor- NIRS) [85], valamint egy új HRV technológiát fejlesztő projekt keretében a Szegedi Tudományegyetem és PC Trade Kft közös KKV Fókusz pályázaton nyertes kutatás-fejlesztési projektje, melynek célja a munkavállalók szellemi teljesítményének hatékonyságát detektáló, a mentális kimerüléssel kapcsolatos kockázatok csökkentésére alkalmas predikciós okoseszköz és technológia fejlesztése. Ezek a projektek azonban nem a fáradtság objektív mérésével közelítik meg az emberi teljesítőképesség mérését, hanem származtatott adatokból következtetnek a teljesítőképesség hanyatlására. Mindezek ellenére a bioszenzorok felhasználása a katonai és katona-egészségügyi kutatások fókuszában állnak napjainkban is, sőt jelentőségük folyamatosan emelkedik, ahogy a legtöbb nemzet igyekszik a digitalizáció és digitális megoldások felhasználásával fejleszteni a hadsereget.

A **mentális fáradtság közvetlen, objektív mérési lehetőségére alkalmas módszerek többnyire a reakcióidőt mérik jellemzően** egy monoton inger-környezetben, A tartós figyelem és fokozott koncentráció kifárasztja az egyént, aki így az adott stimulusra, jelre romló reakcióidőkkel válaszol. A reakcióidőkben mérhető megnyúlás, vagy másnéven lapszus, vagy jelzésre adandó válasz elmaradása (kihagyott válasz, missed response) elfogadott jele a kognitív fáradtságnak. A viselkedési éberség és éberségi állapot értékelésének aranystandardja a Pszichomotoros Vigiliancia Teszt (PVT) [87,88]. A PVT egy egyszerű reakcióidő-feladat, ahol az egyénnek a lehető leggyorsabban kell reagálnia egy véletlenszerű időközönként megjelenő vizuális ingerre. Az alváshiány, a hosszan tartó ébrenlét és a cirkadián zavar hatásaira való érzékenysége jól dokumentált [87]. A PVT-ből származó elsődleges metrikák az átlagos reakcióidő és, ami még kritikusabb, a „kihagyások” száma, amelyeket túlzottan hosszú reakcióidőként definiálnak (jellemzően 500 milliszekundum vagy hosszabb) [87]. Ez a módszer kis eszközigényű- applikáció formájában is elérhető- azonban hátránya, hogy az

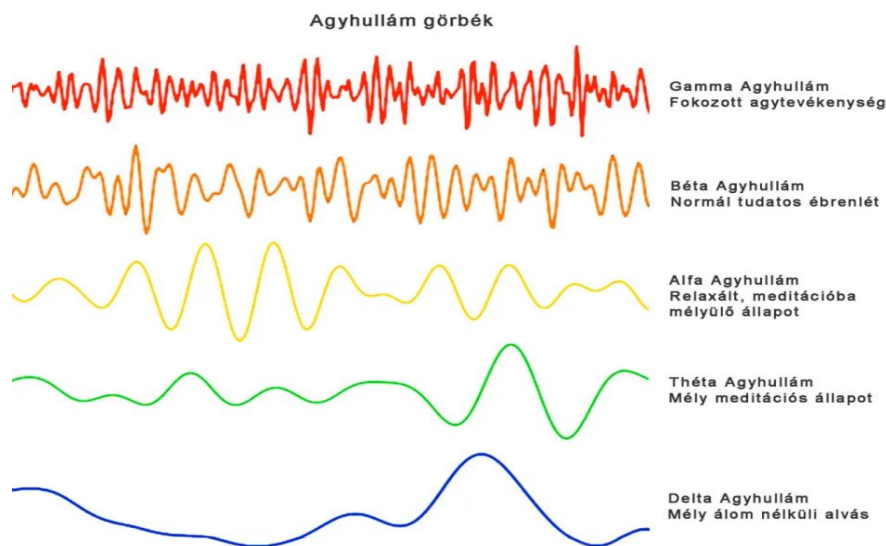
eredmények önmagukban nem teljesen értékelhetők, a mért átlagos reakcióidők egyénre jellemzők, így leginkább önmagához mérhető az egyén, saját átlagos reakcióidejétől való eltéréseket lehet értékelni. Mindazonáltal, a PVT során mérhető reakcióidő megnyúlások, lapsz-ok elfogadott mérőszámai a mentális fáradtságnak, nemzetközi tanulmányok is sikeresen vizsgálták a fáradtságot pl. légiforgalmi irányítók körében többek között a PVT használatával, melynek eredményei jól korreláltak a teljesítménnyel [89], így elmondható, hogy a PVT használható más mérési módszerek validálására is.

**A fentebb felsortolt mérési lehetőségek** vagy szubjektív megítélésen alapulnak (kérdőívek), vagy pedig olyan objektív mérési módszerek, amelyekben az egyénnek aktívan, tevőlegesen részt kell vennie miközben odafigyel a teszt végrehajtására, azaz nem kivitelezhető a napi munkavégzés vagy feladatok mellett és **nem alkalmas a teljesítőképeség folyamatos monitorizálására**. A PVT teszt a repülések vagy feladatellátás, műszak előtt, esetleg a repülési feladatok között vagy a műszak során az idő előrehaladtával kivitelezhető, azonban erre csak akkor kerülne sor, ha az egyén jelzi, hogy szubjektíven fáradtnak érzi magát és kéri az objektív mérést. Ennek a valószínűsége kétséges, főleg a katonai repülésre jellemző feladatorientáltság és szervezeti kultúra mellett. Sokkal hatékonyabb lenne egy olyan bioszenzor módszer, amely automatizált és folyamatos monitorizálásra alkalmas, független az egyén szubjektív megítélésétől és nem akadályozza a normál munkavégzést.

A modern repülés működési környezetét hatalmas komplexitás jellemzi, amely tartós éberséget és csúcs kognitív teljesítményt követel meg az emberi operátoroktól, különösen a pilótáktól és a légiforgalmi irányítóktól. Ebben a nagy felelősséget igénylő környezetben az emberi tényező továbbra is kritikus és gyakran leginkább sebezhető eleme marad a rendszernek. A történeti adatok következetesen azt mutatják, hogy az emberi hiba hozzájáruló tényező a repülési incidensek és balesetek jelentős többségében, így a személyzet kognitív és élettani állapota elsődleges biztonsági aggályá válik. Következésképpen az operátor fáradtságának objektív, megbízható és folyamatos monitorozása iránti igény sürgetőbbé vált, mint valaha. A hagyományos fáradtság-értékelési módszerek, amelyek gyakran szubjektív önbevallásra vagy nehézkes megfigyelési technikákra támaszkodnak, nem megfelelőek a pilótafülke vagy irányítótorony dinamikus, valós idejű követelményeihez [90].

**A fáradtság kimutatható és mérhető az agyi tevékenységben, az agyhullámok monitorizálásával és analizálásával** is. Az agysejtek működése elektromos feszültség-ingadozással jár. Éber állapotban az agysejtek igen aktívak, egymással kommunikálnak, ami élettani szinten elektromos jelek, elektromos aktivitás formájában

mérhető a fejbőrön elhelyezett szenzorokkal. Az agysejtek közötti elektromos kommunikáció továbbterjedése vizuálisan megjeleníthető a fejbőrön elhelyezett érzékelők által mért elektromos aktivitás változásaként. Ezt nevezzük elektroencefalográfiának (EEG). Az agyi elektromos aktivitás mérhető időbeni változásának vizuális megjelenítése az agyhullám tevékenység, melynek frekvenciája jellemzi az agyi aktivitás mértékét (gyors és lassú agyhullámok). Minél éberebbek vagyunk, azaz minél aktívabban működik az agyunk, annál fokozottabb az agytevékenység, gyorsak az agyhullámok és amint már nem kell koncentrálnunk annyira- csökken az agyi aktivitás is, lassulnak az agyhullámok. Amikor elfáradunk, akkor agyunk is pihenésre vált, lassul a kommunikáció az agysejtek között, tovább lassulnak az agyhullámok. Az elektroencefalográfia (EEG) az agyi elektromos tevékenység nem invazív mérési módszere, amely közvetlen ablakot nyújt az egyén neurofiziológiai állapotára. Az EEG alapja a sok millió agyi idegsejt működése során mérhető feszültség-ingadozás detektálása. Ehhez olyan elektródákra van szükség, amelyek a hajás fejbőrön is képesek az agyi neuronok elektromos tevékenységét érzékelni, hiszen a két elektróda közötti feszültségváltozás képezi az EEG görbe alapját. Ezek a feszültség-ingadozások jellemezhetők frekvenciával, és ezen frekvenciaváltozások időbeni regisztrálása és vizuális megjelenítése eredményezi az úgynevezett agyhullámok képét [91]. Az agyhullámok frekvencia szerinti csoportjait a 6. ábra mutatja be szemléletesen.



6. ábra. EEG agyhullám mintázatok és frekvenciasávok (forrás: [92])

Az EEG jeleket hagyományosan öt fő frekvenciasávba osztják, amelyek mindegyike különböző agyi állapotokkal és funkciókkal társul [91,93]:

- **Gamma hullámok** (30-50 Hz és afeletti): A legmagasabb frekvenciájú agyhullámok,

amelyek intenzív mentális aktivitással, magas szintű információfeldolgozással és kognitív funkcióval társulnak. Az erős koncentráció, fokozott éberségi állapot jele.

- **Béta hullámok** (13-30 Hz): Az aktív éber tudatállapotra jellemzők, beleértve az aktív gondolkodást, fókuszálást és problémamegoldást. A béta aktivitás csökkenése a fáradtság beállásával társul. Normál átlagos éberséget igénylő állapot, nem erőltetett koncentrációval.

- **Alfa hullámok** (8-13 Hz): A relaxált, pihenő ébrenlét állapotát tükrözik, különösen csukott szemmel. Az alfa hullámok az **alvás-ébrenlét határát** jelzik, megjelenésük jelzi az éberségi állapot csökkenését. A fáradtság kezdeti jele, szemcsukáskor mindig megjelenik- de fáradtság esetén szemcsukás nélkül is megjelenhet egyes agyterületeknél (un. mikromegalvások lsd később), jellemzően az okcipitális vagy a frontális régióban, de az alfa hullám tevékenység lokalizációja ritkább esetekben egyéni jellemzőket is mutathat.

- **Théta hullámok** (4-8 Hz): Az álmosággal, a csökkenő éberséggel és a **könnyű alvással** társulnak. A théta aktivitás növekedése **erős indikátora az álmoságnak** és a feladat-teljesítmény csökkenésének. A felületes alvás állapotát mutatják.

- **Delta hullámok** (0,5-4 Hz): A legalacsonyabb frekvenciájú agyhullámok, amelyek elsősorban a mély, lassú hullámú (non-rapid eye movements- NREM) alvás során dominálnak.

Erős mentális, vagy fizikai **terhelésre, kifáradás esetén, amikor nincs lehetőség pihenésre, az agy a szükséges pihenés érdekében** mondhatni tartalék funkcióra kapcsol, és míg egyes- a feladat kivitelezéséhez szükséges agyterületeken fennmarad az aktivitás, addig más- a feladat megoldásában nem esszenciális agyterületek csökkent aktivitást mutatnak, hosszabb-rövidebb időre adott régióban lassul az agyhullámtevékenység, alfa és théta hullám dominancia jelenik meg. Ennek EEG megjelenési formájaként **fáradtság esetén az agytevékenységben egyes elvezetésekben úgynevezett mikromegalvások jelenhetnek meg.** Míg az általános fáradtságot az agyi aktivitás fokozatos lassulása jellemzi, a mikro-megalvás epizódok akutabb és jellegzetesebb EEG mintázatot mutatnak, amely kritikus fontosságú a detektálás szempontjából. A **mikro-megalvás az alvás rövid, akaratlan betörése az éber állapotba.** Ezeket az epizódokat a reakcióképesség rövid kihagyásaiként definiálják, amelyek jellemzően 1-15 másodpercig [94] (egyéb források szerint 5-15 másodpercig [96]) tartanak, **előfordulhatnak nyitott szemmel is,** ezért nem teljesen megbízhatóan alkalmazható a szemmozgás érzékelő a fáradtság első jeleként megjelenő mikromegalvások detektálására, és amelyek során **az egyén gyakorlatilag vak és süket a külső ingerekre** [94,95,96]. Neurofiziológiai szempontból az EEG-felvételek mikromegalvás epizód alatt szorosan

hasonlítanak a Non-Rapid Eye Movement (NREM) alvás 1. stádiumának (N1), a legkönnyebb alvási stádiumnak a mintázataira [95,95]. Ezt az alacsonyabb agyhullám-frekvenciák kifejezett növekedése jellemzi (rövid idejű alfa és théta dominancia jelenik meg). Gyakran alakulhatnak ki ilyen mikromegalvasok például hosszútávú vezetés, vagy hosszú monoton munkavégzés alkalmával a fáradtság jeleként. Az autós társadalom jól ismeri ezt az állapotot, amikor vezetés közben rövid időre kiesik az éber állapotból és nem észleli a forgalmat, illetve a környezetet, elveszítheti uralmát a jármű felett. Mivel gyakran jár együtt szemcsukással, ezért kifejlesztették a visszapillantó tükörbe épített szemmozgás érzékelőt, ami a pislantásánál hosszabb ideig tartó szemhélyzáráskor riasztást küld a gépjárművezetőnek, hogy álljon félre és pihenjen, vagy vészhelyzetben automatikusan kiállítja a járművet a forgalomból. **Ezek az mikromegalvási epizódok különösen alattomos jellegűek, mert kevés vagy semmilyen figyelmeztetés nélkül fordulhatnak elő, és az egyén teljesen öntudatlan lehet arról, hogy kihagyás történt.** A veszély egy olyan működési kontextusban, mint a repülés, nyilvánvaló; egy mikromegalvas a repülés kritikus fázisában, például leszállás vagy felszállás közben, katasztrofális következményekkel járhat. Ezen epizódok kezdete és befejezése nem izolált neurális események, hanem szisztémás élettani változásokkal fonódnak össze, beleértve a légzési és szívfrekvencia-változásokat, ahogy azt a funkcionális képalkotó vizsgálatok megfelelő vér-oxigénszint-függő (BOLD) jel változásai jelzik [97].

A mikro-megalvas legkiemelkedőbb jellemzője az alfa és théta hullám teljesítmény megugrása, amely gyakran a domináns frekvenciává válik, és olyan mintázatot hoz létre, amely erősen hasonlít az NREM 1. stádiumú (N1) alváshoz [94, 95]. Térbelileg ezek a változások nem egyenletesek a fejbőrön; tanulmányok következetesen kimutatták, hogy a delta, théta és alfa teljesítmény maximális növekedése mikromegalvas során jellemzően a homlokleány felett figyelhető meg [94]. Ez a lokalizáció a frontális kéreg kulcsfontosságú szerepére mutat a végrehajtó funkciókban és a tartós figyelemben, amelyek súlyosan károsodnak ezen kihagyások során.

Az EEG spektrális analízis a fáradtság objektív kvantifikálásának sarokköve, amely az agy elektromos ritmusában bekövetkező jellegzetes változások vizsgálatán alapul. Ez a módszer az összetett, időben változó EEG jelet az azt alkotó frekvenciakomponensekké alakítja át, lehetővé téve a teljesítményeloszlás részletes elemzését specifikus agyhullám-sávokban [98]. Ezt az átalakítást jellemzően matematikai technikákkal, például Fast Fourier Transzformációval (FFT) vagy Short-Time Fourier Transzformációval (STFT) érik el, és frekvenciatartomány-jellemzőket, például Power Spectral Density-t (PSD,

teljesítménysűrűség) eredményez, amely kvantitatív mértéket ad a különböző frekvenciasávokban jelen lévő energiáról [98].

A kutatások következetesen kimutatták, hogy a fáradtság előrehaladtával megjósolható és mérhető eltolódások következnek be ezekben a sávokban. A  $\theta$  hullám aktivitás növekedése erősen társul az álmosággal, a csökkenő éberséggel és a feladat-teljesítmény általános romlásával [90]. Hasonlóképpen, az  $\alpha$  hullám teljesítmény növekedése jelentős indikátora a relaxált, figyelmetlen állapotnak és az éberség fenntartásához szükséges növekvő mentális erőfeszítésnek [90]. Ezzel szemben a  $\beta$  aktivitás, amely az aktív koncentrációval és fókuszált mentális állapotokkal társul, hajlamos csökkenni a fáradtság beálltával [90]. Az ezen sávok PSD-jének elemzésével, különösen a kortikális motoros területeken, a kutatók nyomon követhetik a fáradtság progresszióját [99].

A fejlettebb elemzések arányszám-alapú mutatókat használnak, például a  $\theta$ - $\alpha$  teljesítmény arányát ( $\theta/\alpha$ ) vagy a kombinált lassú hullám teljesítmény és gyors hullám teljesítmény arányát ( $(\theta+\alpha)/\beta$ ), amelyeket kompozit fáradtság-indikátorként fejlesztettek ki [90]. A  $(\theta+\alpha)/\beta$  arány jelentős növekedése például robusztus jelzője a növekvő fáradtságnak, és sikeresen használták bemenetként gépi tanulási modellekhez, amelyek célja a vezető állapotának éber vagy fáradt osztályozása [90,100]. Ezek a spektrális analízis technikák túllépnek a szubjektív önértékelésen, objektív, valós idejű és kvantifikálható mértéket biztosítva az egyén neurofiziológiai fáradtsági szintjéről.

**A mesterséges intelligencia és gépi tanulás az EEG elemzésben** fontos szerepet kaphat a nyers EEG adatok elemzésében. Az EEG bioszenzorok által generált nyers adatok, különösen a többcsatornás rendszerekből, rendkívül összetettek, magas dimenziósak és zajosak. Ezen jelek kézi értelmezése valós időben a fáradtság detektálására lehetetlen. A modern EEG-alapú fáradtság-monitorozás valódi erejét a mesterséges intelligencia (MI) és gépi tanulási (ML) algoritmusok alkalmazása szabadítja fel [105,106]. Ezeket a számítási modelleket arra képzik ki, hogy automatikusan felismerjék az EEG adatokon belüli finom és összetett mintázatokat, amelyek különböző éberségi és fáradtsági állapotoknak felelnek meg.

A megközelítések nagyjából két kategóriába sorolhatók: hagyományos gépi tanulás és újabb mélytanulási módszertanok. A hagyományos ML technikák jellemzően kézi jellemző-kinyerési lépést igényelnek, ahol szakterületi szakértők kiválasztják az EEG jel azon specifikus jellemzőit, amelyekről úgy vélik, hogy relevánsak a fáradtság szempontjából. Ezeket a jellemzőket, mint például a különböző frekvenciasávok teljesítménysűrűségét (PSD), entrópia-

mértékeket vagy wavelet együtthatókat, majd egy osztályozó algoritmusba táplálják [107,108]. Gyakori osztályozók közé tartozik a Support Vector Machines (SVM), amely optimális határt talál a különböző osztályok között (pl. 'éber' vs. 'fáradt'); a mesterséges neurális hálózatok (ANN), amelyek az emberi agy szerkezetét utánozzák az adatok közötti kapcsolatokat tanuláshoz; és az együttes módszerek, mint a Random Forests [107,109].

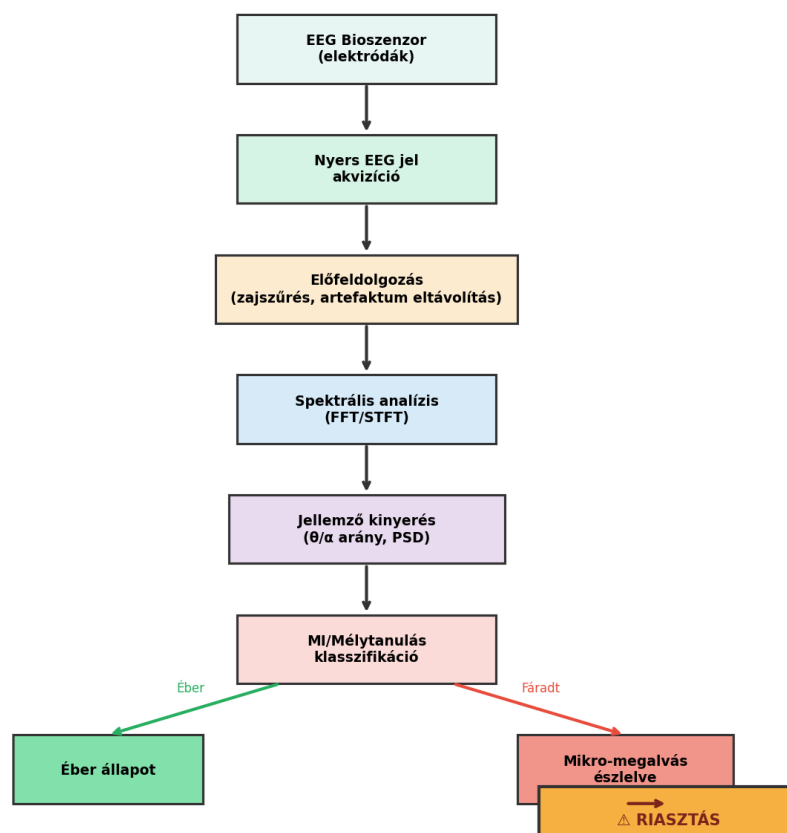
A mélytanulás egy fejlettebb paradigmát képvisel. Az olyan modellek, mint a Konvolúciós Neurális Hálózatok (CNN) és a Rekurrens Neurális Hálózatok (RNN), különösen a Long Short-Term Memory (LSTM) variánsok, közvetlenül képesek tanulni a nyers vagy minimálisan feldolgozott EEG adatokból [110,108]. A CNN-ek kivételesen jók a térbeli jellemzők tanulmányában, mint például az agyi aktivitás topográfiai eloszlása, míg az LSTM-ek kiválóan ragadják meg az időbeli függőségeket, megértve az EEG mintázatok időbeli fejlődését [110, 108]. A CNN-eket és LSTM-eket kombináló hibrid modellek különösen hatékonyak, mivel egyidejűleg képesek feldolgozni az EEG jelek térbeli-időbeli természetét [110,108]. Ezek a mélytanulási modellek figyelemre méltó teljesítményt mutattak, gyakran magasabb osztályozási pontosságot érve el a hagyományos módszereknél, mert felfedezhetnek olyan összetett, magas szintű jellemzőket, amelyeket az emberi mérnökök esetleg elmulasztanak [107,111]. Jó példa a mesterséges intelligencia és a gépi tanulási módszerek felhasználására EEG adatok elemzésében egy 2025-ös tanulmány, amiben légiforgalmi irányítók körében végeztek fáradtság mérést EEG eszközzel és összehasonlították az EEG adatok elemzéséhez használható különböző módszerek hatékonyságát [113].

Bármilyen EEG technológiát is fejlesztünk ki az éberségi állapot, a fáradtság objektív mérésére, annak a **módszernek a validálása** kulcsfontosságú. Bármely megbízható EEG-alapú fáradtság-detektáló rendszer fejlesztése szigorú validációtól függ az éberség bevált viselkedési mértékeivel szemben. Egy EEG mintázat, bármilyen jellegzetes is, csak akkor hasznos, ha pontosan megfelel a teljesítmény elfogadott módszerekkel mérhető csökkenésének. A viselkedési éberség és éberségi állapot értékelésének aranystandardja a Pszichomotoros Vigiliancia Teszt (PVT) [86]. Tanulmányok sikeresen mutattak ki erős korrelációkat az EEG jellemzők és a PVT reakcióidők között, megerősítve az EEG felhasználásának megvalósíthatóságát a mentális fáradtság becslésére [112]. az EEG-alapú fáradtság-metrikák növekedése, mint a  $(\theta+\alpha)/\beta$  arány, vagy specifikus mikromegálvás mintázatok detektálása, egybeesik a reakcióidők lassulásával és a PVT kihagyások gyakoriságának növekedésével.

Jelen kutatásban is ezt a módszert alkalmaztam az EEG szenzorral detektálható mikromegalvások mérési protokolljában a mikromegalvások megjelenése és a PVT-n mérhető teljesítménycsökkenés (reakcióidő csökkenés, lapsz) korrelációjának vizsgálatára. A PVT módszer részleteiről és az eredményeinek értékeléséről ebben a fejezetben korábban, a mentális fáradtság közvetlen, objektív mérési lehetőségére alkalmas módszerek részről részletesen beszámoltam.

A fáradtság objektív mérésére alkalmazott mikromegalvások detektálásának elvi folyamatábráját a 7. ábrán szemléltetem.

**Mikro-megalvás detektálás folyamatábrája**



**7.Ábra: a mikromegalvások detektálásának elvi folyamatábrája (a szerző szerkesztése)**

**A fáradtság objektív mérésére EEG hullámokban detektálható mikromegalvásokkal kiváló példa** a Rosenkind és munkatársai által 1994-ben végrehajtott NASA tanulmány (Nasa Nap Study [101]), melynek célja az volt, hogy megvizsgálják van-e jelentősége a többpilótás repülés környezetben engedélyezni a pilóták váltva történő pihenését, szunyókálását a repülésbiztonság szempontjából. A tanulmányban hosszútávú repülőutak során vizsgálták a pilóták éberségét többek között EEG segítségével a mikromegalvások detektálásával a leszállás

előtti utolsó 90 percben és a repülés legkritikusabb fázisában- leszállás közben azon pilótáknál, akik pihentek a repülés alatt és azoknál, akik nem pihenhettek a repülés alatt. Azok a pilóták, akik nem pihenhettek és fáradtabbak voltak jelentősen több mikromegalvást produkáltak, mint azok, akik pihenhettek. A fáradtabb pilóták átlagosan 120 mikromegalvást produkáltak a repülés utolsó 90 percében- és különösen nagy repülésbiztonsági rizikót jelent az az eredmény, hogy ebből 22 alkalommal a leszállási manőver közben is jelentkeztek mikromegalvások a fáradt pilótáknál. Ezzel szemben a pihentebb csoportban (akik a hosszúidejű repülés alatt átlagosan 40 perces szunyókálásokkal pihenhettek) mindössze átlagosan 34 mikromegalvást detektáltak a leszállás előtti 90 percben és egyetlen egy mikromegalvást sem észleltek a leszállási manőver alatt. Ez a tanulmány bebizonyította az amerikai légiügyi hatság (FAA) számára, hogy biztonságosabb, ha engedélyezik a többpilótás repülési környezetben a pilóták váltott pihentetését. Egyúttal kiváló példa az EEG és agyhullámokban detektálható mikromegalvások felhasználására a fáradtság objektív méréséhez.

A NASA nap study során alkalmazott EEG készülék az akkori technológiának megfelelően nagyméretű, robusztus eszközzel történt, a fejre rugalmas hálóval erősített vizes elektródákra volt szükség, amiket számos vezeték kötött össze az EEG készülékkel. A készülék által megrajzolt EEG papír regisztrátumokat kellett a szakembereknek vizuálisan feldolgozni és tárolni az adatok elemzéséhez. A modern technológiák és hatalmas fejlődés a bioszenzor technológiákban lehetőséget ad ezen EEG alapú vizsgálati módszer újra-tervezésére immár kényelmesebb, felhasználóbarát és munkavégzés közben sem akadályozó kivitelben. Jelen tanulmány egyik célja egy ilyen, repülési környezetben is alkalmazható, az éberségi állapot tartós megfigyelésre, monitorizálására alkalmas bioszenzor technológia kifejlesztése.

A valós idejű fáradtság-monitorozás gyakorlati megvalósítását működési környezetekben, mint például a repülőgép pilótafülkéje, történetileg korlátozta a hagyományos EEG technológia korlátai. A konvencionális rendszerek „nedves” elektródákra támaszkodnak, amelyek nehézkes fejbőr-előkészítést, vezetógélek vagy paszták alkalmazását igénylik, és egy terjedelmes, kényelmetlen apparátust eredményeznek, amely nem alkalmas hosszú távú, folyamatos használatra [102]. A valós alkalmazás szempontjából **áttörést jelent a hordozható, száraz elektródás EEG rendszerek fejlesztése és finomítása**. Ezek a rendszerek paradigmaváltást kínálnak a használhatóságban, kiküszöbölve a gélek és a bőr csiszolásának szükségességét, ami drámaian csökkenti a beállítási időt – sok percről kevesebb mint egyre – és jelentősen növeli a felhasználói kényelmet, lehetővé téve a hosszabb, akár nyolcórás vagy annál hosszabb monitorozási időszakokat bőrirritáció okozása nélkül [102,103].

Maguk az **elektrodák jelentős innovációk estek át**. Olyan anyagokat használnak, mint az arany (Au) és az ezüst/ezüst-klorid (Ag/AgCl) biokompatibilitásuk és elektromos tulajdonságaik miatt, gyakran rugós mechanizmusokba integrálva, amelyek stabil bőrkontaktust biztosítanak mozgás közben is [104,102]. A száraz elektrodák fő kihívása – a mozgási és elektromos artefaktumokra való fogékonyságuk – kezelésére a fejlett rendszerek kifinomult mérnöki megoldásokat tartalmaznak. Ezek közé tartoznak a szenzorok körüli miniatűr Faraday-ketrecék, a közös módusú követő technológia, valamint a robusztus jelfeldolgozó algoritmusok, mint a Független Komponens Analízis (ICA) és az Artefaktum Altér Rekonstrukció (ASR), amelyek kiszűrik a zajt és biztosítják a magas minőségű adatgyűjtést még dinamikus környezetben is [103,102].

Manapság már **elérhetőek** a konzumer piacon **különböző** vezeték nélküli **EEG szenzorokkal ellátott eszközök**, melyeknek a **célja** általában az alvásminőség, vagy a relaxációs technikák hatékonyságának vizsgálata és **nem tudományos kutatás**. Ezek viselhető (wearable) technológiák, a mindennapi használatra alkalmas kényelmi jellemzőkkel, azonban a mindennapi használatához elérhető árkategóriában általában csak egy elvezetésből figyelik az agyhullámokat. **Tudományos igényű- több elvezetésből történő monitorozásra alkalmas EEG eszköz is elérhető, de** olyan árkategóriában, ami már kutatás-fejlesztési projektek büdzsáját igényli. Ezek a több elvezetéssel rendelkező vezeték nélküli EEG eszközök azonban az EEG szenzorok jellemzői miatt **nem alkalmasak repülési környezetben történő felhasználásra**. Igazi nem tűske-kialakítású, hanem lapos de hajás fejbőrön is jól működő smart cloth technológia, ami ideális lenne a repülésben, EEG szenzor tekintetében még nem elérhető. A jelenlegi EEG szenzorok a hajás fejbőrön keresztüli megfelelő jelérzékeléshez jellemzően vagy jelerősítő közeget (konduktor gélt, vagy vizes szenzort), vagy pedig a száraz elektrodák esetében tűskékkel ellátott érzékelőket használnak, ami sem ergonómiailag, sem sisakbaépített technológia szempontjából sem szerencsés.

A jelenleg elérhető vezeték nélküli EEG eszközök áttekintését a 8. ábrán összegeztem. A jelen kutatás céljainak figyelembevételével az előnyöket és hátrányokat is figyelembe véve a sárgával megjelölt eszközök lehetnek alkalmasak a poszt-covid fáradtság vizsgálatához az EEG-ben detektálható mikromegálgások vizsgálatával.

név	EEG elvez.	Ergonómia	Software	Elem	
MINDWAVE headset 2 NeuroSky EEG	1 + ref és földelés	++	+	6-8 óra	Nem elég az 1 elvezetés
iMotion EEG	Több elvezetés, de Csak homlok	Fejpánt+ vezetékek	+	n/a	kényelmetlen
<b>Emotiv EPOC X</b>	<b>14 Vizes</b> elektróda	Fejhallgató jelleg+ rugalmas elektróda karok	+ W.less BT	9 óra	Kb 900 USD
<b>Emotiv Insight 2</b>	5 <b>semi-dry</b> elektr.	Fejpánt 5 fő régióról	+ W.less BT	<b>20 óra</b>	Kb 500 USD
Emotive earbuds MN8	2	Miniatur fül dugó méret, stressz és figyelem-csökkenés monitorozásra	+ W.less BT	6 óra	Alpha hullám elemzésre nem alkalmas
MUSE 2 fejpánt MUSE S rug. fejpánt	? Nincs info Front. és pariet?	Fejpánt, de inkább alvás, relaxáció megfigyelésre (neuro feedback)	+ W.less BT	5 óra	Kb 270 USD 380 USD EEG analízisre?
<b>DIADEM EEG</b> <b>BitBrain</b>	<b>12, Száraz elektróda</b> <b>4 régió</b>	Fejpánt+ kereszt pántok 10 m-re a BT eszköztől is	+ W.less BT Micro SD	8 óra	Kis doboz adategység
AIR Bitbrain	8 front+occip	Csak fejpánt	+ W.less BT	8 óra	
HERO BitBrain	9 nincs occipitális	Fejpánt+ kereszt pántok	+ W.less BT	3 óra	

**8. ábra: a jelenleg konzumer piacon elérhető EEG eszközök áttekintése és tulajdonságai (a szerző szerkesztése az interneten elérhető adatok alapján)**

Egy **repülési környezetben** és biztonságos munkavégzést nem akadályozó kivitelben **alkalmazható EEG szenzor technológiával szemben megfogalmazható alapkövetelmények** a következők:

- Minimum 3 (a frontális, parietális és occipitális régiókból), de inkább 4 (az előzőekben túlmenően a temporális régióból is), vagy több elvezetésből érzékeljen EEG jeleket
- A hajas fejbőrhez jól illeszkedő- a repülés közbeni mozgás és vibráció mellett is jó jelminőséget biztosítson
- Nagy gravitációs hatások, gyorsulási erők mellett is helyén maradjanak a szenzorok a nélkül, hogy az a pilóta felszerelésének ergonómiáját, vagy a biztonságos feladatellátást akadályozná
- Kiemelkedő megbízhatóságú zajsűrítés szükséges a repülési környezet jellegzetességei miatt
- Száraz elektródás rendszer legyen
- Vezeték nélküli adatátvitelre és belső adattárolásra legyen képes (vezeték nélküli adatelemzés, monitorizálás és utólagos adatelemzés is lehetséges legyen)
- Ergonómiailag megfeleljen és kompatibilis legyen a jelenleg használt egyéni védelmi (sisak), rádiókommunikációs, látást segítő, adattároló- vagy továbbító és egyéb eszközökkel, rendszerekkel
- Hosszabb ideig (8-12 órán át) is kényelmesen viselhető legyen az eszköz

- Repülési környezetben is biztonságosan alkalmazható (air worthiness tanúsítvánnyal bíró) saját energiaforrása legyen (légnyomásváltozásoknak, extrém hőmérsékleti viszonyoknak ellenálló, öngyulladásra nem hajlamos és nem tűzveszélyes)
- Rendelkezzen megfelelő adatelemző szoftverrel a detektált EEG jelek analíziséhez, ami képes azonosítani a mikromegalgásokat az agytevékenységben és beállított cut-off érték alapján legyen képes visszajelzést, vagy szükség esetén figyelmeztetést küldeni a pilótának amennyiben a fáradtság olyan szintje alakul ki, ami már a repülésbiztonságot veszélyeztető mértékű emberi teljesítményromlást okozhat.
- Amennyiben az EEG adatok online továbbítása is megtörténik központi szerverek felé, akkor gondoskodni kell az egészségügyi adatok előírászerű védelméről (adatokhoz való hozzáférés korlátozása)

Ezeknek a követelményeknek leginkább egy sisakba építhető- vagy sisak alatt hordható smart cloth technológia felelne meg repülési környezetben, azonban ilyen smart cloth technológiában jelenleg még nem található EEG-bioszenzor, így annak kifejlesztése, amennyiben a kutatás igazolja az EEG technológia alkalmazhatóságát a fáradtság objektív mérésében, a jövő feladata.

#### 4. A covid-19 fertőzés prevenciójával kapcsolatos tendenciák, a járvány aktuális helyzete és a kutatás aktualitása

A kutatás megkezdésekor (2022.) a covid-19 járvány világszerte a figyelem középpontjában volt és nemzeti- valamint világméretű egészségügyi válsághelyzetet és nagyon szigorú egyéni és kollektív járványügyi intézkedéseket vezettek be a fertőzések elkerülése és nyomonkövetése érdekében. Karantén volt kötelező a kontakt személyeknek is, még tünetmentesen is, nem csak a betegeknek. A világ szinte megfagyott, elzárkózott és korábban alig látott személyi szabadságjogok kerültek korlátozásra a távolságtartás érdekében.

Az oltások bevezetését követően a megbetegedések számában csökkenő tendencia mutatkozott, csökkent az egészségügyi ellátórendszerre nehezedő nyomás és így a covid-19 pandémiára fordított figyelem is. Míg az első és második oltások széles körben kötelezők voltak, addig a harmadik, negyedik oltásoknál már az eltelt idő alatt fokozatosan csökkent a covid-19 pandémiára fordított figyelem. Eleinte közösségbe, családtagokhoz, külföldre,

munkába vagy továbbképzésekre is csak úgy lehetett menni, hogy 72 órán belüli kötelező covid szűrést kellett felmutatni oda és visszaút előtt is, még hozzá PCR és nem gyorseszteszt eredményt.

Az idő előrehaladtával a világpolitikai figyelem a háborús övezetkre terelődött és a covid pandémia helyzete kikerült a fókuszából. Nagyjából ezzel egyidejűleg a korábban bevezetett szigorú járványügyi intézkedések, kötelező covid szűrővizsgálatok, utazási és közösségi korlátozások, egyéni és közösségi járványügyi rendszabályok is enyhültek, majd kb. 2024-re szinte teljesen el is tűntek. Az újabb covid variánsok még időnként kisebb-nagyobb figyelmet kapnak, de mindössze szezonálisan pár hónapig jön felszínre a covid fertőzés újra és akkor sem történik rutinszerű vírusdiagnosztika, inkább csak egyéni érdeklődésre vesznek mintát a betegektől.

Mára a covid-19 fertőzés már nem kelt érdeklődést, a szezonális influenzához hasonlóan kezelik, vagy még annál is kevésbé figyelnek rá (az influenza szezonban sem diagnosztizálják a kórokozót, egybemosódik minden influenza szerű vírus), nem tartják számon, nem jelentik és rutinszerűen nem is vizsgálják még tipikus felsőlégúti vírusos tünetek megjelenése esetén sem. Manapság már semmilyen covid szűrővizsgálat nincs előírva, oltásokat is jellemzően csak a rizikópopulációnak promótálják, holott az oltások bevezetésekor még az is kérdéses volt, hogy 6 hónapig kitart-e a védettség.

Úgy kezeljük a covid-19 vírust és annak újabb variánsait, mintha a covid már nem lenne velünk.

A kezdetekben azzal emelték ki a covid-19 vírust a többi influenza szerű vírus közül, hogy rendkívül fertőző és nagyon súlyos tünetei és még súlyosabb szövődményei lehetnek. Manapság az újabb variánsok szintén azzal kerülnek rövid időre a híradásokba, hogy ugyancsak nagyon fertőzők és sok a súlyos tünetük és szövődményük. Mai napig is jelennek meg tudományos kutatások, cikkek a covid fertőzés, a poszt-covid és a long-covid szindrómák súlyos, hosszantartó vagy éppen maradandó komplex, teljes szervrendszert érintő szövődményei kapcsán.

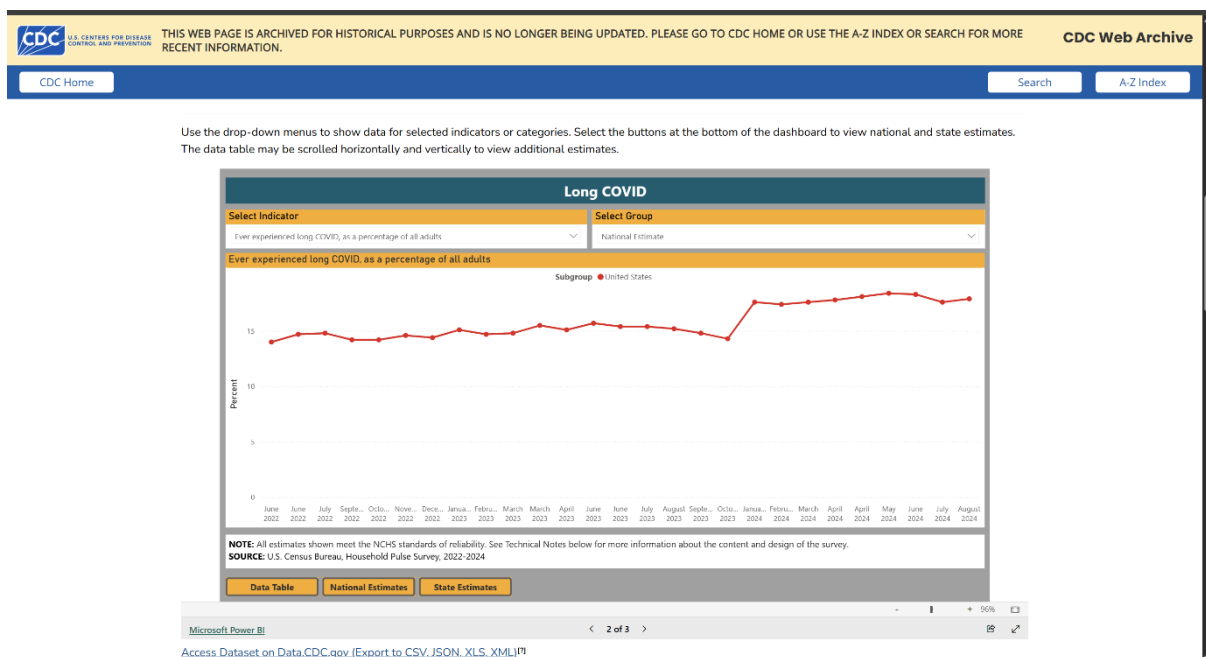
**Ha ezt végiggondoljuk- maga a vírus és az általa jelentett veszély nem változott. Azonban a népesség veszélyeztetettsége a védőfaktorok eltűnésével pont, hogy nőtt.**

Megszűntek a járványügyi rendszabályok, megszűntek a közösségi és az egyéni védelmi vonalak is (maszk, távolságtartás, kötelező higiénés rendszabályok), mindezek mellett, ha volt is bármilyen védettségünk az oltások után, annak mára már biztosan nincsen hatása és évek óta nincs kötelező- de még ajánlott oltás sem a covid ellen annak ellenére, hogy Nobel díjat kapott

a covid-19 elleni mRNS vakcina feltalálója. Az egészségügyben sincs kötelező tesztelés és még tünetes betegeket sem tesztelnek rutinszerűen, így a covid-19 fertőzések döntően diagnosztizálatlanok maradnak. Senki nem gondol rá, hogy ismét covid fertőzése lehet, még akkor sem, ha egyébként tipikus tünetek jelentkeznek.

Mivel mondhatni megszűnt a járványügyi rendszabályok rendszere és már nem oltakoznak az emberek, kijelenthetjük, hogy nincs védettségünk a covid ellen és a szezonális influenzához hasonlóan valószínűleg újra és újra átesünk a fertőzésen.

A CDC long-covid szindróma előfordulására vonatkozó adatai- habár csak 2024-ig gyűjtötték- szintén azt mutatják, hogy az oltások ellenére a felnőtt lakosság körében megjelenő long-covid szindróma prevalenciájában nem észlelhető csökkenés, sőt 2024 végéig enyhén emelkedő tendencia látható. A prevalencia állandósága arra enged következtetni, hogy a közfigyelem csökkenése ellenére továbbra is ugyanolyan prevalenciával jelentkeznek covid-19 fertőzés kapcsán kialakuló long-covid panaszok (9. ábra).

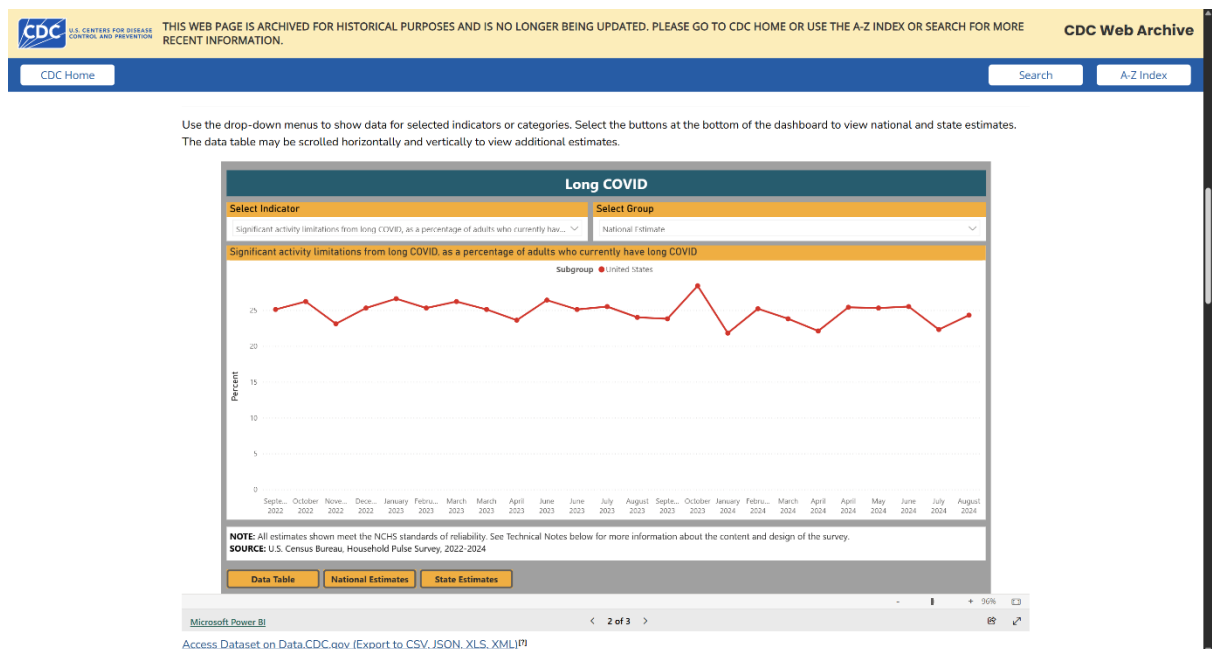


9. ábra: a súlyos korlátozottsággal járó long-covid szindróma gyakorisága a felnőtt lakosságban 2022-2024 között (forrás: <https://www.cdc.gov/nchs/covid19/pulse/long-covid.htm> )

A bevezetőben részletezett nemzetközi szakirodalmak egyértelműen leírták, hogy ismételt covid fertőzéseknél gyakran enyhébb tünetekkel, vagy akár tünetmentesen is lefolyhat az újabb covid-19 fertőzés, de a poszt- és long-covid szindróma tünetei a csendesen zajló akut fertőzés ellenére legtöbb esetben fellángolhatnak és minden alkalommal tovább maradhatnak fenn (ld.

10. ábra: a súlyos korlátozottsággal járó long-covid szindróma előfordulási gyakorisága a felnőtt lakosság körében a CDC adatai szerint nem mutat jelentős csökkenést). A tünetmentes betegek pedig észrevétlenül terjeszthetik a fertőzést a közösségekben. Figyelembe véve hogy védettségünk megszűnt és már egymásra sem vigyázunk, az újabb fertőzések tünetszegény lefolyása valószínűbb, nagy a lehetősége annak, hogy a covid fertőzés észrevétlen marad. Ennek veszélyét növeli továbbá a diagnosztikai hajlandóság gyökeres csökkenése is.

Mindezen trendek alapján kijelenthetjük, hogy manapság sokkal nagyobb a covid-19 fertőzés veszélye, mint a pandémia idejében volt, még ha az akut tünetei kevésbé veszélyesek is. Sokkal nagyobb az esélye az ismételt fertőzéseknek, amikkel kapcsolatban a szakirodalom leírja, hogy jelentősen fokozódik a long-covid szindróma előfordulása és súlyossága is.

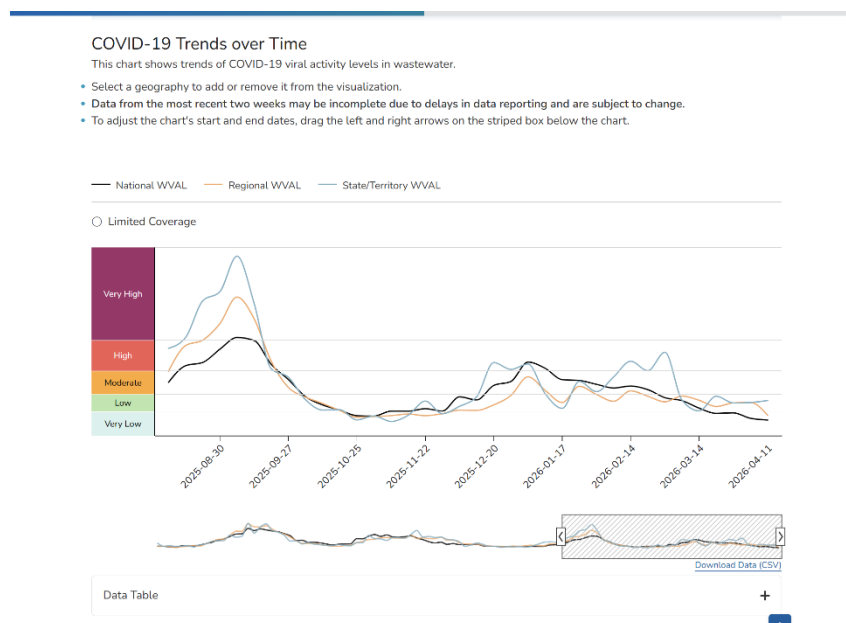


**3. ábra: a súlyos korlátozottsággal járó long-covid szindróma prevalenciája a felnőtt lakosság körében 2022-2024 között (forrás: <https://www.cdc.gov/nchs/covid19/pulse/long-covid.htm>)**

Az új covid-19 fertőzésekre vonatkozó statisztikai adatok alacsonyak- de ennek oka az, hogy nem is tesztelnek, így az adatok nem tükrözik a valóságot. A covid-19 valós jelenlétére sokkal megbízhatóbb módszer a vírus szennyvízben kimutatható mennyiségének nyomonkövetése, amit mai napig is figyelnek, míg a covid fertőzéssel kapcsolatos adatok gyűjtését és nyomonkövetését nagyjából 2024 végén abbahagyták. Az 11. ábrán látható a CDC friss adatbázisából a covid-19 vírus mennyiségének alakulása a szennyvízben.

Az ábrán jól látható, hogy mind a mai napig szezonális ingadozással – de az influenzától eltérően nem csak télen, hanem nyáron is kiugróan magas a covid vírus jelenléte a szennyvízben, azaz a vírus továbbra is velünk van, újra és újra megfertőződhetünk vele és mivel nem diagnosztizáljuk és enyhe tünetekkel járhat, jó eséllyel észrevétlen marad a fertőzés.

Ugyanakkor minden egyes ismételt fertőzés növeli a poszt-és long-covid szindróma előfordulásának rizikóját és súlyosságát is, tehát összességében elmondható, hogy **a covid-19 továbbra is velünk van, köztünk és, sőt mivel igen nagy a veszélye, hogy észrevétlen marad, így a betegségtudat sem alakul ki az emberekben és nem is számítanak a poszt- és long-covid szindróma emberi teljesítőképességet romboló szövődményeire. A nem tudatosuló veszélyforrás pedig, legyen az fáradtság, koncentrációs zavar, alvászavar, vagy brain fog, észrevétlen, azaz látnes hibaforrás lehet a munkavégzésben.**



4. ábra: a covid-19 vírus mennyiségének alakulás a szennyvízben 2026.04.11-ig (forrás: <https://www.cdc.gov/wastewater/respiratory-viruses/national.html>)

Mivel mind az egyéni- mind a közösségi immunitásunk megszűnt, továbbá igen nagy a veszélye annak, hogy észrevétlenül zajlik ismételt covid-19 fertőzés, aminek fokozott poszt-és long-covid szindróma veszélye van minden egyes fertőződés után, ez alapján kijelenthetjük, hogy **napjainkban még nagyobb a covid-19 fertőzés utáni poszt-covid szindrómák repülésbiztonsági kockázata és ezek alapján a kutatás napjainkban is aktuális és kiemelten fontos a kutatási célok mentén azonosítani a kockázatsökkentésre alkalmas módszereket.**

## Köszönetnyilvánítás

Ennek a kutatásnak az elvi ötletét egy a Dél-Kalifornia Egyetem (USC University of Southern California), Viterbi School of Engineering által szervezett repülésbiztonsági management rendszer (ASMS) kurzuson elhangzott előadás adta, ahol először hallottam a NASA Nap study kutatásról és a mikromegalvásokról 2018 őszén. Az ezt követő évben kitört covid-19 pandémia alatt, a megszerzett repülésbiztonsági szemlélettel figyelve a poszt-covid fáradtság gyakoriságát és súlyosságát az általunk vizsgált repülő-hajózó és ROB köteles állomány körében, körvonalazódott bennem a poszt-covid fáradtság alaposabb kutatásának és repülésbiztonsági kockázatának komplex elemzésének, valamint a fáradtság objektív mérésére alkalmas módszer kutatásának szükségessége. Így köszönettel tartozom a Honvédelmi Minisztérium Közigazgatási Államtitkárság Állami Légiközlekedési Balesetvizsgáló Osztálynak (HM ÁLBO), akik lehetővé tették számomra ezen- és egyéb repülésbiztonsági szemlélet és humán faktor szakértelmet fejlesztő képzéseken való részvételemet.

Köszönettel tartozom továbbá a kutatás szakmai hátterében és a vizsgálathoz szükséges adatok, illetve a vizsgálatok elvégzéséhez segítséget nyújtó MH EK Repülőrvisi Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet (MH EK RAVYGI) teljes állományának, a Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Repülő és Űrorvosi Tanszéknek, akik segítettek a kutatáshoz szükséges EEG eszköz beszerzéséhez a KKV FÓKUSZ pályázaton való sikeres részvételben.

Köszönettel tartozom a doktori képzés során kapott támogatásért kutatási területvezetőmnek Dr. Palik Mátyás ezredes Úrnak, a kutatási téma vezetőmnek, Dr. habil Szabó Sándor András ezredes Úrnak, Dr. Dunai Pál alezredes Úrnak és Dr. Dudás Zoltán alezredes Úrnak, valamint a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola vezetésének és munkatársainak.

Az EEG detektor program megírásában nyújtott szakmai segítségért hálával tartozom Gulyás Tibor alezredes Úrnak, aki végtelen türelemmel és kitartással segített az EEG analízáló szoftver megírásában, az egészségügyi gondolataim programnyelvre fordításában.

A doktori kutatás és disszertáció elkészítésében nyújtott segítségért köszönettel tartozom Dr. Hornyák Beatrix őrnagy Asszonynak (MH EK Haderővédelmi Főnökség), Dr. Csókási Krisztina adjunktusnak (PTE BTK Személyiség- és Egészségpszichológiai Tanszék, tanszékvezető), Juhász Ákos pszichológus kollégámnak (MH EK RAVGYI FRANKO), Dr. Harry Nowrang Harper tudományos munkatársnak (SZTE Repülő és Űrorvosi Tanszék),

Fótiné Simon Antita főorzsőrmester Asszonynak (MH EK RAVGYI ROB) és Győriné Kállai Mária főorzsőrmester Asszonynak (MH EK RAVGYI KAVO), valamint a közvetlen munkatársaimnak a MH Egészségügyi Központ Haderővédelmi Főnökségen és a MH Egészségügyi Központ vezetésének, akik lehetővé tették és támogatták a doktori képzésben való részvételemhez szükséges szabadidő biztosítását.

## A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ELEMZÉSE

### **1. A Covid-19 fertőzésen átesett katonai repülőorvosi vizsgálatra kötelezett állomány teljesítménye a RAVGYI-ban elvégzett repülőorvosi alkalmasság-vizsgálatok eredményei alapján**

#### *1.1. A soron kívüli repülőorvosi alkalmasságvizsgálatok eredményeinek elemzése*

Ahogy a bevezető részben a repülőorvosi alkalmasságvizsgálatoknál említettem, a katonai repülésben dolgozók és egyéb, repülőorvosi vizsgálatokra kötelezett beosztásban feladatot teljesítők (pl. ejtőernyős, tűzszerész, légi utaskísérő, légiforgalmi irányító, fedélzeti technikus, repülőműszaki szakember) rendszeres és meglehetősen szigorú, kiterjedt szakorvosi, pszichológiai és diagnosztikus vizsgálatokon, valamint funkcionális diagnosztikai vizsgálatokon esnek át a repülőorvosi szakszolgálati engedély megszerzéséhez és a munkahely, az alakulat is rendelkezik csapatorvosi és csapatpszichológusi szolgálattal az egészségük folyamatos nyomonkövetése és megőrzése érdekében.

A polgári és a katonai repülőorvosi feladat és jogkörök között is szerepel a rendszeres repülőorvosi ellenőrzéseken kívül bizonyos esetekben soron kívüli repülőorvosi konzultáció. Polgári életben ez covid tekintetében annyiban merült ki, hogy jelenteniük kell a repülőorvos felé, ha valaki 12 óránál hosszabb időre kórházi kezelésre kerül, vagy 21 napnál tovább kiesik a repülésből táppénz miatt- ez tehát csak a súlyosabb covid fertőzéseknél eredményezett soron kívüli repülőorvosi vizitot és ebben az esetben sem történtek feltétlenül diagnosztikai vizsgálatok. A katonai repülésben ezzel szemben a pandémia kezdetétől sokkal komolyabban vettük a covid fertőzés lehetséges szövődményeit és a poszt-covid szindróma veszélyeit, ezért eleinte minden igazolt covid fertőzés után soron kívüli ROB vizsgálatra kellett megjelenniük a ROB köteles állomány tagjainak a repüléssel kapcsolatos munkába való visszatérés előtt. A repülőorvosi alkalmasság ilyen soronkívüli vizsgálatait magukban foglalták a szakorvosi, diagnosztikai, funkcionális diagnosztikai és pszichológiai vizsgálatokat is.

Ez a szigorú egészségügyi ellenőrző rendszer lehetőséget adott már a pandémia kezdeti szakaszában a covid fertőzésen átesett személyek szubjektív és objektíven is kimutatható panaszainak vizsgálatára az elvégzett soronkívüli repülőorvosi alkalmasságvizsgálatok adatainak elemzésével.

Az egyik legnagyobb félelme az (sport)orvostudománynak a poszt-covid szövődeményekkel kapcsolatban a fizikai megterhelésbe való visszatérés szempontjából a fiatal, egészséges populációban is megjelenő myocarditises szövődemény volt [114,115,116]. A vírusfertőzés kapcsán esetleg megjelenő toxinok fiatal, akár panaszmentes élsportolók esetében is okozhatnak fizikai megterhelésre hirtelen myocarditises szövődeményt, súlyos, akár halálos kimenetellel. Poszt-covid szindrómában, és későbbiekben a covid oltások egyik szövődeményeként is egyértelmű összefüggés igazolódott egyes myocarditisek és a covid-19 vírusfertőzés, vagy a covid vakcinák tüskefehérjéinek mellékhatásai között. Ennek okán néhány szerencsétlen eset tapasztalataiból okulva- a sportegészségügyi szervezetek covid-19 vírusfertőzést követően csak fokozatos, óvatos visszatérést ajánlottak a sportoláshoz [117. 118].

Mivel a **katonai szolgálat és a repülés, ejtőernyőzés, repülőműszaki munka komoly fizikai megterhelést is jelenthet, így a munkába való visszatérés előtt sarkalatos pont volt találni egy olyan funkcionális diagnosztikai vizsgálati módszert, amellyel biztonságos módon meg lehetett csinálni a terheléses teszteket.** A klasszikus funkcionális diagnosztikai módszerek között a fizikai erőnlétnek, fizikai terhelhetőségnek és a tartalék fizikai kapacitásoknak a felmérésére Bruce protokoll szerinti kerékpár vagy futószalag ergometria szerepel, átlagpopulációban 3 perces terhelési lépcsőkben, míg atlétákban és fokozott fizikai erőnlétet elváró helyzetekben (így a katonai repülőorvostanban is) 1 perces terhelési lépcső emelkedéssel, melyben a terhelési lépcső emelkedésének mértékét az egyén testsúlya határozza meg és az életkornak megengedett maximális szívfrekvencia (un. vita-max szívfrekvencia), vagy vérnyomásválasz értékig tart, ha a páciens kifáradása hamarabb nem következik be [119].

A MH EK RAVGYI Repülőorvosi Bizottsága úgy oldotta meg a fokozatos terhelés és fokozott megfigyelés elvét, hogy egy **módosított Bruce-protokoll szerint hajtotta végre** a terheléses vizsgálatokat, melyben hosszabb időintervallumokban (a szokványos 1 perc helyett 2 perces terhelési lépcsőkkel) és kisebb terhelési emelkedési fokozatok mellett több lépcsőben végezték el a vizsgálatokat. Így óvatosabb és fokozatosabb terhelési lépcsőkkel lehetett megvizsgálni a fizikai erőnlétet (lsd. 12. ábra). A vizsgálat alatt folyamatosan monitorizáljuk az EKG-t, vérnyomást, pulzust, perifériás oxigenizációt így amennyiben panasz, szívritmuszavar, légszomj, mellkasi fájdalom vagy egyéb poszt-covid-szövődemény jelentkező időben észlelni lehet és le lehet állítani a terhelést. Ezen vizsgálatok során a mért adatokból számítható a teljesítmény és így a fizikai erőnlét. A fizikai erőnlétet egyrészt a maximális teljesítmény (maximális Watt), illetve a szervezet oxigén-felhasználásának emelkedését

kifejező metabolikus ekvivalens-MET számított értéke, másrészt pedig a terhelésre jelentkező (főleg a terhelés kezdetén vagy annak fokozódásakor hirtelen kialakuló) pulzusválasz alapján tudjuk megállapítani. A szakirodalmi adatok igazolták, hogy a pulzusszám emelkedés mértéke negatívan korrelál a fizikai erőnléttel [120], azaz minél magasabbra ugrik a pulzus a terhelés hatására, annál rosszabb a fizikai kondíció.

Bruce protokoll	stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5
Sebesség km/h	2,7	4,0	5,4	6,7	8,0
Emelkedési szög	10%	10%	14%	16%	18%

Módosított Bruce protokoll	stage 0	Stage 1/2	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5
Sebesség km/h	2,7	2,7	2,7	4,0	5,4	6,7	8,0
Emelkedési szög	0%	5%	10%	12%	14%	16%	18%

12. ábra: Módosított Bruce protokoll szerinti ergometriás vizsgálat terhelési lépcsői covid-19 fertőzésen átesett személyek ROB vizsgálatánál (a szerző szerkesztése)

### 1.1.1. A covid-19 fertőzés hatása a fizikai erőnlétre a soronkívüli repülőorvosi alkalmasságvizsgálatok során

A kutatás során feldolgoztuk **44 fő covid-19 fertőzésen átesett**, így soron kívüli ROB vizsgálatra kötelezett személy terheléses EKG vizsgálat során keletkezett adatait. A fizikai erőnlét megítéléséhez figyelembe vettük a maximális teljesítményt (Watt) és az abból számítható maximális oxigénfelhasználás növekedést (MET), valamint a terhelési lépcsőkre adott pulzusválaszokat. Az alanyok a vizsgálat napján már panaszmentesek voltak, de a vizsgálatok során felmértük a covid fertőzés alatt és a vizsgálatig eltelt poszt-covid időszakban esetleg jelen lévő tüneteket is és **vizsgáltuk az összefüggést a szubjektíven jelzett tünetek és az objektíven mért fizikai állóképességre utaló adatok között.**

A fizikai erőnléttel jól korrelál a terhelésre adott pulzusválasz [120], minél magasabbra ugrik a terhelésre a pulzusszám, annál rosszabb az alany fizikai kondíciója. Azonban az ergometriás vizsgálatok során a maximálisan megengedhető pulzusszám vita-max terhelésben is életkor függő, és adott pulzusszám (pl 160/perc) más megítélés alá esik egy fiatalabb, mint egy idősebb személynél. Annak érdekében, hogy a korosztálytól függetlenül össze tudjuk

hasonlítani a terhelésre adott pulzusválasz mértékét a fizikai erőnlét jeleként, **szükséges volt egy speciális arányszám kialakítása**, amely nem a nyers pulzusértéket mutatja, hanem azt, hogy adott terhelési fokozatra a személy a nála megengedett maximális pulzusértéknek (a repülőorvosi funkcionális diagnosztikai vizsgálatok során ez a vita max pulzus: 220-életkor) hány százalékával reagál, azaz milyen gyorsan éri el és meríti ki a fizikai teljesítőképessége maximumát. Az ergometria közben **mért pulzus adatokat átszámoltuk az életkorhoz tartozó vita-max pulzus százalékos arányába, így összehasonlíthatóvá vált a terhelési lépcsőkre adott pulzusválasz mértéke a korosztálytól függetlenül.**

A vizsgálati populáció bemutatása:

A kutatásban 44 fő ROB vizsgálatra kötelezett katonai állomány covid-19 fertőzést követő munkábaálláshoz szükséges soron kívüli ROB vizsgálatának adatait elemeztem ki. Minden résztvevő férfi volt, ami magyarázható a katonai repülésben domináló nemi arányokkal. Az alanyok között 26 főnek nem volt ismert krónikus betegsége (55.32%), ez magyarázható a szigorúbb szűrési követelmények kapcsán viszonylag egészségesebb katonai repülésben dolgozó populációt tekintve, 18 főnek (32.29%) volt 1 krónikus betegsége és mindössze 4 főnek (8,51%) volt egynél több krónikus megbetegedése. A krónikus megbetegedések között leggyakoribb a hiperlipidaemia volt (HLP, 9 fő- 19,15%), illetve a magasvérnyomás betegség (3 fő és 1 főnél volt jelen poszt-covid szövődményként újonnan diagnosztizált hipertónia, összesen 4 fő, 8,51%). 3 résztvevő volt túlsúlyos (6, 38 %, obezitás-I mértékben a BMI 30 és 35 kg/m<sup>2</sup> között) és 2 résztvevőnek volt gondozott hypothyreozisa (4,25%). 4 főnél volt több krónikus betegség is jelen, ezek többsége egymáshoz kapcsolódó ok-okozati viszonyban álló megbetegedések, általában diétahibából eredő vérzsír és túlsúlyproblémák, amik a természetes progresszió okán egymás folyamányaként alakulnak ki. A krónikus betegségek megoszlását a vizsgálati mintában a 6. táblázat mutatja részletesen.

<b>Kezelt krónikus betegség</b>	<b>Páciensek száma vizsgálati csoportban</b>	<b>BMI (amennyiben obezitás jelen volt)</b>
<b>Magas vérnyomás</b>	1	
<b>Hyperlipidaemia (HLP)</b>	5	
<b>bal Tawara szár blokk</b>	1	
<b>Obezitás (mint egyetlen diagnózis)</b>	1	BMI 30,7
<b>hypothyreosis</b>	2	
<b>hyperuricaemia</b>	2	
<b>Kamrai extrasystole</b>	1	
<b>Gilbert szindróma (hyperbilirubinaemia)</b>	2	

Kezelt krónikus betegség	Páciensek száma vizsgálati csoportban	BMI (amennyiben obezitás jelen volt)
Szív mitrális vagy tricuspidális billentyű elégtelenség (minimális)	1	
Addison kór (primer hypadrenia)	1	
psoriasis	1	
Obezitás + HLP + steatosis + Gilbert szindróma	1	BMI 32,2
HLP + steatosis	1	
Magas vérnyomás + HLP + steatosis	1	
Obezitás + magas vérnyomás + HLP+ steatosis	1	BMI 32,7
Poszt-covid magasvérnyomás	1	
Semmi krónikus betegség nem ismert	26	

6. táblázat: a poszt-covid fáradékonyság fizikai erőnlétre gyakorolt hatását vizsgáló páciensek körében előforduló krónikus betegségek (a szerző munkája a kutatási adatok alapján)

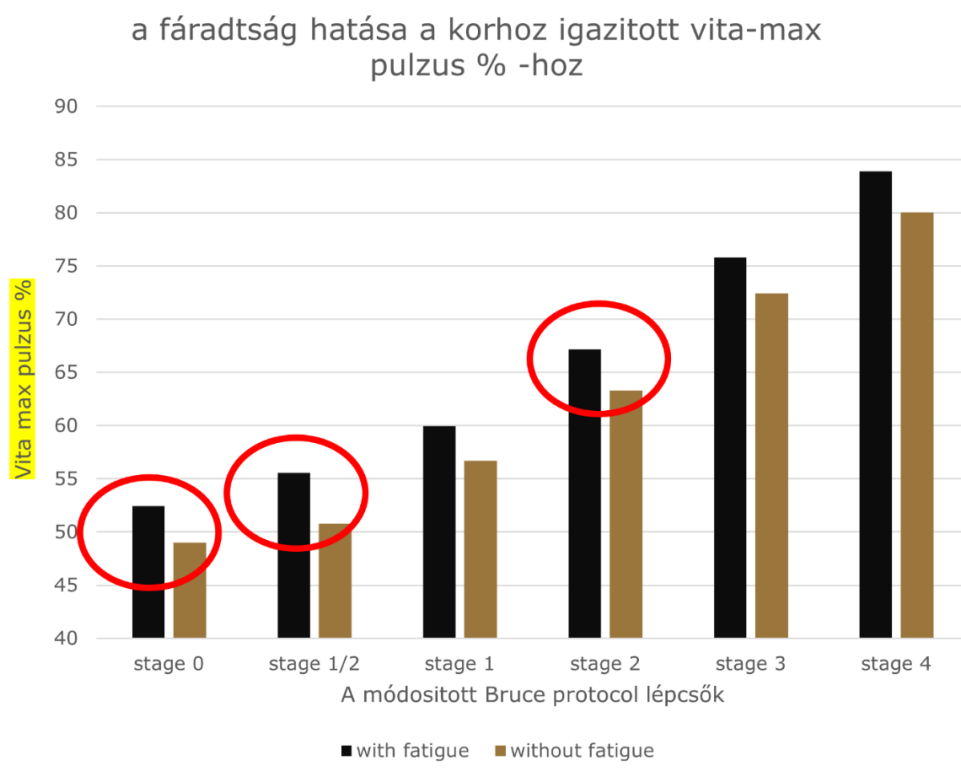
Az átlag életkor a vizsgált populációban  $36,43 \pm 9,52$  év, az átlagos testsúly:  $BMI=26,59 \pm 2,44$  kg/m<sup>2</sup>, a covid-19 fertőzés óta eltelt idő pedig átlagosan 66.9 nap volt. A páciensektől összegyűjtöttük a lezajlott covid fertőzés tüneteit, azok hosszát, a betegség súlyosságát (volt-e szükség orvosi vagy kórházi ellátásra) és a már meglévő krónikus betegségeket is. Az eredmények alapján összefüggéseket kerestem az objektíven mérhető fizikai erőnlét és a szubjektív panaszok, a betegség súlyossága, a már meglévő krónikus betegségek között, mint rizikófaktorok. Az adatok statisztikai elemzéséhez SPSS program 24.0-es verziót használtam és Pearson korrelációs valamint független mintás T-teszt vizsgálatot.

Az eredmények azt mutatták, hogy a **fizikai erőnlét** -a szervezet oxigénfelvevő kapacitásának emelkedését mutató- maximális MET értékben kifejezve **negatív összefüggést mutatott a pulzusválasszal minden terhelési lépcsőben** ( $r=-0,374 - -0,706$ ;  $p<0,01$ ). Ez az eredmény egyezik a szakirodalmi megállapításokkal, miszerint a fizikai kondíció negatívan korrelál a pulzusválasszal.

További eredmények igazolták, hogy a covid19-fertőzés során jelentkező tünetek közül a **szubjektíven megélt fáradtság kialakulása szignifikáns összefüggést mutatott** ( $p<0,05$ ) a terhelésre mutatott objektíven mérhető **pulzusválasszal mértékével** mind a nyers pulzus adatok, mind a korhoz igazított vita-max pulzus százalékában kifejezett arányszám tekintetében a legtöbb terhelési lépcsőben. Részletesen vizsgálva az eredményeket szignifikancia volt igazolható a korhoz igazított vita-max pulzusérték százalékokban a terhelés kezdetén 0. lépcsőben ( $t(45)=2,038$ ;  $p<0,05$ ), az ½ lépcsőben ( $t(45)=2,544$ ;  $p<0,05$ ), 2. lépcsőben ( $t(45)=2,051$ ;  $p<0,05$ ) és marginális szignifikancia volt igazolható a többi terhelési lépcsőben

is. Valószínűsíthető, hogy a minta alacsony elemszáma miatt lett csupán marginális szignifikancia ez utóbbi lépcsőkben és nagyobb elemszám esetén minden lépcsőben megmutatkozott volna a szignifikancia. Továbbá szignifikáns összefüggés volt a terhelés megkezdésekor jelentkező kezdő nyers pulzusértékekkel  $t(45)=2,182$ ;  $p<0,05$  ami igazolja, hogy azok a páciensek, akik szubjektíven fáradtságot éreztek, azoknál a terhelésre jelentkező kezdő pulzusértékek magasabbak voltak, tehát objektíven is rosszabb fizikai állapotban voltak a fertőzést követő 2. hónap végén is.

Ez úgy értelmezhető, hogy azok a páciensek, akiknél megjelent a fáradtság, mint szubjektív tünet a fertőzés során, azok magasabb pulzusválasszal reagáltak a terhelésre, azaz objektíven is rosszabb fizikai kondícióban voltak még kb 2 hónappal a fertőzés után is (13. ábra). **Tehát a szubjektív poszt-covid fáradtság érzés objektíven is kimutatható fizikai kondíciócsökkenéssel jár** a fertőzést követő 66 nappal is.



**13. ábra: a terhelésre jelentkező pulzusválasz mértéke a fáradtságot szubjektíven megélt- illetve arra nem panaszkodó páciensek között (a szerkesztő saját munkája a kutatási adatok alapján)**

További eredmények igazolták azt, hogy a **meglévő krónikus betegségek** esetén a terhelési fokozatok **szignifikánsan magasabb pulzusválasszokkal** járnak, és ezen csoportban **gyakrabban alakul ki lázas betegség**. Ezen eredmények azt jelentik, hogy a krónikus betegségek megléte önmagában is rosszabb fizikai kondíciót eredményez a fertőzést követő 2

hónappal is, tehát rizikófaktor a komolyabb poszt-covid szövődmények tekintetében, továbbá a kutatás ezen eredményei igazolják a nemzetközi szakirodalom adatait, mi szerint a krónikus megbetegedések jelenléte súlyosabb betegségfolyást és komolyabb szövődményeket valószínűsít.

**A covid-19 fertőzés kapcsán kialakuló köhögés szignifikáns összefüggést mutatott a terhelés maximumához közelítő 3. ( $t(42)=-2,181$ ;  $p<0,05$ ) és 4. ( $t(23)=-2,108$ ;  $p<0,05$ ) terhelési lépcsőben mérhető pulzusadatokkal.** Azaz, azon páciensek, akiknél a covid-19 fertőzés köhögéssel járt, azok rosszabbul teljesítettek a magasabb terhelési lépcsőkben. Ez talán azzal magyarázható, hogy a köhögés hatására a magasabb terhelési lépcsőkben kifulladtak és így rosszabb erőnlétet mutattak, ami érthető a köhögéssel járó kórélettani folyamatokkal és a légzésfunkciós kapacitásra gyakorolt negatív hatásaival.

**A covid-19 fertőzés egyéb tipikus tüneteinek jelenléte a fertőzés akut fázisában (um. íz és szaglászvesztés, ízületi fájdalmak) nem mutatott szignifikáns összefüggést a fizikai erőnlétet mutató MET értékkel,** így tehát valószínűsíthető, hogy ezek az érintett szervrendszerek regenerálódnak a fertőzést követő 2. hónap végére, vagy legalábbis már nincsenek hatással az erőnlétre.

A mért élettani paraméterek közül **a vérnyomás és a perifériás oxigén szint sem mutatott szignifikáns összefüggést** sem a szubjektív panaszokkal, sem a fizikai erőnlétet képviselő MET értékkel, ebből az következtethető, hogy a fáradtságon és a köhögésen kívül a covid19-fertőzés egyéb tipikus tünetei (pl. láz, íz- és szaglászvesztés), a megbetegedés hossza már nem befolyásolja az objektíven mérhető fizikai erőnlétet a covid-19 fertőzést követő 66 nap után. 2 hónappal a fertőzést követően már szintén nem befolyásolja a keringési (vérnyomás)- illetve pulmonális rendszer (perifériás oxigén szaturáció) fizikai terhelésre adott reakcióját, ezek a szervrendszerek jelen adatok szerint regenerálódnak kb. 2 hónap alatt.

### *1.2. Az első hipotézis vizsgálata*

A kutatás ezen adatainak elemzése és a kapott eredmények megerősítik a jelen kutatás azon feltételezését, hogy a covid19-fertőzés során az irodalmi adatok szerint igen gyakran, hosszú ideig fennálló fáradtság jelentősen befolyásolhatja a fizikai terhelhetőséget – ezzel az emberi teljesítőképességet is, így jelentős repülésbiztonsági kockázatot jelenthet még 2 hónappal a fertőzés után is.

**A kutatás első hipotézise**, miszerint a covid-19 fertőzésen átesett, szubjektív fáradtságról beszámoló személyek fizikai teljesítőképessége szignifikánsan alacsonyabb, mint azon fertőzésen átesett személyeké, akiknél a poszt-covid fáradtság a vizsgálat időpontjában már nem áll fenn, **igazolásra került. Az adatok elemzése egyértelműen igazolja, hogy a szubjektív poszt-covid fáradtság objektíven is mérhető fizikai állapotromlással jár- még a fertőzést követő 2 hónappal is.**

### *1.3. Részkövetkeztetések*

A fizikai erőnlétre vonatkozó felmérés adatai alapján igazolható a poszt-covid szindróma- különösen a fáradtság repülésbiztonsági jelentősége, mivel bebizonyosodott, hogy a szubjektív fáradtsággal együtt jár objektíven mérhető fizikai teljesítménycsökkenés is, ami a repülésben végzett munka során jelentős humán faktor hibaforrás lehet. Ezek alapján covid-19 fertőzésen átesett repülőorvosi vizsgálatra kötelezett személyeknél szakmailag és repülésbiztonsági szempontból indokolt lehet a fokozott megfigyelés és a szorosabb repülőorvosi nyomonkövetés, különösen azon csoportban, ahol a fáradtság, mint szubjektív poszt-covid tünet jelen volt. A szubjektív fáradtság és objektív fizikai erőnlét együttállása egyben felhívja a figyelmet a repülésben a szubjektív fáradtság kellő komolysággal történő kezelésére és a fáradtság menedzsment rendszer elemeinek szigorú betartására a poszt-covid időszakban.

## **2. A Covid-19 fertőzésen átesett pilóták és repülésben dolgozók teljesítményt befolyásoló panaszainak prevalenciája és lefolyása az első és az ismételt fertőzést követően, a rehabilitáció folyamata**

A kutatás 2., 3. és 4. hipotézise a covid-19 fertőzésen átesett célcsoport körében a repülésbiztonság szempontjából releváns tünetek előfordulási gyakoriságának, időbeni lefolyásának, az ismételt covid-19 fertőzéseknél jellemző tünetek prevalenciájának és ezeknek a poszt-covid panaszoknak a humán faktor hibaforrás kockázatával való összefüggésének elemzésére épül.

Feltételezem, hogy az ismételt covid-19 fertőzések fokozzák a poszt-covid tünetek súlyosságát, ezáltal növelik a repülésbiztonsági kockázatot

Feltételezem, hogy a poszt-covid és long-covid szindróma során több, repülésbiztonsági kockázatot jelentő tünet és szövődmény akár 6–12 hónapig is fennmaradhat, és a munkába való

visszatérést követően humán faktor hibák kialakulásához vezethet, azaz a rehabilitáció elhúzódó folyamat, mely során nő a humán faktor hiba veszélye.

Továbbá feltételezem, hogy szignifikáns különbség van a katonai és a civil pilóták között előforduló Covid-19 fertőzés gyakoriságában és a hosszútávú (megemelkedett repülésbiztonsági rizikót jelentő) szövődmények előfordulásában.

A fenti hipotézisek vizsgálatához online, anonim kérdőíves módszert választottam, melynek célcsoportja a repülésben dolgozó katonai és polgári populáció, állami-, kereskedelmi- és magánpilóták, repülőgép fedélzetén szolgálatot teljesítők, légiforgalmi irányítók, repülőműszaki szakemberek és ezek tanulói. A célcsoport eléréséhez kiválóan illeszkedik a rendszeres kapcsolattartásra lehetőséget adó munkám az MH EK Repülőorvosi Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézetben (MH EK RAVGYI) működő katonai és polgári repülőorvosi központtal, melynek segítségével mind katonai, mind polgári pilótákkal és repülésben dolgozó személyekkel van lehetőségem kapcsolatot teremteni és a katonai repülésben dolgozó célcsoport teljes állománya az Intézetben kötelezett repülőorvosi alkalmasságvizsgálatokra. Továbbá a MH EK RAVGYI bázisán működő Szegedi Egyetem Általános Orvostudományi Kar, Repülő és Űrorvosi Tanszéknél végzett munkám, melynek révén az általunk szervezett repülőorvosi szak és továbbképzéseken rendszeresen kapcsolatban vagyunk a polgári pilóták repülőorvosi engedélyeivel foglalkozó civil repülőorvosi vizsgálóorvos kollégákkal, rajtuk keresztül elérhető a polgári repülésben dolgozók köre. Mindezek mellett a polgári repülésben dolgozó célcsoport eléréséhez kiváló lehetőséget ad a magyarországi polgári légtérirányítási feladatokért felelős HungaroControllal fenntartott több éves együttműködésünk, minden évben rendszeresen kérnek fel repülésbiztonsági és repülőorvosi témájú előadások, továbbképzések megtartására a polgári magán repülésben résztvevő kisméretű pilóták fórumain, így széles körben elérhettem a polgári kisméretű hobbipilótákat is, akik a legenyhébb repülőorvosi szabályozók (EASA LAPL repülési engedély) mentén kaphatnak repülésre engedélyt és így feltehetőleg az egyik legnagyobb rizikójú csoportot jelentik a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatelemzésében. A fiatalabb célcsoport eléréséhez a kutatási területvezetőm és kutatási témámhoz kapcsolódó tanulmányok és közös kutatás-fejlesztési projektek kapcsán a Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék kiváló munkatársai nyújtottak értékes segítséget. Mindezek segítségével a kutatásomhoz széleskörben elérhettem mind a katonai- mind a polgári repülésben dolgozó célcsoportokat.

## 2.1. Az empirikus vizsgálat bemutatása

Ahogy az elméleti bevezetőben is említettem a covid-19 fertőzés az elhúzódó tünetek (ún. poszt-covid szindróma) és az esetleges szövődmények miatt jelentős kockázatot jelenthet a repülésbiztonságra. Hipotéziseim igazolásához empirikus vizsgálatot végeztem, melynek során egy online felületen elérhető kérdőívet vettem fel. Empirikus vizsgálatom célja a covid-19 fertőzést követően kialakuló tünetek és lehetséges szövődmények előfordulási gyakoriságának felmérése, valamint ezen panaszok repülésbiztonságra gyakorolt hatásának elemzése. A kutatás célcsoportját az előző bekezdésben részleteztem. A kérdőív önkéntes részvétel alapján, anonim módon került felvételre, a résztvevőket a vizsgálat céljáról tájékoztattam, a résztvevő személyek írásban hozzájárultak adataik tudományos, kutatási célú felhasználásához. A vizsgálat az MH EK IKEB engedélyével rendelkezett. Az adatgyűjtés időszaka 2024.04.02. - 2026.03.30. Az empirikus vizsgálat első lépéseként az adatbázis tisztítását és elemzésre történő előkészítését végeztem el, ezt követte a leíró, deskriptív statisztikai elemzés, majd a hipotéziseim mentén végrehajtott analitikus elemzés, melynek során statisztikai próbákat (t-próba, Fisher-féle egzakt próba, Wilcoxon-teszt, Cronbach-alfa meghatározása) használtam R stúdió programmal. A hipotézisvizsgálat során alkalmazott szignifikancia szint értéke  $p \leq 0,05$ .

### *2.1.1. A vizsgálati eszköz bemutatása*

Az általam összeállított kérdőív 50 kérdést tartalmazott, 5 fő részre tagolódott. Az első részben a szociodemográfiai adatokra kérdeztem rá. A második részben az egyén covid oltottsági státuszára, a rizikófaktorok meglétére, és amennyiben volt covid-19 fertőzése, akkor a covid-betegség kapcsán jelentkező tünetek jellegére, időtartamára vonatkozó kérdések szerepeltek. A harmadik részben szereplő kérdések az egyén munkakörére, az azzal járó leterheltségre, a feladatok intenzitására és a munka-pihenés egyensúlyára kérdeztek rá. A kérdőív negyedik részében a covid utáni munkába való visszatérést követően fennálló szubjektív panaszokra kérdeztem rá, melyek befolyásolhatják az egyén korábbi munkaképességét és repülésbiztonsági kockázatot jelenthetnek. Legvégül a jóllét és az alvászavarok felmérése következett, nemzetközileg használt kérdéssorok segítségével. A jóllét mérésére a WHO Általános jóllét skála (WBI-5) magyar változatát használtam, melynek validitásvizsgálatát Susánszky és mtsai (2006) végezték el [121]. A pszichometriai vizsgálatok alapján a kérdőív igen jó belső megbízhatósággal rendelkezik (Cronbach-alfa:0,85). A magyar mintán mért átlagérték 7,8 pont (SD=3,8) [121]. Az Athén inszomnia skála (AIS) az alvászavarok felmérésére és az inszomnia diagnosztizálására szolgál [122. 123]. A magyar

változat pszichometriai jellemzői jónak bizonyultak, Cronbach alfa: 0,86 (Novák, 2003.) [124]. A továbbiakban a kérdőív tagolásának megfelelően ismertetem az eredményeimet.

### 2.1.2. A vizsgálati minta bemutatása

#### 2.1.2.1. Életkor és szociometriai adatok

A vizsgálati mintát **85 fő** alkotta, akik az online kérdőívet kitöltötték. Szociodemográfiai szempontból a nemi megoszlás tekintetében a válaszadók 82,56%-a férfi volt. Az **átlag életkor 43,35 év** volt ( $s=14,052$ ), a korcsoportos megoszlást az 7. táblázatban tüntettem fel.

Korcsoport	Prevalencia érték
>25 év	15,29%
26-35 év	15,29%
36-45 év	21,17%
46-55 év	25,88%
56-65 év	17,65%
>65 év	4,70%

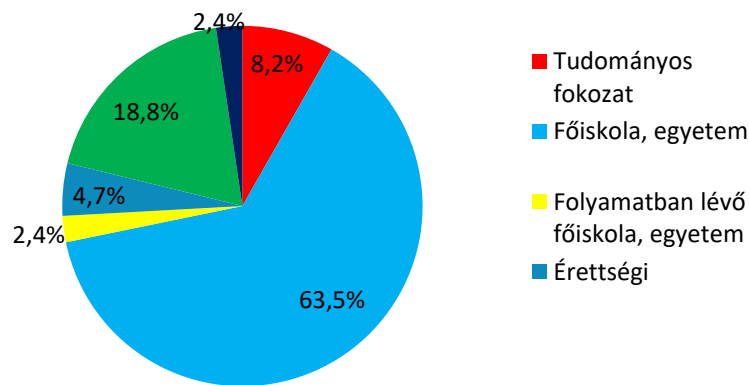
7. táblázat: A vizsgálati minta korcsoportos megoszlása ( a szerző saját munkája)

A férfi dominancia a repüléssel kapcsolatos munkakörökben a légiutas kísérők kivételével általánosságban jellemző, a légiforgalmi irányítók között illetve kicsi, bár növekvő arányban a pilóták között, valamint a légiutas kísérőkön túl a medevac szakszemélyzet körében dolgoznak nők. A kérdőív adatai is ezt igazolják.

A mintában az átlag életkor magasnak mondható (43,35 év), ami befolyásolhatja a mintában már jelenlévő krónikus betegségek arányát, habár az irodalmi áttekintésnél részletezett módon a polgári repülésben tapasztalható életkor kitolódás és azzal együtt várható jelentős társuló krónikus betegségek okozta repülésbiztonsági rizikó becslés tekintetében talán hasznos is lehet a kérdőíves adatok magasabb átlag életkorra alapuló eredmények talaján egy olyan kitekintés, mely jobban előrevetíti a létszámban- és így repülési incidens gyakoriságban is nagyobb rizikót jelentő polgári pilóták körében a várható poszt-covid szindróma kapcsán megjelenő repülésbiztonsági rizikót. Ezt a magasabb átlag életkort a vizsgálati mintában egy előzetes eredményeken alapuló publikációmban is kritikaként fogalmaztam meg [125], ezt követően igyekeztem a kérdőív kitöltését újra promótálni a fiatalabb korosztály körében. Ennek eredményeképpen némileg sikerült csökkenteni az átlag életkort az adatorzulások csökkentése érdekében.

A válaszadók túlnyomó többsége (71,76%) házas- vagy párkapcsolatban élő, az elváltak aránya 11,76%, a hajadonok/nőtlenek aránya pedig 16,47% volt. A legmagasabb iskolai

végzettség szerinti megoszlást az 14. ábrán tüntettem fel, az ábrán jól látható, hogy a válaszadók túlnyomó többsége (71,7%-a) felsőfokú végzettséggel rendelkezett. Ennek magyarázata az, hogy a repülésben dolgozók többségének felsőfokú végzettségre van szüksége a szakvégzettség megszerzéséhez (pilóták, légitforgalmi irányítók és a repülőműszaki területen a repülőmérnökök).



14. ábra: A minta legmagasabb iskolai végzettség szerinti megoszlása ( a szerző saját munkája)

#### 2.1.2.2. Testalkati adatok

Egészségi állapot szempontjából az **átlagos BMI** érték a mintában  $27,42 \text{ kg/m}^2$  ( $s=5,35$ ), a BMI kategória szerinti megoszlást a 8. táblázatban tüntettem fel. Az enyhén emelkedett átlagos BMI érték mellett figyelembe véve azt is, ami a testsúly kategóriánkénti eloszlásán látható, hogy a vizsgálati populáció többsége, 40%-a túlsúlyos volt, bár jellemzően nem túlzottan, csak az elhízás első fokozatában ( $\text{BMI } 25\text{-}30 \text{ kg/m}^2$ ), magyarázatra szorulhat, különösen a katonai populációt tekintve. Ez az eredmény kissé meglepő, különösen a katonai repülésben, ahol a pilóták a repült géptípus által meghatározott súlykorlátok mellett repülhetnek, valamint a légiutaskísérők, légitforgalmi irányítók, a repülőműszaki szakemberek és a fedélzeten szolgálatot teljesítő szakemberek nem csupán a jóval szigorúbb katonai repülőorvosi szabályzóknak foglaltaknak kell megfelelniük (ami alapvetően egészségtudatos életmódot követel meg és feltételez az alkalmassághoz), hanem a mindennapi munkájuk mellett a katonai szolgálat fizikai és testalkati követelményeinek is eleget kell tenniük (az pedig határozott maximumokat ír le maximálisan megengedett testsúly, BMI és testzsír százalék tekintetében is), ahol komoly nehézséget okozhat a túlsúly mellett megfelelően teljesíteni a fizikai követelményeket. Ez az eredmény részben magyarázható a minta magas átlagos életkorával (43,35 év), ami jellemzően együtt jár a fizikai aktivitás csökkenésével mind a korrallal megváltozó anyagcsere jellemzők, mind az életmód, mind pedig a kialakuló társbetegségek

talaján. Részben pedig magyarázható a polgári repülésben dolgozó populáció részvételével is, ahol nincsenek a katonai repülésre jellemző szigorú testalkati követelmények, továbbá a magánpilóták (hobby pilóták) körében a repülés, mint igen költséges sport önmagában is feltételez egyfajta jóllétet, ami gyakran jár együtt piknikus életmóddal és testalkattal is. Sajnos a jóllét leggyakrabban a bevitt kalóriák növekedésével és a testmozgás hiányával társul egyéb más egészségkárosító szokások és civilizációs betegségek talaján. A repülés ugyan sportnak számít, de a magánpilóták körében jellemzően kis teljesítményű repülőgépek vannak használatban, ami nem jelent élettanilag nagy gravitációs és gyorsulási túlterhelést, azaz a pilóta repülés közben nem végez túl nagy fizikai munkát, a légiforgalmi irányítás pedig tipikusan ülő munka, így nem kedvez az egészséges testalkat fenntartásának.

Az obezitás kiemelt rizikófaktor a covid-19 betegség szövődményei tekintetében, jelentősen fokozhatja a szív-érrendszeri rizikót- ezzel a hirtelen cselekvőképtelenség kockázatát-, az alvási apnoét és egyéb alvászavarokat, magasvérnyomás és cukorbetegséget, így ezen a ponton szorosan kapcsolódhatunk a kutatás fő témájához, a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázataihoz. A szakirodalmi összefoglalóban részletezett adatok alapján az obezitás egyértelműen kiemelt rizikófaktort jelent a covid-19 fertőzés során várható akut tünetek és a poszt-covid szövődmények súlyossága tekintetében is, tehát az obezitás megelőzése vagy csökkentése alapvetően jó és szükséges módszer a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatainak csökkentésében is. Mindezek mellett, a mintában a fiatalabb életkorok növelésével valószínűleg ez az eredmény elmaszkolódhatott volna (a BMI átlag normál tartományba kerülhet), nem feltétlen kerül előtérbe a testalkati értékek megoszlása kapcsán ez az enyhe túlsúly probléma- ami jelen kutatási adatok segítségével alapot adhat egy életmóddal, sporttal, túlsúllyal kapcsolatos ismeretfrissítő programnak, oktatási anyagnak vagy konferencia előadás témának, amivel aktívan tehetünk az egészségesebb életmód, a betegségmentes jóllét- és egyben a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatainak mitigálása érdekében is. Ebből a szempontból nézve, kifejezetten a polgári repülésben dolgozók körében, jól alkalmazható ez az eredmény kockázatcsökkentő programok kidolgozásához.

BMI kategória	Prevalencia érték
Normál	32,29 %
Túlsúlyos	40%
Elhízott I.	17,65%
Elhízott II.	3,53%
Elhízott III.	3,53%

8. táblázat: A vizsgálati minta BMI kategória szerinti megoszlása (a szerző saját munkája)

### 2.1.2.3. Krónikus betegségek megoszlása a mintában

A **krónikus alapbetegséggel** rendelkezők aránya 48,23% volt, a leggyakoribb betegség (az esetek 51%-a) **magasvérnyomás** betegség volt, a második helyen a **pajzsmirigy betegség** (17,95%), míg a harmadik helyen az **alvási apnoe** állt 7,69%-os gyakorisággal.

A krónikus betegségek magas aránya részben magyarázható a magas átlagos életkorról (43,35 év). A **magasvérnyomás** népbetegség, általános életmódbeli változások és stresszterhelés növekedés is magyarázhatja, továbbá együtt járhat a mintában kimutatható 40%-os elhízottsággal is. Repülésbiztonsági rizikóját a hirtelen cselekvőképtelenség kialakulásának magas kockázata jelenti, különösen a nagy teljesítményű repülőgéptípusok esetén, ahol a sebesség olyan manővereket tesz lehetővé, melyek jelentős gyorsulási és gravitációs túlterhelésekkel járhatnak. Ilyenkor a szív-érrendszerben hirtelen áthelyeződő vérmennyiség regulációja és az agyi- valamint szív és tüdő hatékony keringésének fenntartása komoly kihívást jelenthet a szervezetnek. A magasvérnyomás betegség jelentősen ronthatja a keringési rendszer ezirányú rugalmasságát és hosszútávon olyan strukturális változásokat okozhat a szívizmon, ami kedvezőtlenül hathat a szív és a keringés repülési manőverek során kialakuló gravitációs túlterhelést kompenzáló képességére, végső soron jelentősen növelheti a hirtelen cselekvőképtelenség kialakulásának kockázatát. A poszt-covid szindróma során a szakirodalmi adatok alapján kialakulhat új keletű magasvérnyomás betegség és átmenetileg romolhat a már meglévő krónikus magasvérnyomás betegség is, amire ezek alapján a poszt-covid időszakban fokozottan kell figyelni. Az obezitás mellett az alvászavarok is igen gyakoriak a poszt-covid szindrómában és ez tovább ronthatja a magasvérnyomás betegséget átmenetileg, vagy akár tartósan is ebben az időszakban. A magasvérnyomás betegséget néma gyilkos néven is emlegetik, mert kezeletlen esetben pillanatok alatt okozhat kritikus, akár életveszélyes állapotot – akár repülés közbeni gyorsulás túlterhelés hatására is annak ellenére, hogy a vérnyomás most már nagyon egyszerűen monitorizálható akár mindennapi okoseszközökkel is

és az időben bevezetett és megfelelően gondozott gyógyszerelés mellett nem kizáró és legtöbb esetben nem is korlátozó tényező repülőorvosi szempontból a repülésben. Az eredmények alapján az obezitáshoz hasonlóan érdemes ismeretfrissítő és egészségfejlesztő előadások témájában feldolgozni a magasvérnyomás betegség megelőzése, észlelése és megfelelő kezelése, gondozása kérdéskört is, mivel az eredmények egyértelműen azt mutatják, hogy ez a betegség a legfőbb már meglévő krónikus betegségcsoport- és számos poszt-covid szövődmény tovább fokozhatja ezt és egyben a magasvérnyomásban rejlő repülésbiztonsági rizikót is. Mivel a magasvérnyomás (és az obezitás is) jól csökkenthető megfelelően tudatos egészséges életmóddal, így annak oktatása hatékony kockázatkezelési módszer lehet.

A második leggyakoribb krónikus betegség a mintában a **pajzsmirigy betegségek** csoportja, ami gyakori kutatási téma a repülésben dolgozók körében, feltételezték, hogy a nagy repülési magasság (utasszállító repülőgépek, teherszállító repülőgépek, vadászgépek és űrhajósok körében) a Föld elektromágnesen védőburkának gyengülése kapcsán fokozódó kozmikus sugárzás okozhatja a pajzsmirigy betegségek és egyes malignus betegségek kockázatát is, de ezek a feltételezések nem igazolódtak, nem mutattak ki szignifikánsan nagyobb pajzsmirigybetegség előfordulást és kockázatot a repülő hajózó személyzet körében. A pajzsmirigy betegségek széles csoportja köthető valamilyen immunológiai, autoimmun betegséghez. A repülésben dolgozók nagy többsége fokozott időkényszer, jelentősen emelkedett stressz szint mellett és sokszor a cirkadián ritmust jelentősen befolyásoló munkarendben dolgozik. Ezek a faktorok könnyen vezethetnek a krónikus stressz talaján gyulladásos emésztőrendszeri betegségekhez, a bélrendszer pedig- mint az egyik legnagyobb immun szervünk, vezethet immunológiai panaszok kialakulásához. A másik magyarázata a pajzsmirigybetegségek jelentős prevalenciájának lehet a civilizációs betegségként kialakuló probléma, az átalakult táplálkozási szokások és túlságosan feldolgozott, előkezelt és vegyi anyagokkal, antibiotikumokkal és bioaktív szerekkel kezelt élelmiszerekkel bevitt számos károsító adalékanyag (pl. szója- ami gyakori allergén az emberi szervezetben és a fehérjéje nagyon hasonlít a pajzsmirigy egyes alkotóelemeire, így autoimmunitást válthat ki). Repülésbiztonsági szempontból a pajzsmirigybetegségek rendszeres gondozás és kezelés mellett kevésbé jelentősek, ritkán okoznak hirtelen cselekvőképtelenséget, mivel az igazán veszélyes formái (pl. a thireotoxikus krízis) legtöbbször markáns tünetekkel és látható alaki- vagy méretbeli eltérésekkel, vagy egyéb (pl. elődomborodó szem) tünetekkel jár együtt, ami orvoshoz viszi a beteget. Megjegyzendő ennél a kérdéskörnél, hogy a pajzsmirigy túlműködés talaján kialakuló tachycardia (különösen a paroxysmalis supraventricularis tachycardia), ami

egyes esetekben látható alaki eltérések és markáns figyelmeztető előjelek nélkül is kialakulhat, jelentősen csökkentheti a pilóták gravitációs gyorsulási tűrőképességét, a polgári életben pedig kihívást és repülésbiztonsági rizikót jelenthet a napjainkban feltörekvő űr-turizmusban.

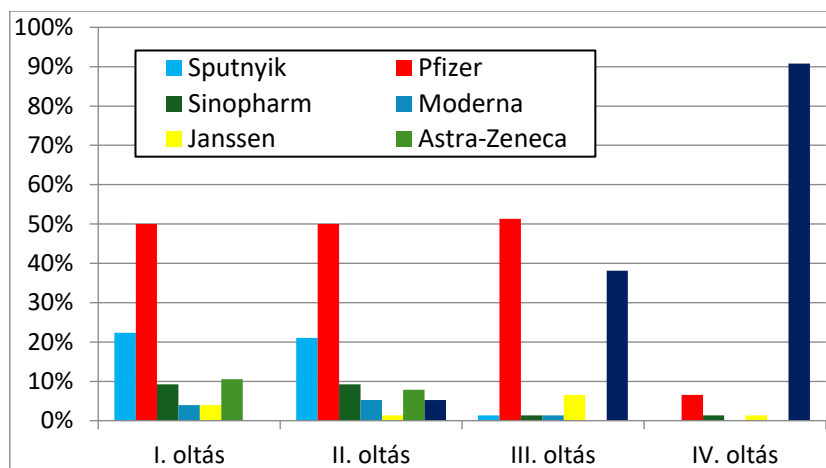
Az **alvási apnoe** is kiemelkedő gyakorisággal szerepel a kérdőív eredményei szerint, ennek önmagában is van repülésbiztonsági jelentősége, mivel jelentősen rontja az alvásminőséget, ezzel major faktor lehet a fokozott nappali álmoság és fáradtság kialakulásában, fenntartásában és fokozásában is. A poszt-covid fáradékonyság az alvási apnoeal társulva jelentős humán faktor hibaforrás veszélyt jelenthet munkavégzés közben a covid-19 fertőzés után, és a magasvérnyomáshoz hasonlóan olyan betegségről van szó, ami megfelelő kivizsgálást követően nagyon hatékonyan kezelhető. Ezen a ponton is hatékony kockázatsökkentés lehet egy alvási apnoe tüneteire és kezelési lehetőségeire irányuló általános egészségfejlesztő oktatási program, ami segíti az alvási apnoeaban szenvedő hajózók megfelelő szakvizsgálatokra történő becsatornázását. Hosszútávú repülőutakon, vagy olyan munkakörülmények között, ami megengedi a pihenést, vagy kötelező pihentetést tesz szükségessé a repülési feladatok között idegen helyeken, kimagasló jelentősége lehet az alvási apnoe időbeni felismerésének és kezelésének, mivel a megfelelő kezeléssel biztosítani lehet a kellő pihentető alvásminőséget, ezzel lehetővé téve a szükséges és kellő minőségű regenerációt [137,138]. A repülésben a pihenés mennyisége mellett annak minősége is kritikus lehet a fáradtság okozta humán faktor hibaforrások megelőzése tekintetében, a poszt- és long-covid szindrómában közel 10%-ban 9-12 hónapig is fennálló alvászavarok a jelen kutatási eredmények alapján 3. leggyakoribb krónikus betegségként jelen lévő alvási apnoe betegség mellett akár kritikus mértékű alvásminőség romláshoz is vezethetnek, ez pedig mind az akut, mind pedig a krónikus fáradtság kialakulásának rizikóját többszörösére emelheti. A repülésbiztonsági menedzsment rendszerek keretében működő Fáradtság Rizikó Menedzsment Rendszerről (FRMS) a szakirodalmi összefoglalóban részletesen írtam, ám az alvási apnoe, mint jelentős fáradtság rizikó a repülőorvosi alkalmasságvizsgálat során kerül értékelésre és vizsgálatra, ha a gyanúja felmerül (fizikális vizsgálat, alvási szokásokra vonatkozó anamnézis, heteroanamnézis során, vagy OSAS teszten). Mivel az alvási apnoének jelentős korlátozó hatása lehet a gépjárművezetői engedélyekre is és többen tartanak a kezeléséhez gyakran használt CPAP készülékek okozta lehetséges kellemetlenségektől, így gyanítható egy disszimulatív trend a még nem diagnosztizált eseteknél, azaz előfordulhat, hogy igyekeznek eltitkolni az alvási apnoéra utaló jeleket, vagy manipulálni próbálják a kérdésekre adott válaszokat. Az alvási apnoe és a kóros nappali fáradtság- valamint többek között a

magasvérnyomás betegség, a cirkadián ritmuszavar, szívritmus zavarok vagy akár kognitív képességek romlása, kezeletlen esetekben szorosan összefügghet egymással jelentősen megnövelve a humánfaktor hibaforrás veszélyét munkavégzés közben. Mivel a betegség jól kezelhető, és nem kizáró a repülőorvosi alkalmasságból (csak a kezeletlen probléma- a megfelelő diagnózis, kezelés és gondozás beállításáig), a kezeléssel ez a repülésbiztonsági rizikó jól mitigálható- így ebben az esetben is alapvetően fontos lenne egy a tévhiteket eloszlató és korrekt repülőorvosi oktatási program kidolgozása az alvási apnoe kezelésével kapcsolatban a repülésbiztonság érdekében.

## 2.2. Covid-19 oltással és fertőzéssel (tünethossz, tünetlefolyás) kapcsolatos eredmények

Covid-19 elleni védőoltás tekintetében az oltási hajlandóság csökkenő tendenciát mutatott, míg a válaszadók 89%-a egy, illetve 85%-a két oltást kapott, addig a három oltásban részesülők aránya már csak 55% volt és mindössze 8% részesült négy oltásban. Az oltásonkénti oltóanyag típus megoszlását a 15. ábra szemlélteti, az ábrán jól látható, hogy a legtöbben Pfizer oltást kaptak.

A kezdeti időszak magas átoltottsági mutatói a pandémia kezdetén a betegség súlyosabb tüneteket okozó első szakaszában az oltóanyagok megjelenésekor a teljes népességre jellemző oltási hajlandóság mellett azt is tükrözik, hogy a Magyar Honvédség, mint kiemelt feladatköröket ellátó munkáltató, egészségvédelmi szempontok alapján kötelezte a tagjait a covid oltások felvételére, és számos más polgári munkakörben (pl. egészségügyben) is hasonlóan tett az állam illetve a munkáltatók. Az emberi kontaktus kerülése a légi utasforgalmat eleinte ellehetetlenítette, de még a légi teherforgalmat is jelentősen akadályozta. Erre az oltottság és a szájmaszk, valamint távolságtartás bevezetése nyújtott megoldást, így a működőképesség fenntartása érdekében eleinte vélhetőleg a polgári repülésben dolgozók körében is általános volt az oltások felvétele. Ezt követően a nagyon hirtelen forgalomba engedélyezett oltások ellen számos kritika és potenciális szövődményekről szóló információk terjedtek el, melyek hatására a polgári lakosság körében az oltási hajlandóság jelentősen csökkent, azonban a Magyar Honvédség állományának körében a 3. oltás még kötelező volt, ám a 4. oltás időszakában már nem volt kötelező ott sem, csak az egészségügyben dolgozóknak mind polgári mind katonai körökben, másoknak önkéntes alapon (többnyire a magas kockázatnak kitett betegségekkel rendelkezők, illetve kisgyermek közvetlen közelében élők körében) történt a 4. oltás. Ez magyarázhatja az eredményekben a 3. oltásnál kezdődő csökkenést és a 4. oltásoknál mutatkozó igen alacsony arányt.



15. ábra: Covid-19 oltásra vonatkozó eredmények (a szerző saját munkája)

### 2.2.1. Az első és az ismételt covid fertőzéseknél tapasztalható tünettan és kórlefolyás jellemzői

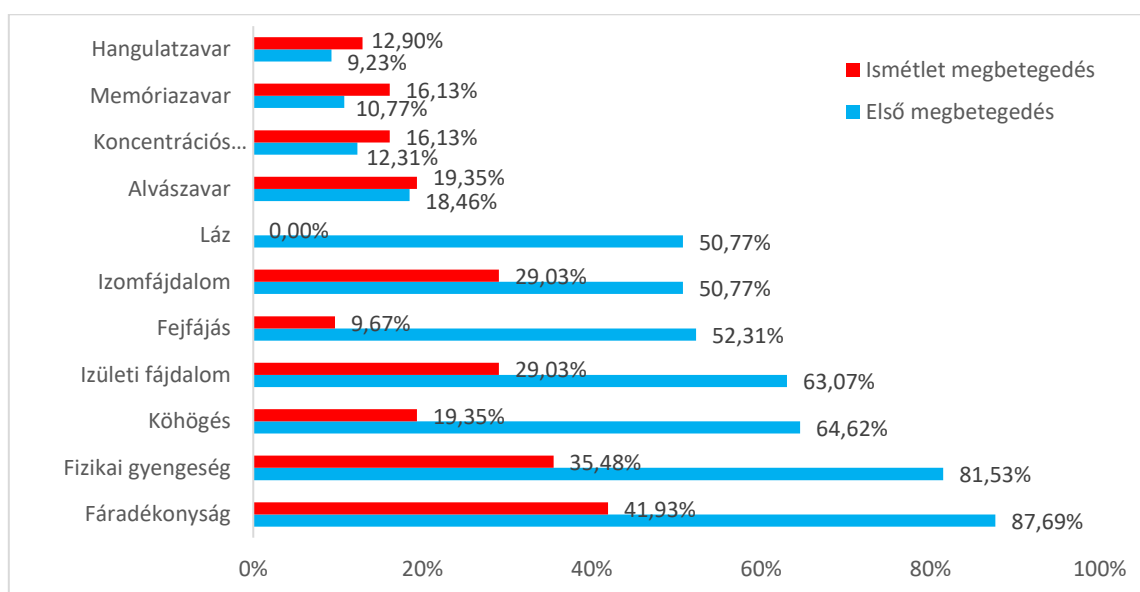
#### 2.2.1.1. Tünetek prevalenciája első és ismételt fertőzésekben

A válaszadók 50,6%-a (43 fő) legalább egyszer, míg 25,9%-a (22 fő) többször is volt PCR-teszttel vagy gyorsteszttel igazoltan Covid pozitív. Az első és az **ismételt Covid-19 fertőzés** során tapasztalt tünetek gyakoriságának megoszlását a 16. ábrán tüntettem fel. Az ábrán jól látható, hogy a szakirodalmi adatokkal egyező módon a **vezető tünet a fáradékonyság és a fizikai gyengeség** volt mind az első, mind pedig az ismételt megbetegedések esetében. Az első megbetegedéseknél a fáradtság szinte mindenkinél kialakult (87,69%) abszolút vezető tünetként jelenik meg és az ismételt fertőzéseknél is vezető tünet, bár ott már csökkenő prevalenciát mutat, de még mindig az esetek közel felében kialakul (41,93%). A fizikai gyengeség az első fertőzéseknél szintén markáns vezető tünetként szinte mindenkinél kialakult (81,63%), és az ismétlődő fertőzéseknél is szinte minden harmadik páciensnél megjelenik (35,48%). Mindezek mellett elmondható, hogy ez a 2 vezető tünet, a fáradtság és a fizikai gyengeség az **ismétlődő fertőzéseknél már enyhébben** jelenik meg (körülbelül feleződik a prevalenciájuk az első megbetegedéshez képest).

Első fertőződésnél a tipikus felsőlégtüti vírusinfekció tünetei (láz, ízületi izomfájdalom, köhögés, fejfájás) markánsan megjelenik (kb. az esetek felében), ám ismétlődő fertőzésekkor már messze nem ilyen gyakoriak, mindössze az esetek kb. 20%-ában alakulnak ki. Ezek a tipikus vírusfertőzésre utaló panaszok okozzák a legtöbb alkalommal az orvoshoz fordulást és a munkaképtelenséget, fáradékonysággal és fizikai gyengeséggel csak ritkán fordulnak az

emberek orvoshoz, többnyire akkor, ha hosszabb ideje fennáll, míg a láz, köhögés és ízületi fájdalmak gyorsan orvoshoz irányítják a betegeket. Ennek repülésbiztonsági jelentősége lehet, mivel az ismétlődő fertőzéseknél az adatok alapján enyhébbek a testi tünetek, **így kisebb valószínűséggel fordulnak orvoshoz és diagnózis hiányában észrevétlen maradhat az újabb betegség**, ezzel együtt hiába tudja, hogy a poszt-covid szindróma veszélyes lehet, nincs tudatában saját veszélyeztetettségének és ezzel együtt könnyen lehet, hogy túlértékeli saját munkavégző képességét (nem veszi komolyan az enyhébb tünetekkel járó ismételt megbetegedést) és így **jelentősen emelkedhet a humán faktor hibaforrás rizikója** a munkavégzés közben.

A **ködös agy** (koncentrációs és memória zavarok) és **alvászavarok** az első megbetegedéskor mindössze az esetek kb 12%-ában jelentkeznek, ám igazi repülésbiztonsági kockázatokat az adja, hogy az összes többi tünettől ellentétben a ködös agy és az alvászavarok **az ismétlődő fertőzésekben nagyobb arányban jelentkeznek, mint az elsőnél** (közel minden ötödik páciensnél (19.35% és 16.13%). Ha e mellé még figyelembe vesszük az általános vírustünetek és fáradtság prevalenciájának csökkenését és az ezzel kapcsolatban fentebb leírtakat is (miszerint kevesebb testi korlátozó tünet kapcsán kevésbé mennek orvoshoz és diagnosztizálatlan, ismeretlen marad az ismételt covid fertőzés ténye és annak repülésbiztonsági veszélyei), akkor megállapítható, hogy **az ismételt covid-fertőzések a válaszadók körében többszörösen emelkedő repülésbiztonsági kockázatot jelenthetnek**, mivel csökken a betegségtudatosság és közben emelkedik a kognitív képességek zavarosságában észrevétlenül jelentősen emelkedhet a humán faktor hibaforrás rizikója.



16. ábra: az akut covid-19 fertőzés kapcsán észlelt tünetek gyakorisága (a szerző saját munkája)

Elmondható tehát, hogy az ismételt megbetegedések tünettana számos eltérést mutatott. Az egyik leginkább szembetűnő eltérés, hogy a tipikus felsőlégúti fertőzésre utaló tünetek (láz, köhögés, fejfájás) lényegesen kisebb arányban fordultak elő, ugyanakkor a kognitív funkciók csökkenése (memória zavar, koncentrációs nehézségek) és az affektivitás zavara nagyobb arányban jelentkezett. Az ismételt fertőzésekre vonatkozó nemzetközi szakirodalmi adatok hasonló eredményeket közölnek, miszerint az ismétlődő fertőzéseknél általánosan enyhébb tünetek várhatóak, azonban **jelen kérdőív eredményeiből újdonságként jelenik meg** az, hogy pont a repülésbiztonságot jelentősen kockáztató **kognitív tünetek** (úm. koncentrációs zavar, memória zavar,) és hangulatzavarok **magasabb arányban jelennek meg ismételt fertőzésekkor**, mint az első fertőzések közben és ezt fokozza, hogy nagyobb eséllyel maradnak ezek észrevétlenek diagnózis hiányában.

Ez felhívja a figyelmet **az ismétlődő fertőzések okozta fokozódó repülésbiztonsági rizikóra**, mivel a vezető testi korlátozó tünetek enyhébbek, nincs feltétlen szükség orvoshoz fordulni, nem lesz diagnosztizálva a covid fertőzés és így az ismételt covid fertőzés kockázataira sem lesz figyelmes az illető. A memóriazavarok, ködös agy és hangulatzavarok pedig könnyen lehet, hogy nem érzékelhetők markánsan a páciens számára (nem veszi észre azt, amit elfelejtett- hacsak nem derül rá fény a svájci sajt modell biztonsági rétegeinek működése kapcsán) és komoly fizikai korlátozó tünetek hiányában úgy megy vissza dolgozni, hogy nem tudatosul benne a fokozott kognitív zavarok kapcsán kialakuló humán faktor hibaforrás rizikó.

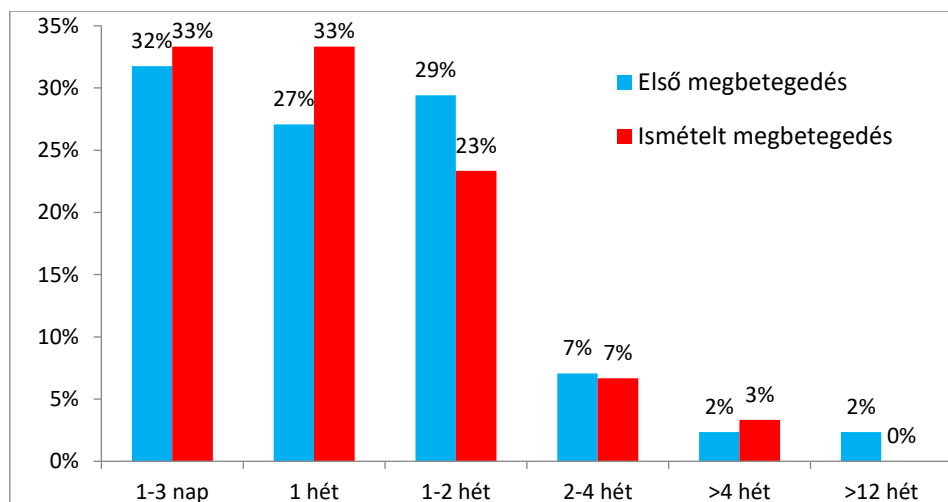
A válaszadók körében a fertőzés viszonylag enyhébb tünetekkel járt, erre utal, hogy 68,23% egyáltalán nem fordult panaszaival orvoshoz, 25,88% házi orvosát kereste fel, míg kórházi ellátásra szerencsére mindössze 3,52% szorult. Figyelembe véve a minta viszonylag magas átlag életkorát (43,35 év) és a krónikus betegséggel már rendelkezők viszonylag magas számát (39 fő, 45,9%), ezek az eredmények igen kedvezőnek mondhatók. Ezek az eredmények a válaszadók körében viszonylag enyhe lefolyású covid-19 fertőzésekre utalnak, ami érthető egyrészt az előzőekben tárgyalt viszonylag magas átoltottság kapcsán az első 3 oltás tekintetében. Másrészt magyarázható azzal, hogy a repülésben dolgozók mind katonai, mind polgári rendszerben rendszeres repülőorvosi vizsgálatokra kötelezettek és a repülési státusz megtartása érdekében alapvetően egészségtudatos magatartás jellemzi őket.

A kor előrehaladtával természetesen köztük is megjelennek krónikus betegségek, ennek megfelelően a nemzetközi szakirodalmi adatok figyelembevételével várhatóan nő a covid-19

fertőzés akut tüneteinek illetve a poszt-covid és long-covid szindróma hosszútávú szövődményeinek súlyossága. Feltételeztem, hogy az ismételt fertőzés tünetsúlyossága a krónikus alapbetegséggel rendelkezők körében rosszabb, mint a diagnosztizált betegségben nem szenvedőknél. Ennek igazolására Wilcoxon próbát végeztem, ami azonban nem vezetett szignifikáns eredményre ( $p=0,4169$ ). Ez nem egyezik a szakirodalmi adatokkal, ahol a krónikus betegségek megléte alapvetően rosszabb tünettant és szövődményeket predisponál. Az eltérő eredmény magyarázata lehet a saját mintám kis elemszáma és az átlagosan magasabb életkor együttállása, valamint a magas átoltottság és a repülőorvosi alkalmasságvizsgálatok kapcsán alaposabban szűrt és gondozott, jól egyensúlyban tartott krónikus betegségek megléte. Ebben a populációban az egészségtudatosabb magatartás része, hogy rendszeresen járnak gondozásra, esetleges krónikus betegségük folyamatos felügyelet alatt áll, mivel a meglévő betegségek esetében a repülőorvosi engedélyhez szükséges a gondozási tevékenység igazolása és az általános egészségi állapot jó egyensúlyban tartása. A katonai populációban ezen felül a sokkal szigorúbb repülőorvosi követelmények és a katonai szolgálattal járó egészségi és fizikai követelményeknek való megfelelés további kontrollt és erős motivációt jelent a jó egészségi állapot megtartására.

#### 2.2.1.2. Tünethossz alakulása első és ismételt fertőzésben

A Covid-19 fertőzés tünethossza az első fertőzés alkalmával a válaszadók 88,23%-nál kevesebb, mint két hét volt, ami nagyjából megfelelt az ismételt fertőzésnél tapasztaltaknak (89,99%). A vizsgálati minta tünethossz szerinti megoszlását az 17. ábrán láthatjuk.



17. ábra: A vizsgálati minta Covid-19 fertőzés tünethossza szerinti megoszlása ( a szerző saját munkája)

A 17. ábrán látható, hogy az ismételt fertőzés tüneossza valamivel kedvezőbb képet mutatott a mintában. Az eltérés vizsgálatára Mann-Whitney U-tesztet végeztem, a tüneosszok között szignifikáns különbség nem igazolódott ( $W=1354,5$ ;  $p=0,6001$ ).

A szakirodalmi összefoglalóban részleteztem, hogy ebben a kérdésben (úm. az ismétlődő covid-19 fertőzések hogyan befolyásolják a tünetek súlyosságát, a tüneosszt és a poszt- long-covid szindróma prevalenciáját) megoszlanak a vélemények és az adatok. Az idősebb populációkon végzett kutatások egyik csoportja súlyosabb kórlefolyást és többszörös halálozási arányt mutatott a covid-19 fertőzések ismétlődésének számával egyenes arányban [26], míg egy másik szintén idősebbek körében végzett kutatás [29] ezzel ellenben – hozzám hasonlóan- nem talált szignifikáns eltérést az első és az ismételt covid-19 fertőzések tünettana és szövődményei között. Fiatalabbakon végzett kutatások pedig általánosságban enyhébb lefolyást mutattak az ismétlődő covid-19 fertőzések tünettánában [30], azonban felhívták a figyelmet az ismétlődő covid-19 fertőzések esetén **az enyhébb lefolyás és tünettan ellenére fokozódó poszt-és long-covid tünetek kialakulására** [27].

Ez alapján azt mondhatjuk, hogy a saját kutatási adataim nem teljesen egyeznek az szakirodalmi adatokkal, mivel a szakirodalmi adatok általában enyhébb és rövidebb ideig tartó tüneteket írnak le az ismétlődő covid-19 fertőzéseknél, **az én eredményeim alapján általánosságban szintén enyhébb tünetek jelentkeznek ismételt fertőzéseknél, azonban a tüneosszban nem mutatható ki szignifikáns különbség.** Ennek magyarázata lehet, hogy saját kutatásomban az átlagos életkor (43,35 év) nagyjából a középkorú kategóriába sorolható és a repülőorvosi alkalmasságvizsgálatok szűréseinek következményeként alapvetően egészségesebb populációnak tekinthetők az ugyanezen korosztályú átlag populációhoz képest, így az eredményeim érthető módon mutatják a szakirodalmi adatok 2 nagy csoportja közötti határterületre jellemző tulajdonságokat. Azaz ebben a középkorúnak és viszonylag jól karbantartott krónikus betegséggel rendelkező populációnak mondható kategóriában, amit a nemzetközi szakirodalom külön még nem vizsgált, már jelen vannak a krónikus betegségek közel 50%-ban, de a rendszeres orvosi szűrések és gondozás, valamint egészségtudatos magatartás révén az ismételt fertőzések általában enyhébbnek mondható tünetekkel zajlanak azonban már nem mutatkozik szignifikáns különbség az első és az ismételt covid-19 fertőzések tüneossza között. Ennek a speciális csoporttulajdonságnak valószínűleg szoros kapcsolata van a mintában nagy számban jelenlévő katonai repülő-hajózó és repülésben dolgozó állománnyal. Ennek a befolyásoló faktornak a hatását fogom vizsgálni a 4. hipotézisben (van-

e különbség a katonai és a polgári válaszadók egészségi állapota és a covid-19 tünettana között).

A nemzetközi szakirodalmi adatok alapján feltételeztem, hogy a krónikus betegség jelenlétében hosszabb lefolyású betegség várható ismételt fertőzésnél. A feltételezésem igazolásához elsőként a krónikus betegségek fennállásának vonatkozásában 2 csoportot alakítottam ki: 1. csoport: nincs krónikus betegsége, 2. csoport van krónikus betegsége. Az alacsony esetszám miatt a tünehhossz változó 15-ös ábrán látható 6 kategóriáját összevontan kezeltem és 2 kategóriás változóvá alakítottam: 1. csoport: tünehhossz  $\leq$  1 hét (1-es és 2-es válaszkategória), 2. csoport: tünehhossz  $>$  1 hét (3-6 válaszkategória). A hipotézisvizsgálathoz Fisher-féle egzakt tesztet végeztem, a próba eredménye alapján a csoportok között szignifikáns különbség nem igazolódott ( $p=0,6639$ ).

### *2.2.2. A 2. hipotézis vizsgálata*

A kutatás eredményei alapján az ismételt covid-fertőzések a vizsgálati mintában általánosságban enyhébb tünetekkel zajlanak, kivéve **a kognitív képesség csökkenést (ködös agy és memória zavarok), valamint az alvászavarok és hangulatzavarok** tünetcsoportot, melyek **ismételt fertőzéseknél nagyobb arányban jelentkeznek**, mint az első megbetegedéskor. Azonban ezek a poszt-covid tünetek az enyhébb testi akadályoztatást jelentő általános vírustünetek mellett **könnyen diagnosztizálatlanok maradhatnak** és a kellő betegségtudat hiányában folytatott **munkavégzés során még jelentősebben emelhetik a humán faktor hibaforrás veszélyét**. A krónikus betegségek megléte nem mutatott szignifikáns összefüggést sem az ismételt fertőzések során jelentkező tünetek súlyosságával, sem pedig a tünetek hosszával. A nemzetközi szakirodalmi adatok alapján elmondható az is, hogy az ismételt covid-19 fertőzések kapcsán az újabb fertőzésekkel mindig emelkedik a poszt-covid és long-covid szindróma kialakulásának kockázata. Ezek alapján a **2. hipotézis igazolódott**.

### *2.2.3. Részkövetkeztetések*

Összeségében elmondható, hogy a 2. hipotézis, miszerint az ismételt covid-19 fertőzések fokozott repülésbiztonsági rizikót jelentenek igazolódott, sőt az általánosan enyhébb tünetlefordulás miatt hiányzó betegségtudat kapcsán akár nagyobb repülésbiztonsági rizikót is jelenthet, mint a diagnosztizált első megbetegedés utáni poszt- és longcovid szindróma. Mivel az enyhébb lefordulás kapcsán könnyen diagnosztizálatlan maradhat az ismételt covid-19 fertőzés, kiemelten fontos feladat a tünetek felismerésére és fontosságának ismeretére irányuló

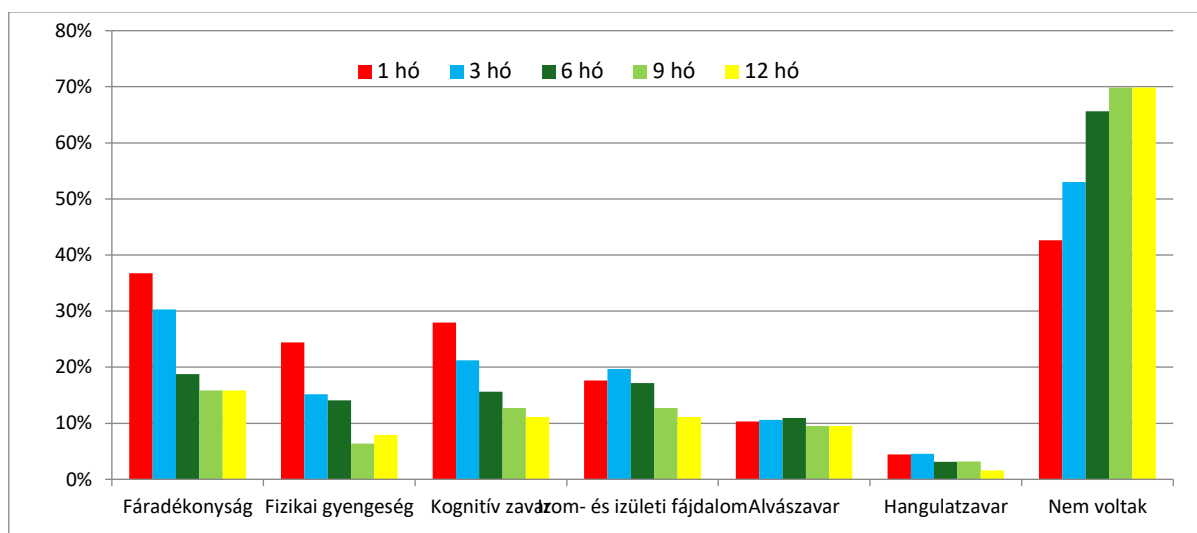
oktatás, valamint az emberi teljesítőképesség objektív mérésére alkalmas módszer, eszköz kidolgozása és a komplex repülésbiztonsági rendszerek működtetése a poszt-covid időszakban fokozott valószínűséggel kialakuló humán faktor hibák detektálására és megelőzésére.

#### 2.2.4. A poszt-covid és long-covid szindróma tüneteinek időbeni lefutása, a rehabilitáció hossza

A 3. hipotézis vizsgálatához az online kérdőív covid tünetek időbeni fennállására vonatkozó kérdéssort alkalmaztam. A kérdések a leggyakoribb poszt-covid tünetek jelenlétét kérdezte meg a válaszadóktól a fertőzést követően 1, 3, 6, 9 és 12 hónappal. Az ismétlődő covid-19 fertőzések utáni tünehhosszokra egy összefoglaló kérdés szolgált, melyben a válaszadók megjelölhették, hogy a tünetek az ismétlődő covid-19 fertőzés után enyhébbek, ugyanolyanok, vagy rosszabbak voltak az első covid-19 fertőzéshez képest. Mivel a repülésben dolgozók nagy része speciális munkabeosztásban dolgozik, a poszt-covid tünetek repülésbiztonsági rizikójának munkakörnyezethez igazított súlyozott értékeléséhez felmértem a válaszadók körében a munkavégzés jellemzőit is, a napi átlagos munkavégzés intenzitását, idejét, a stressz és monotonia fokát.

##### 2.2.4.1. A poszt-covid tünetek prevalenciája és időbeni lefolyása

A válaszadók eredményeinek elemzésével elmondható, hogy a tünetek egy része a fertőzést követően hosszú ideig fennmaradt, a 18. ábrán a leggyakoribb tünetek 1 havi, 3 havi, 6 havi, 9 havi és 12 havi prevalencia értékeit tüntettem fel.



18. ábra: A covid-19 fertőzés leggyakoribb tüneteinek 1-3-6-9 és 12 havi prevalencia értékei (a szerző saját munkája)

Az ábrán jól látható, hogy **a fáradékonyság, a fizikai gyengeség és a kognitív zavarok** (úm. koncentrációs nehézség, memóriazavar), mint vezető tünetek **magas arányban** fordultak elő, gyakoriságuk az idő előrehaladtával csökkenő tendenciát mutatott, de a prevalenciát tekintve **igen hosszú ideig fennálltak**. Az első hónapban az esetek közel felében (jelen volt a fáradtság és fizikai gyengeség is (post exertional malaise), ami a 6. hónapig csak enyhe csökkenést mutatott, majd 9-12 hónap között a páciensek 12%-ában perzisztált további csökkenés nélkül. Ez azt jelenti, hogy **nagyjából minden 8. betegnél a fáradékonyság fennmarad még 1 évvel a fertőzés után is**. A fizikai gyengeség hasonlóan stagnál és perzisztál 9-12 hónap között a válaszadók kb 8%-ában. Ilyen hosszú long-covid tünetekre a pandémia kezdete óta nem gondolt a szakmai közönség, csak az utóbbi időben kezdték el figyelni és elemezni, hogy ennyire hosszan is számítani kell a long-covid tünetek előfordulására. A fáradtság és fizikai gyengeség (különösen a fizikai megterhelésre jelentkező indokolatlan és szokatlan kifáradás, a post exertion malaise) ilyen sokáig fennmaradó jelenléte **jelentős veszélyforrás lehet a repülésben**, úgy a levegőben, mint a repülésirányító és a földi kiszolgáló személyzet munkájában is. Mindenképpen felhívja a figyelmet a fáradtság objektív mérésére alkalmas módszer kidolgozásának jelentőségére a fáradtság repülésbiztonsági kockázatának csökkentése érdekében.

Az **izom- és ízületi fájdalom** esetében ez a csökkenés már nem annyira látványos, a kezdeti 18%-ról a 3. hónapnál enyhe emelkedést követően a 9-12. hónapban ez is perzisztál és 12%-ban még mindig jelen van. Izom és ízületi fájdalmak akadályt jelenthetnek a repülőgép kezelésében, irányításában és a földi kiszolgáló személyzet munkájában is, fokozott balesetveszélyt jelenthet.

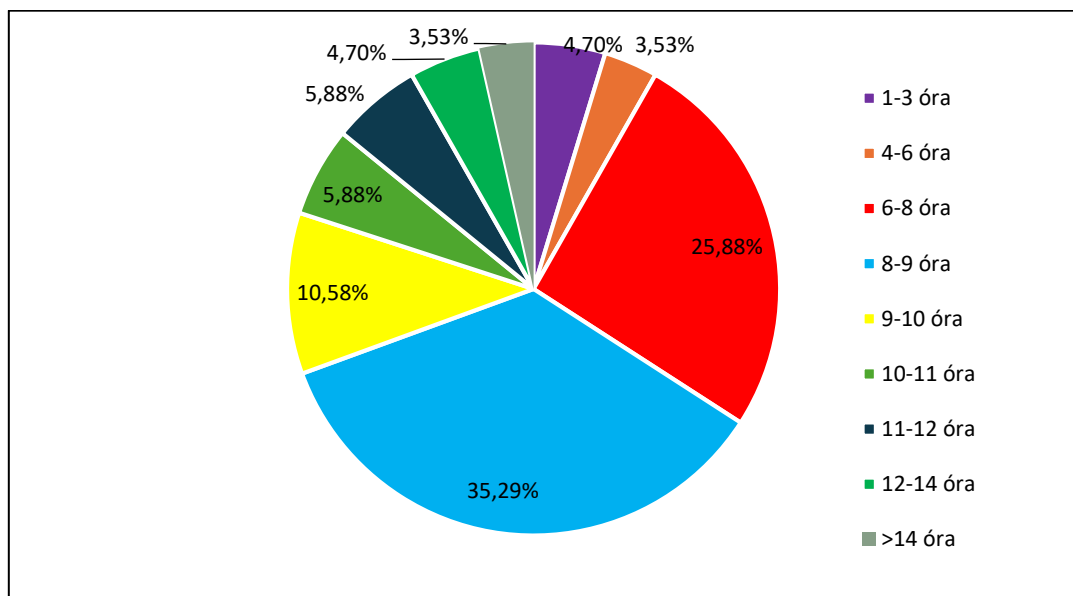
Az **alvászavar** és a hangulatzavar esetében pedig a prevalencia értékek **konstansan 10%** illetve 3% körül mozogtak. Alvászavar jelentősen fokozhatja a poszt-covid és long covid időszakban egyébként is jelenlévő jelentős mértékű fáradtságot és koncentrációs nehézséget valamint a memóriazavart, komoly **kontribútor lehet a krónikus fáradtság kialakulásának**. A deskriptív adatok között a fennálló krónikus betegségek közül a 3. leggyakoribb fennálló krónikus betegség a válaszadók között az alvási apnoe volt (7,69%), ami jelentősen növelheti a poszt-covid alvászavarok súlyosságát, ezzel együtt komoly repülésbiztonsági rizikót jelenthet. Figyelmeztető adat, hogy a poszt-covid és long-covid szindróma talaján **minden 10. betegnél kialakul alvászavar, ami egy év elteltével sem csökken**, tehát a poszt-covid fáradtság nélkül lezajló fertőzéseknél is fokozhatja a krónikus fáradtság kialakulásának kockázatát, különösen a hosszúidejű monoton munkavégzés és a sok

időzónát átlépő repülési feladatok cirkadián ritmuszavart okozó szövődményei mellett. Ha ehhez figyelembe vesszük az ismétlődő fertőzések után gyakran fellángoló poszt és long-covid tüneteket, továbbá azt a tényt, hogy maga az ismételt fertőződés könnyen diagnosztizálatlan maradhat (enyhébb akut tünetek), a **poszt-covid alvászavarok ismételt fertőzések esetén időszakosan ennél jelentősen magasabb százalékban is jelen lehetnek** a nélkül, hogy annak a páciens tudatában lenne, tehát nem számít a megszokott munkavégző képességének romlására és így jelentősen emelkedhet a humán faktor hibák rizikója a repülésben is.

A fáradtság és a kognitív zavarok igen magas prevalenciája és 9-12 hónap közötti perzisztálása a konstansan 10%-ban jelen lévő alvászavarokkal együtt értékelve **halmozott repülésbiztonsági rizikót jelenthetnek** az emberi teljesítőképesség rombolása és a humán faktor hibák rizikójának jelentős fokozódása okán. Ilyen fokú teljesítményromlást valószínűleg a legnagyobb repülési rutin és munkavégzési rutin sem tud hibák nélkül kompenzálni.

#### 2.2.4.2. A munkavégzéssel kapcsolatos eredmények

A repüléssel kapcsolatos munkakörökben jellemző a feladatorientáltság, a műveleti nyomás és bizonyos munkakörökben, illetve időszakokban a monotonia is (pl. légiforgalmi irányítók, készenléti szolgálatok). A stressz jelentősen fokozhatja a kifáradást és a koncentrációs képességeket, a monotonia pedig különösen veszélyessé teszi a fáradtság okozta teljesítménycsökkenést és a humán hibák elkövetésének rizikóját.



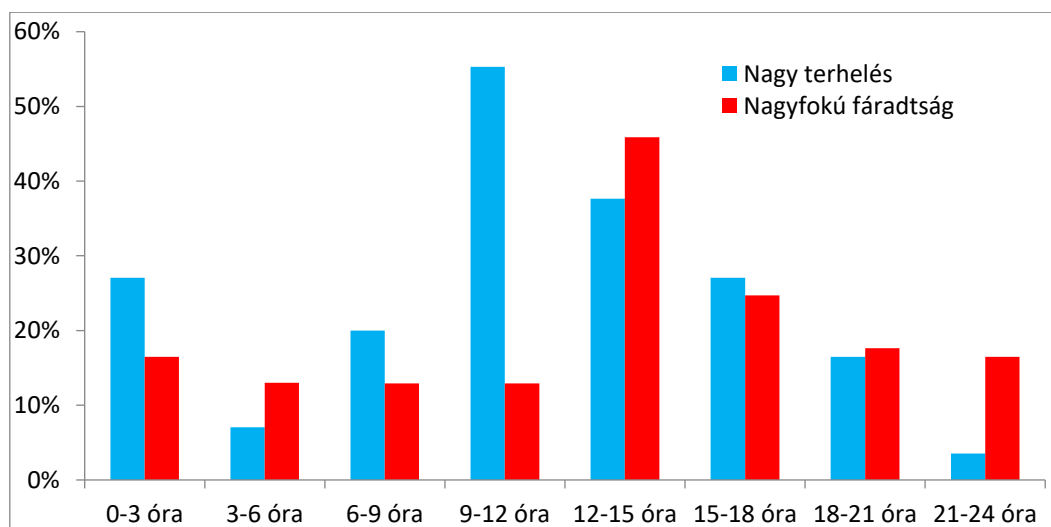
19. ábra: A vizsgálati minta napi átlagos munkaidő szerinti megoszlása ( a szerző saját munkája)

A válaszadók napi átlagos munkaidő megoszlását a 19. ábrán tüntettem fel, láthatjuk, hogy a vizsgálati személyek 61%-ának napi munkaideje 6-9 óra közötti, 31% dolgozik ennél többet és 8% ennél kevesebbet naponta.

A munkavégzéssel kapcsolatban a stressz, a monotonia és a leterheltség vonatkozásában tettem fel kérdéseket. A munkahelyi stressz és a monotonia mértékének becsléséhez a válaszadóknak egy 5 fokozatú Likert skálán kellett válaszolniuk. A válaszadók mindössze 15,29%-a nyilatkozott úgy, hogy egyáltalán nem, vagy csak kicsit érzi stresszesnek a munkakörét, 35,29% közepesen stresszesnek, míg 49,41%-a nagyon vagy kifejezetten stresszesnek tartja azt. Ezek alapján megállapítható, hogy **a repülésben dolgozók körülbelül fele a saját munkakörét- munkakörtől függetlenül- jellemzően nagyon, vagy kifejezetten stresszesnek ítéli meg** és mindössze egyharmaduk érzi közepesen stresszesnek azt. A stressz csak akut fázisban képes fokozni az emberi teljesítőképességet, igen rövid idő után a felfokozott igénybevétel kapcsán a teljesítőképesség jelentősen lecsökken, még a stressz kiváltásának idején jellemző kiindulási teljesítmény mértéke alá is [126]. A repüléssel kapcsolatos munkakörök és feladatok mellett nem az akut stressz (eustressz) jótékony hatása érvényesül, hanem sokkal inkább a **krónikus stressz (distressz) kártékony hatása**, amit tovább fokoz a poszt-covid fáradtság, koncentrációs zavar és alvászavarok okozta fentebb részletezett igen gyakori és hosszan fennálló tünetcsoport. Ennek a fokozott munkaköri stressznek az okát érdemes lesz a jövőben tovább kutatni annak érdekében, hogy megfelelő stresszcsökkentő módszereket lehessen kidolgozni a repülésbiztonság érdekében.

A válaszadók 56,47%-a szerint a munkájára nem, vagy csak kis mértékben jellemző a monotonia, 27,05% közepes fokú monotoniaról, és 16,47% nagyfokú monotoniaról számolt be. A **monotóniára vonatkozó kedvezőnek mondható eredmény** részben ellensúlyozhatja a poszt-covid szindróma halmozott fáradékonyságot növelő tüneteit (alvászavar, koncentrációs problémák), de ez egyrészt önmagában valószínűleg kevés a poszt-covid fáradékonyság tünetcsoportja miatti humán faktor hibák elkerülésére, másrészt a monotonia hiánya jellemzi a stresszes helyzeteket és munkaköröket is, ahol viszont a monotonia hiánya egyáltalán nem protektív faktor, sőt a monotonia hiányát biztosító stressz önmagában is romboló hatással lehet a teljesítményre, különösen poszt-covid fáradtság jelenlétében. Továbbra is indokolt különös figyelmet fordítani a monotonia hiányával jellemezhető munkakörökben az éberség fenntartására változatos feladatokkal, megfelelő pihenőket beiktató munkatervezéssel különösen poszt-covid szindróma esetén a humán faktor hibák rizikójának csökkentése érdekében.

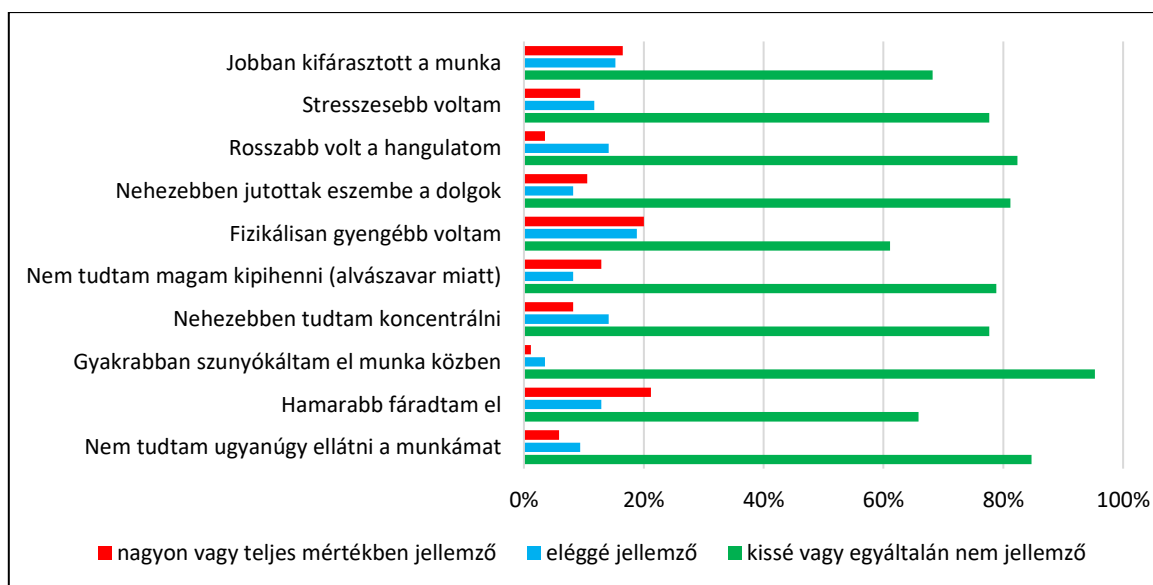
A monotónia és a fáradékonyság tekintetében érdemes külön megvizsgálni a **munkaterhelés eloszlását** is. Az emberi szervezetben jól ismert a cirkadián ritmus napi ingadozása, a cirkadián low időszakok (03-05 és 15-17 óra között), amikor élettanilag jelentősen csökkenhet a figyelem, nő a fáradtság és ezzel a humán faktor hibázás valószínűsége is. A poszt-covid szindróma krónikus fáradtsággal és az alvászavarokkal is tudja fokozni a cirkadián ritmus zavarait, így poszt- és long covid időszakban várhatóan még rosszabb teljesítmény várható ezekben a cirkadián low időszakokban. A válaszadók 55,29%-a szerint a legnagyobb fokú munkaterhelés a 9-12 óra közötti időintervallumra jellemző, de a második legnagyobb munkaterhelés a 12-15 óra között és a harmadik legnagyobb munkaterhelés pedig a délutáni cirkadián low időszakban 15-18 óra között van. E mellett a legnagyobb fokú fáradtság a legnagyobb gyakorisággal (45,88%) a 12-15 óra közötti időintervallumban fordul elő. A vizsgálati minta munkaterhelés és munkafáradtság időintervallumai szerinti megoszlását a 20. ábrán foglaltam össze. Az ábrán jól látható, hogy a cirkadián low időszakot megelőzően a **12-15- valamint 15-18 óra közötti időszakban** (a cirkadián low időintervallumban) mind a terhelés, mind a fáradtság magas arányban fordul elő. Ezek **kritikus időszakok lehetnek a humán faktor hibaforrás rizikója szempontjából**. Természetesen nem megoldható, hogy ezekben az időszakokban senkinek ne kelljen dolgoznia, de egy jól működő repülésbiztonsági rendszerben ezt az eredményt feldolgozva javaslatot lehet tenni olyan idő és munkabeosztásra, amiben ezen kritikus időszakokban gyakoribb váltásokkal, a feladatok változatosságának növelésével illetve sétával, fizikai aktivitással töltött rövid pihenők beiktatásával jelentősen csökkenteni lehet ezekben a kritikus időszakokban az emberi teljesítőképesség romlását és a humán faktor hibák elfordulásának veszélyét.



**20. ábra: A vizsgálati minta munkaterhelés és munkafáradtság időintervallumai szerinti megoszlása ( a szerző saját munkája)**

### 2.2.4.3. A covid-19 fertőzést követő munkába való visszatérést nehezítő panaszok és azok időbeni alakulása

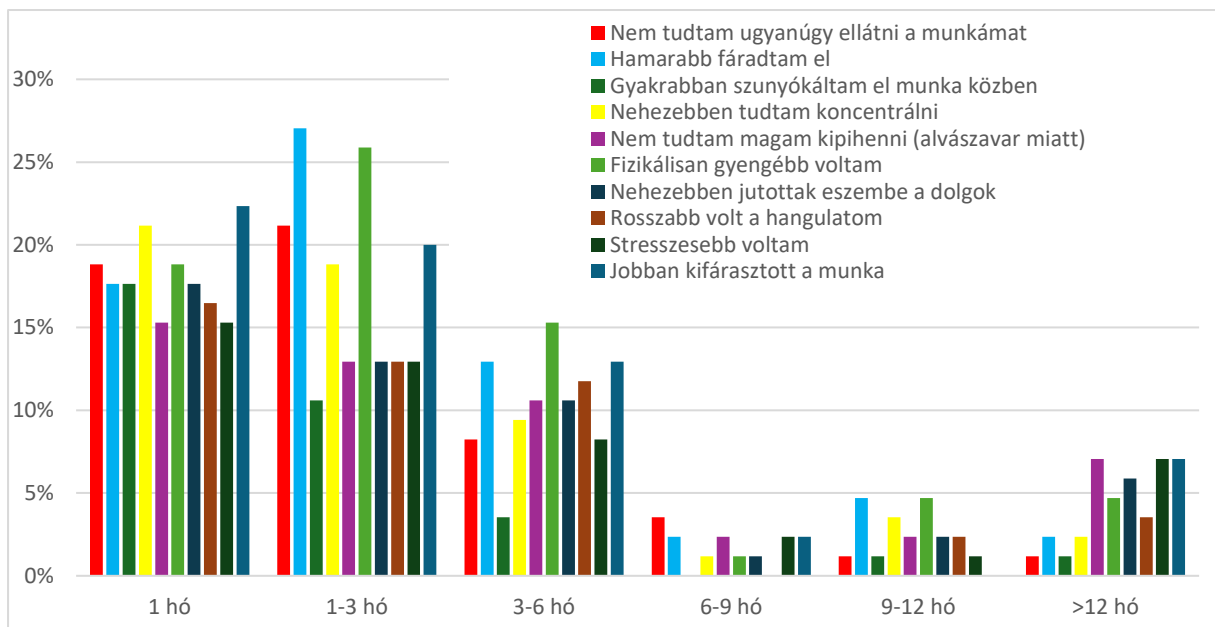
A covid-19 fertőzést követő munkábaállás a korábbiakban már ismertetett elhúzódó tünetek miatt számos nehézséggel járt a munkavállalók számára. Ezeknek a problémáknak a gyakoriságát egy 5 fokú Likert skálán kellett értékelniük a vizsgálati személyeknek, a kapott eredményeket a 21. ábrán láthatjuk. A könnyebb áttekinthetőség érdekében az alsó két kategóriát (kissé vagy egyáltalán nem jellemző) és a felső két kategóriát (nagyon vagy teljes mértékben jellemző) összevontan ábrázoltam. Ahogyan az az ábrán is látható **a leggyakoribb probléma a fáradtság és a fizikai gyengeség** volt, ezt követte a **rossz alvásminőség** miatti fáradtság, a **memória zavarok** és a **magasabb észlelt stressz**. A covid-19 fertőzés után a munkába visszatérve hamarabb fáradtak el a megszokott munkavégzés közben, fizikálisan gyengébbnek érezték magukat, ennek egyik sajátos poszt-covid időszakban jelentkező formája a megszokott fizikai terhelésre hirtelen kialakuló váratlanul nagyfokú fáradtság (post exertional malais). Különösen a repülőgépek műszaki kiszolgálását végrehajtó személyek körében ez komoly repülésbiztonsági rizikót jelenthet, nem csupán a hirtelen kialakuló nagyfokú fáradtság miatt megnövekvő balesetveszély miatt, hanem a fáradtság, alvászavar **kumulatív hatásai** kapcsán jelentősen rosszabbodó koncentrációs és memória zavarok miatt is.



21. ábra: covid-19 fertőzést követő munkábaállás során tapasztalat nehézségek prevalencia értékei (a szerző saját munkája)

Számos repülőgépbalesetnél a kivizsgálás során az ellenőrzési listán, vagy a megszokott eljárásrend lépéseiből egyetlen item kihagyása okozott végül balesetet, vagy akár katasztrófát is (pl. elmulasztott ellenőrzése az üzemanyag szintnek, vagy elfelejtett csavar-megszorítás a

repülőgép műszaki kiszolgálása során). Hasonló **hibák előfordulása jelentősen emelkedhet a poszt-covid időszakban a munkába való visszatérést követően**, ezért kiemelten fontos a kettős ellenőrzés és újra-ellenőrzés rendszere a covid-19 fertőzés után munkába való visszatérésnél. Ezeknek a **nehézségeknek az időbeni jellemzőit** mutatja a 22. ábra. Az ábrán jól látszik, hogy **3 hónapig** jelen volt a panasz, hogy nem tudta ugyanúgy ellátni a munkáját, a „hamarabb fáradtam el és fizikálisan gyengébb voltam” illetve „jobban kifárasztott a munka” panaszok pedig még emelkedtek is az első hónap után. A koncentrációs zavarok és memória zavarok is 1-3 hónapig szinte állandó mértékben voltak jelen. Jellemzően a 3. hónaptól mutatható ki csökkenő tendencia a munkaképességet befolyásoló poszt-covid panaszok tekintetében, így azt mondhatjuk, hogy a covid-19 fertőzés utáni munkába való visszatérést követően legalább 3 hónapig szükséges fokozott megfigyelés és óvatosság és több vonalbeli kontroll alkalmazása, munkaterhelés csökkentése a repülésbiztonság érdekében.



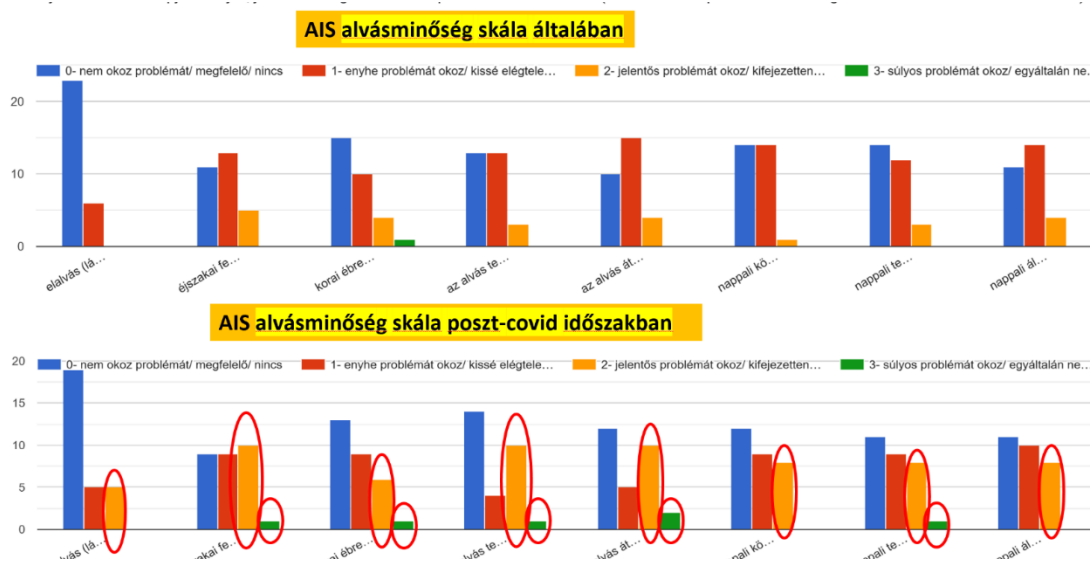
**22. ábra: covid-19 fertőzést követő munkábaállás során tapasztalt nehézségek időbeli fennmaradásának prevalencia értékei (a szerző saját munkája)**

#### 2.2.4.4. Az alvásminőség poszt-covid szindrómában

Az **alvászavarok** jelentősége a poszt-covid időszakban (**prevalenciája konstansan 10% a poszt-covid időszakban egészen 1 évig** nyomonkövetve, csökkenés nélkül) a tanulmány korábbi fejezeteiben részletesen elemzésre került, szerepe mind a fáradtság mértékében, mind pedig az emberi teljesítőképesség jelentős romlásában tagadhatatlan akár rövid, akár hosszútávon vizsgáljuk a repülésbiztonsági rizikót. A fáradtság és a nem megfelelő minőségű alvás növeli a hibázások gyakoriságát a munkavégzés során, ennek igazolására megvizsgáltam

az alvásminőséget covid-19 fertőzés előtt és után, valamint az alvásminőség (AIS) kapcsolatát a kérdőívben önbevallással jelzett hibázások gyakoriságával is. Az alvásminőséget az alvászavarok szubjektív megítélésére és mérésére nemzetközileg elfogadott athéni inszomnia skálán (AIS) adott válaszokkal vizsgáltam a covid-19 fertőzés előtti általánosságban jellemző alvásminőség és a covid-19 fertőzés utáni poszt-covid időszakra jellemző alvásminőség adatainak összehasonlításával, valamint az AIS\_poszt-covid pontszámát a hibázók és nem hibázók körében.

Alvás vonatkozásában a válaszadók 20%-ának **napi átlagos alvásideje** 4-6 óra, ami **kevesebb** az ajánlott mennyiségnél. A nem megfelelő alvásidő jellemző lehet a több műszakos munkarend (repülőműszaki szakemberek), a cirkadián ritmus zavarát okozó éjszakai munkarend (pl. légiforgalmi irányítók) és sok időzőna átlépésével járó repülési feladatok kapcsán mind a polgári, mind a katonai repülésben. A nem megfelelő alvásidő, a poszt-covid alvászavarokkal társulva a válaszadók kb. fele által kifejezetten stresszes munkakör mellett jelentősen fokozhatja a krónikus fáradtság kialakulásának veszélyét és ezt szükséges a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatértékelésénél is súlyozottan figyelembe venni.



23. ábra: AIS alvásminőség skála általában és poszt- covid időszakban (a szerző saját munkája)

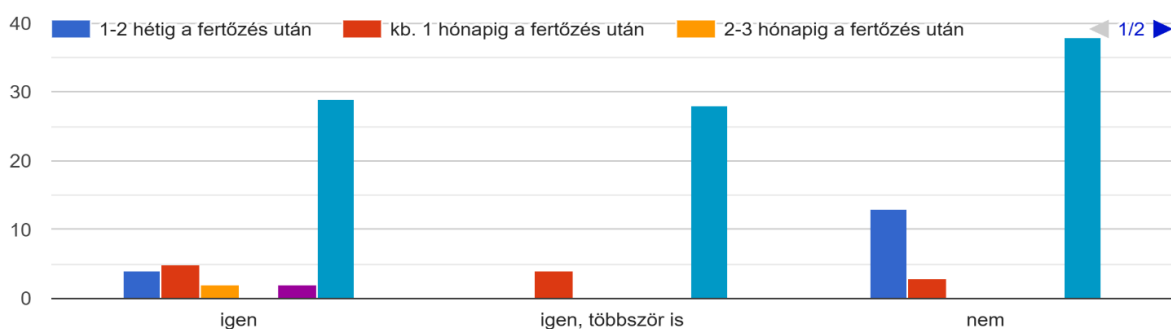
A szubjektív alvászavar vizsgálatára szolgáló AIS kérdőív a vizsgálatban kiemelkedően jó belső megbízhatósággal rendelkezett a mintában, a Cronbach-alfa értéke: 0,92 volt. A válaszadók körében a covid időszak előtti **általánosan jellemző alvásminőségének** átlagpontszáma 4,65 pont volt (SD=4,06), míg a covid-19 fertőzés utáni **poszt-covid időszakra jellemző alvásminőség** átlagos pontszáma 5,67 pont volt (SD=5,148). A két skála közötti

eltérés vizsgálatához párosított t-próbát végeztem, mely **szignifikáns eltérést** mutatott a két skálaérték között ( $t = -2,421$ ;  $df = 84$ ;  $p = 0,01763$ ), vagyis a poszt-covid AIS mutató szignifikánsan magasabb értéket mutatott (lásd 23. ábra).

#### 2.2.4.5. A humán faktor hibaforrás kockázata a poszt-covid szindrómában (önbevallás alapján)

A kérdőívben megkérdeztem a válaszadókat, hogy saját bevallásuk szerint a covid-19 fertőzés után a **munkába való visszatérést követően követtek-e el olyan hibát**, ami repülésbiztonsági rizikót jelenthetett (okozhatott volna repülésbiztonsági incidenst). A kérdőív anonimitása figyelembevételével feltételezem, hogy a válaszadók őszintén és hitelesen jelezték a poszt-covid időszakban elkövetett hibáikat. A válaszok a 24. ábrán láthatók.

Saját bevallása szerint előfordult-e a Covid fertőzés utáni munkábaállást követően, hogy megszokott munkája során figyelmetlenség, vagy fár...lyes helyzethez vezetett- vagy vezethetett volna?



**24. ábra: A covid fertőzés utáni munkába állást követően elkövetett hibák előfordulása (a szerző saját munkája)**

A válaszokból kitűnik, hogy **voltak**, akik a covid-19 fertőzés utáni munkába való visszatérést követően **1 hónapig egyszer, vagy akár többször is követtek el hibákat**, mások akár a munkába való **visszatérést követő 3 hónapig is követtek el hibákat**, sőt egyesek még a munkába való visszaállást követő 6 hónapig is követtek el hibákat munkájuk során. Ezek az eredmények igazolják jelen kutatás aktualitását és a tudományos probléma felvetés indokoltságát is.

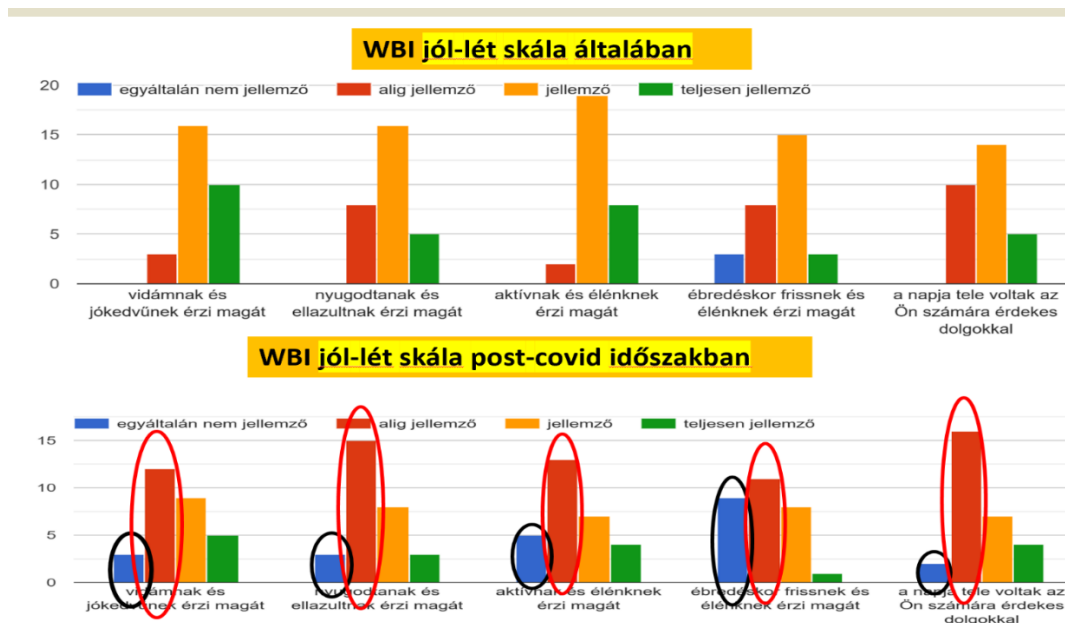
Tovább árnyalhatja ezeket a poszt-covid időszakban bekövetkező humán faktor hibák előfordulását jellemző eredményeket az, ha figyelembe vesszük az értekezés korábbi fejezetiben az **ismétlődő covid-fertőzéseknél leírt veszélyeket**, mi szerint az ismételt covid-

19 fertőzéseknél az enyhébb lefolyás kapcsán könnyen előfordulhat, hogy nem derül fény az újabb fertőzésre, betegségtudat hiányában pedig nem is tudatosul az egyénekben a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázata, ennél fogva nem éli meg, vagy ha észre is veszi, nem fogja összekapcsolni az elkövetett hibát a poszt-covid szindrómával. A megjelenített eredmények tehát **a válaszadók ösztintesége ellenére is feltehetően alul-kalibrálják a valós hibázások számát** a poszt-covid szindróma miatt.

Ezek után megvizsgáltam a poszt-covid időszakra jellemző alvásminőség értékeit a hibázók körében, feltételeztem, hogy **a rosszabb alvásminőséggel rendelkezők esetében több volt a hibázások száma**. Az eredményeket a 23. ábra alsó része mutatja. A hibázók AIS\_poszt\_covid átlagpontszáma 7,84 volt, míg ugyanezen érték a nem hibázók körében 4,91. Az elemzéshez Welch-féle t-próbát végeztem, mely **szignifikáns különbséget** jelzett ( $t = -2,6019$ ;  $df = 69,571$ ;  $p = 0,01132$ ). Tehát igazolódott a feltételezésem, miszerint **az alvásminőség szignifikánsan összefügg a hibázások számával**.

#### 2.2.4.6. A jólléttel kapcsolatos eredmények

A vizsgálatban résztvevőknek általános jól-létét a nemzetközileg elismert 5 ítemes well being indexel (WBI-5) vizsgáltam.



25. ábra: WBI-5 Jól-lét skála általában és poszt-covid időszakban (a szerző saját munkája)

A WBI-5 skálán kellett szubjektív jóllétükről nyilatkozniuk általánosságban és a poszt-covid időszakra vonatkozóan. A mintában a mérőeszköz jó belső megbízhatósággal rendelkezett, a Cronbach-alfa értéke: 0,829 és 0,905 volt, a két érték nem különbözött egymástól

szignifikánsan, a konfidencia intervallumaik keresztezték egymást. A mintában az általánosságban jellemző WBI-5 értéke 9,82 pont volt (SD=2,787), míg a poszt-covid időszakban jellemző WBI-5 átlagpontszáma 7,49 pont volt (SD=3,653). A két skála közötti eltérés elemzéséhez párosított t-próbát végeztem, mely **szignifikáns eltérést** mutatott a két skálaérték között ( $t=6,7324$ ;  $df=84$ ;  $p=1,933e-09$ ), vagyis **a poszt-covid Jólét mutató szignifikánsan alacsonyabb értéket mutatott**. Az eredményeket a 25. ábrán mutatom be.

#### 2.2.5. A 3. hipotézis vizsgálata

A kutatás eredményeinek elemzése alapján egyértelműen elmondható, hogy a **repülésbiztonsági rizikót jelentő poszt-covid és long-covid tünetek** a fertőzés után hosszabb ideig, sőt **jelentősen hosszú ideig fennállnak**. A legkomolyabb repülésbiztonsági rizikót jelentő poszt-covid tünetek a fertőzést követően 9-12 hónapig is jelentős prevalenciával jelen vannak és jellemzően a 9. hónapot követően nem mutatnak csökkenést. Figyelembe véve az ismétlődő covid-19 fertőzések kockázatát és azok következtében várhatóan újra fellángoló poszt-covid szindrómát és az újabb fertőzések számával arányosan emelkedő long-covid szindróma kialakulásának kockázatát – elmondhatjuk, hogy **a poszt- és long covid szindróma repülésbiztonsági kockázatot jelentő tünetei tartósan, akár 1 évnél tovább**, vagy a gyakran diagnosztizálatlanul, enyhe tünetei kapcsán észrevétlen zajló ismétlődő fertőzések talaján fellángolva akár éveken keresztül is **fennállhatnak**.

A **3. hipotézis**, miszerint a covid-19 fertőzésen átesett repülésben dolgozók repülésbiztonsági rizikót jelentő panaszai a fertőzést követően hosszabb ideig, 9-12 hónapig is fennállnak, azaz a rehabilitáció elhúzódó folyamat, mely során nő a humán faktor hiba veszélye, **igazolódott** a kutatásban.

#### 2.2.6. Részkövetkeztetések

A kutatási eredmények és a hipotézis vizsgálata felveti a **poszt- és long-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatot jelentő tüneteinek tartós, akár állandósuló jelenlétét** a covid-19 fertőzésen átesett személyek között. Ez olyan tartós repülésbiztonsági kockázatot jelent, hogy a fáradtság objektív mérésére alkalmas módszer kidolgozása mellett szükségessé teszi a poszt-covid szindróma rendszerszintű kockázatkezelését is. Felhívja a figyelmet a szubjektív fáradtság kellő komolysággal történő értékelésére, a fáradtság és teljesítőképesség megítélésében az egyéni felelősség hangsúlyozására valamint annak foglalkoztatási jogviszonytól független elfogadására, lehetőség szerinti figyelembevételére a feladatok tervezése során, valamint a munka-pihenési rezsím rugalmas kezelésében, a fáradtság

menedzsment rendszerekben a fáradtság kérdőívek mellett az ezeket jelentősen fokozni képes **alvászavarok, alvási apnoe, kóros napközbeni álmoság és memóriazavarok mérésére** és monitorizálására alkalmas módszerek használatának bevezetését is, különös tekintettel a poszt-covid szindrómában.

### 2.3. Különbségek a polgári és a katonai populáció között a covid-19 fertőzés gyakoriságában és a hosszútávú szövődmények előfordulási gyakoriságában

A nemzetközi szakirodalomban egyértelmű összefüggést írnak le a krónikus betegségek megléte és a covid-19 betegség akut tüneteinek, valamint a poszt-covid szövődmények súlyossága között. Az értekezés korábbi fejezetiben kifejtettem, hogy a polgári repülő közösség jelentősen enyhébb és ritkább repülőorvosi alkalmasságvizsgálatokra kötelezett, mint ugyanezen, de katonai populáció. A polgári repülőorvosi alkalmasságot szabályozó Európa Uniós rendelet sokkal megengedőbb, mint a katonai repülésben érvényes repülőorvosi alkalmasságra vonatkozó szabályozó. Mitöbb, a polgári repülésben létezik egy olyan kisgépes kategória (LAPL), aminek szinte alig vannak kizáró, vagy korlátozó egészségügyi kritériumai és ebben a jellemzően magán/hobbi pilóta kategóriában a repülőorvosi engedély nincs is repülőorvosi végzettséghez kötve, az érvényes szabályzók alapján általános házi orvos vagy foglalkozás egészségügyi orvos is kiadhatja a LAPL engedélyt a nélkül, hogy valaha is megismerkedett volna a repülés közben előforduló élettani kihívásokkal, vagy kapott volna legalább minimális repülésbiztonsági humán faktor szemléletet célzó képzést. Mindezek mellett ez a véleményem szerint túlságosan megengedő és a szakmaiságot nélkülöző szabályozás adja ki a leghosszabb időre a repülőorvosi szakszolgálati engedélyt (5 évre). A polgári repülésben -különösen ebben a hobbi pilóta kategóriában, mivel sokan egy életet eltöltve a repülésben a nyugdíj után is szeretnének még repülni és akár élményrepülésekre utasokat is szállítani maguk mellett- továbbá a humán erőforrás hiány ezen a területen is megjelenő problémái miatt jellemzően az oktatópilóták körében- erőteljesen érezhető a maximális életkor kitolódása. A magyarázat arra alapul, hogy a kor nem egyenlő (feltétlenül) a kórral, és hogy a kor előrehaladtával a szervezet öregedésével járó természetes, nem kóros mértékű reakcióidő romlást és fizikai, valamint mentális teljesítmény romlást az idősebb pilóták megszerzett hatalmas repülési tapasztalata ellensúlyozza. Nem szabad azonban elfelejtenünk, hogy hiába van az idősödő pilótának hatalmas repülési tapasztalata és így várhatóan alacsonyabb a repülés közbeni stressz terhelése, mégis vonatkozik rá a biológiai korából adódóan ebben az időszakban már jelentősen és nem lineárisan emelkedő

kardiovaszkuláris, neurológiai vagy kognitív képeségek romlása, amelyek jelentősen megemelik a repülés közben kialakuló hirtelen cselekvőképtelenség kockázatát. Ilyen probléma lehet egy idősödő pilótánál például a korából adódóan megemelkedett kockázat akut koronária szindróma, koszorúsér meszesedés és szűkület és/vagy vulnérabilis plakkok miatt. A vulnérabilis plakkok érzékenyek hipoxiára és így repülés közben nőhet a plakk ruptúra talaján kialakuló akut koronária szindróma vagy akár a szívinfarktus, hirtelen szívhalál vagy pedig a thrombembóliás szövődmények veszélye. Hasonló hirtelen cselekvőképtelenséghez vezető probléma lehet az idősödő pilóták esetében számos neurológiai probléma, ami az agyi keringés átmeneti vagy tartós zavarával járhat. Tipukisan ilyen a tranziens ischaemias attack (TIA), a vérzéses vagy ischaemiás stroke (mindkettő jelentkezhet repülés közben, a vérzéses stroke kialakulásának veszélyét növelheti a repülési manőverek során láb-fej irányban jelentkező gravitációs túlterhelés, az ischaemias stroke veszélyét pedig a thrombembóliás talajon kialakuló formák esetében a repülés közben jelentkező erős vibráció fokozhatja). Ezeknek a betegségeknek nagy része rendszeres kontrollal hosszú ideig jól egyensúlyban tartható, azonban a LAPL kategóriára jellemző hosszú érvényességi idő nem teszi kötelezővé ezeknek az idősödő pilótáknak rutinszerűen történő gyakori ellenőrzését (SIC-speciális orvosi kontrollvizsgálatra kötelezett korlátozás használata a Repülési Hatóság engedélyével nem általános ebben a kategóriában, mivel nem követelmény a repülőorvosi képzettség a vizsgáló orvosok között és nem feltétlen ismerik a jogszabályi lehetőségeket), így véleményem szerint a polgári repülésben- főképp ebben a kisépkes hobbipilóta kategóriában nem tud érvényesülni a repülőorvosi alkalmasság kritériumrendszerét meghatározó Hopkirk kritérium<sup>11</sup> [127]. Kiemelten igaz lehet ez a poszt-covid időszakban, amikor a fentebb említett módon a kor előrehaladtával megjelenő krónikus betegségek, és azok halmozódása, többszörös rizikót jelenthet a covid-19 fertőzés tüneteinek súlyosságában, a tünetek hosszának fennállásában és a poszt- valamint long-covid szövődmények kialakulásában is. Ezen gondolatok mentén fogalmazódott meg bennem, hogy a polgári repülésben az életkor kitolódása és az általánosságban enyhébb és ritkább repülőorvosi szűrések kapcsán a poszt-covid szindróma még nagyobb repülésbiztonsági rizikót jelenthet, mint a katonai populációban.

---

<sup>11</sup> A Hopkirk kritérium a repülőorvostanban az alkalmasságból való kizárás kritériuma, 1%-os szabálynak is nevezik, azt jelenti, hogy ha a repülésben dolgozó szakszolgálati engedélyre kötelezett személy bármely betegsége, egészségügyi, fizikiai vagy mentális problémája kapcsán a repülés közbeni hirtelen cselekvőképtelenség kialakulásának valószínűsége meghaladja az 1%-ot az elkövetkező 1 évben, akkor a személy alkalmatlan a repülésre, nem kaphat repülőorvosi szakszolgálati engedélyt.

A hipotézisem szerint a polgári repülésben dolgozók az enyhébb egészségügyi követelmények és magasabb átlag életkor miatt feltételezhetően **több krónikus betegségben szenvednek, mint** a szigorúbban szűrt **katonai populáció**, így a kérdőív adatainak elemzésekor azt is vizsgáltam, hogy igaz-e az a feltételezés, miszerint a polgári állomány egészségi állapota kedvezőtlenebb, körükben a krónikus betegségek gyakorisága magasabb, mint a katonai populációban. A hipotézis igazolásához kétmintás aránypróbát végeztem (2-sample test for equality of proportions), mely azt vizsgálja, hogy két független csoportban egy adott tulajdonság előfordulási aránya megegyezik-e. A mintában **eltérés nem igazolódott** a két csoport között ( $p=0,829$ ).

Magyarázatként szolgálhat a minta alacsony elemszáma, a mintára jellemző magasabb átlagos életkor (43,35 év) és az ennek folyományaként értelmezhető magas krónikus betegségek aránya (48,23%-nak már van krónikus betegsége) ami a résztvevő katonai válaszadókra is jellemző volt általánosságban. A minta összes **85 válaszadójából mindössze 52 főnél lehetett végrehajtani** ezt a polgári és katonai csoport közötti **összehasonlítást**, 36 válaszadó tartozott a katonai csoportba, míg a polgári csoportba mindössze 16 fő tartozott, így ennek a hipotézisnek a vizsgálatát hatványozottan **nehezítette az alacsony elemszám és a csoportok közötti egyenlőtlenség** is. A kérdőívben 33 fő nem jelölte meg, hogy katonai, vagy polgári repülésben dolgozik, ennek **módszertani hiba volt az oka**. A kérdőív elkészítésekor ennél a kérdésnél nem jelöltem meg a „válaszadás kötelező” tulajdonságot, így már 33 válasz beérkezett, amikor ezt a hibát javítottam és nagyságrendileg nem érkezett olyan sok válasz, ami ezt a hibát ellensúlyozni tudta volna. A kérdőív megnyitása egy HungaroControl kisgépes VFR fórumon történt, így feltételezhető, hogy a jelen hipotézisvizsgálatból a polgári/ katonai repülés megjelölését nem tartalmazó válasz döntően a polgári repülésből érkezhettek, azonban a válaszok utólagosan adatvédelmi szempontból nem módosíthatók. Valószínű, hogy ezek a válaszok kiegyensúlyozták volna a polgári és katonai csoport közötti jelentős létszámkülönbséget és elképzelhető, hogy egyenlő mintákon az összefüggés vizsgálata legalább tendencia szintjén igazolta volna a hipotézisemet.

Feltételezhetően szintén a viszonylag alacsony elemszám és a magasabb életkorból adódó magas krónikus betegségek aránya miatt a kutatás kérdőíves adatainak elemzése **saját mintámon** a nemzetközi szakirodalmi adatokkal ellentétben **nem mutatott szignifikáns eltérést** sem a **meglévő krónikus betegségek és a poszt-covid tünetek súlyossága**, sem pedig a meglévő krónikus betegségek és **a poszt-covid tünetek hossza (lefolyása)** tekintetében és **nem igazolódott szignifikáns összefüggés a meglévő krónikus betegségek és az ismétlődő**

**covid-19 fertőzések súlyosabb tünettánában** sem. Magyarozatként szolgálhat a repülőorvosi vizsgálatokra kötelezett populáció jobb egészségtudatossága és a rendszeres orvosi szűréseken és gondozási tevékenység keretében jól egyensúlyban tartott krónikus betegégek megléte, aminek kapcsán érthető lehet, ha a repülésben dolgozók körében kevésbé befolyásolná a covid-19 fertőzés tüneteit és a poszt-covid szövődmények súlyosságát a meglévő krónikus betegség, de ezt validan csak magasabb elemszámon végrehajtott elemzéssel lehetne kijelenteni. A fiatalabb korosztály nagyobb arányú részvétele (alacsonyabb átlag életkor, a krónikus betegségek nélküli populáció nagyobb arányú megjelenése) valószínűleg úgy befolyásolta volna az eredményeket, hogy ezek a feltételezések is igazolódtak volna a nemzetközi szakirodalommal egyezően.

#### *2.3.1. A 4. hipotézis vizsgálata*

A kutatás során nyert adatok elemzésével **nem mutatható ki szignifikáns különbség a polgári és a katonai válaszadók között** a covid-19 fertőzés gyakoriságában, sem pedig a hosszútávú szövődmények előfordulási gyakoriságában. Általánosságban sem sikerült szignifikáns különbséget kimutatnia krónikus betegségek megléte és a covid-19 fertőzés tüneteinek súlyossága, vagy a tünetek hossza között, hasonlóképpen nem sikerült szignifikáns összefüggést kimutatni a meglévő krónikus betegségek és az ismétlődő covid-19 fertőzések tünettana között sem.

Ezek alapján a **4. hipotézis** - miszerint szignifikáns különbség van a katonai és a civil pilóták között előforduló Covid-19 fertőzés gyakoriságában és a hosszútávú (megemelkedett repülésbiztonsági rizikót jelentő) szövődmények előfordulásában- **nem igazolódtott**.

Az eredmény **ellentmond a nemzetközi szakirodalomban egységesen publikált** adatokkal és fenntartásokkal kell kezelni, mivel a vizsgálati eszköz (online kérdőív) indításakor módszertani hibát vétettem és így a teljes elemszám közel egyharmada kiesett ezen hipotézis értékeléséből és ez jelentős adatorzulást okozhatott.

#### *2.3.2. Részkövetkeztetések*

Bár a hipotézis nem igazolódtott, ennek háttérében a fiatalabb korosztály igen alacsony aránya és a kérdőív alapvetően fontos kérdésének rossz beállítása is állhat. Fontos tanulság ebből, hogy a hasonló kérdőíves kutatásoknál figyelni kell a rendszeres időközönkénti adatelemzésekre is, hogy a válaszadók életkor szerinti eloszlására és az esetleges módszertani hibákra időben fény derüljön és korrigálni lehessen a célcsoportok aktívabb bevonásával. A kutatás folytatásában érdemes lehet ezt a kérdést újrazvizsgálni, illetve a

gyanú igazolására ezt az idősödő polgári repülési közösséget bevonni az objektív műszeres vizsgálatokba, ami tudományos igényességgel vizsgálhatja az idősödő pilóta populáció emberi teljesítményét, vagy annak csökkenését a különböző kockázati tényezők megléte, vagy önmagában az életkor függvényében is. Ennek hatékony végrehajtásához azonban egynél jóval több mérő eszközre és több vizsgálatot végző személyre lesz szükség.

A hipotézis jelen kutatásban nem igazolódott ugyan, de a hipotézis elemzésénél fentebb leírt okokból továbbra is ajánlott az idősödő polgári repülési közösséget kiemelten kockázatos csoportként kezelni a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázata tekintetében.

### **3. A fáradtság objektív mérésének lehetőségei bioszenzorokkal**

A fáradtság a humán faktor hibaforrás egyik fő okozója, és mint ilyen, kiemelt repülésbiztonsági rizikót jelent. Hatását tekintve ugyanolyan mértékben rontja az emberi teljesítőképességet, mint az alkoholfogyasztás [76,77,80]. A fáradtság okozta emberi teljesítménycsökkenés és az abból adódó hibázások régóta a repülésbiztonsági rendszerek középpontjában állnak, jelentőségének elismerését mi sem bizonyítja jobban, mint hogy (számos más humán faktor hibaforrásként jól ismert tényezővel ellentétben) a fáradtság okozta repülésbiztonsági kockázatok elkerülése és a kockázatok kezelése érdekében a Fáradtság Menedzsment önálló repülésbiztonsági szabályzót kapott (Fatigue Risk Management system-FRMS). Mindazonáltal, hogy ezek a dokumentumok elismerik a fáradtság kiemelt szerepét a repülésbiztonságban, annak mérésére kevés egzakt módszert ajánlanak fel. A fáradtságot napjainkban is leggyakrabban önbevallós kérdőív segítségével mérik fel, habár vannak nemzetközileg elismert és validált fáradtságmérő skálák, amik több szempontból is vizsgálják a fáradtságot, pl. általános fáradtság, kórós napközbeni álmoság, egyes feladatok okán kialakuló álmoság és krónikus fáradtság mérésére is alkalmazható kérdésekkel [73,74,75,79]. Habár minden repülésbiztonsági rendszer működtetésére (ASMS) kötelezett szervezet saját legjobb érdekében és a repülésbiztonsági menedzsment rendszer részeként egyben köteles fáradtság menedzsment rendszert is működtetni- bizonyos munkakörnyezetben, szervezetnél, ahol a repülésbiztonsági rendszerek működésének alapköve, alapfeltétele, a „just culture” nem igazán biztosított, ott a retorziótól való félelem jegyében ezeknek az önbevallós kérdőíveknek az őszintesége és ebből fakadóan a használhatósága is kérdéses lehet. A katonai repülésben tipikusan uralkodó a műveleti feladatok prioritása és a feladatorientáltság, ami nagyon sokszor

háttérbe szorítja a fáradtság menedzsment rendszer alapján ajánlott, szükséges és indokolt pihenés letöltését.

### 3.1. A fáradtság szerepe a repülőgépbalesetekben

Ennek bizonyítékeként értelmezhető az, hogy az utóbbi évtizedben szinte minden katonai – és nagyon sok polgári légi balesetnél is kimutatható volt fő okként, de legalábbis erős hozzájáruló tényezőként a pilóta/légiforgalmi irányító/műszaki kiszolgáló személyzet akut, vagy krónikus fáradtsága (ld. 3. táblázat: Jelentősebb repülőgép-balesetek, ahol a fáradtság hozzájáruló tényező volt).

Az, hogy a fáradtság menedzsment rendszerek ellenére ilyen nagy számban szerepel a fáradtság a repülőgépbalesetekhez vezető, vagy hozzájáruló okként, felhívja a figyelmet ezen FRMS rendszerek gyengeségeire is. Vagy nem detektálható megfelelően a fáradtság a jelenleg alkalmazott módszerekkel, vagy nem kellően őszinte a fáradtságra vonatkozó önértékelés, vagy a feladatorientáltság miatt túlértékeli a saját teljesítőképességét az egyén (meg tudom csinálni!), vagy pedig nincs kellő komolysággal kezelve az, ha egy repülésben dolgozó hangot ad annak, hogy ő elfáradt. Felmerülhetnek disszimulációs céllal befolyásolt önértékelések, a repülésben dolgozók közösségében ez talán kevésbé gyakran irányul arra, hogy ne kelljen dolgozni- és sokkal inkább fordulhat elő az, hogy túlértékeli saját teljesítőképességét az egyén. **Nagy repülésbiztonsági rizikót jelent az, ha az egyén túlértékeli saját teljesítőképességét és az is, ha a szervezet negálja a feladatvégrehajtás érdekében a fáradtságot jelentő egyén jelzését** (pl. disszimulációt gyanítva).

### 3.2. A fáradtság objektív mérésének lehetőségei a gyakorlatban

A covid-19 fertőzést követő tartós tünetegyüttes (poszt-covid és long-covid) vizsgálata során egyre nagyobb figyelmet kapnak a kognitív és alvással kapcsolatos panaszok. Számos tudományos közlemény számol be arról, hogy az érintettek alvásminősége romlik, és nappali fáradtságot tapasztalnak, ugyanakkor kevés adat áll rendelkezésre arra vonatkozóan, hogy ezek a panaszok milyen mértékben jelennek meg objektív neurofiziológiai mutatókban. **A mikromegalvási epizódok az éberségi rendszer instabilitásának érzékeny indikátorai** és kapcsolatban állnak a figyelmi teljesítmény romlásával. Az EEG-vizsgálat alkalmas a mikoralvás epizódok detektálására, míg a **pszichomotoros éberségi teszt (PVT)** széles körben használt eszköz a **fenntartott figyelem mérésére**.

Jelen vizsgálat célja a poszt-covid állapothoz társuló eltérések (úm. alvásminőség, neurofiziológiai és figyelmi eltérések) komplex vizsgálata volt. Az elemzés során kitértem az objektív és szubjektív mutatók közötti, valamint a programalapú és vizuális EEG eredmények közötti kapcsolat vizsgálatára is.

### 3.2.1. *A Pszichomotoros Vigilancia Teszt és korlátai*

A fenti dilemmára megoldást jelenthet a fáradtság objektív mérésére alkalmas technológia és módszertan. A fáradtság menedzsment rendszerekben is megjelenő objektív mérési lehetőség a Pszichomotoros vigilancia teszt (PVT), ami nemzetközileg elismert és bizonyított módszer a teljesítmény és fáradás objektív mérésére **a reakcióidő monitorozása** révén. A probléma a PVT tesztekkel, hogy **nincs igazán általános**, mindenkire igaz **cut-off érték** a teljesítmény romlását és **kifáradást mutató reakcióidő-megnyúlásra (ún. lapse)**, ideálisan mindenkit saját magához kellene hasonlítani és önmagához képest megállapítani a lapse-ok cut-off értékét. Nehezíti ezt, hogy még az egyéni jellemzők is változhatnak számos környezeti vagy egyéni tényezőtől (pl zajos vagy figyelemelterelő nem elég nyugodt környezet, napszak, műszak, cirkadián ritmus, stressz, gondolatok szétszórtsága (ezer felé járnak a gondolataim a teendők miatt), koffein és egyéb stimulánsok mennyisége a szervezetben stb.). Egy PVT-n alapuló hatékony monitorizálást rendszerben lehetne elgondolni, feltételezi, hogy minden egyén rendszeresen végrehajtja standard körülmények között (!) a PVT tesztet annak érdekében, hogy létrejöhessen az **egyénre jellemző reakcióidő-profil**, amihez aztán már validan hasonlítani lehet az aktuális napi PVT teszt eredményeket az egyén fáradtságának objektív méréséhez. Ez **nem életszerű** és a személyi állomány fluktuációja miatt meglehetősen sziszifuszi munkát okozna a fáradtságmenedzsmenttel foglalkozó repülésbiztonsági szakembernek. További kivitelezési nehézség a **PVT-ben**, hogy annak **végrehajtása megkívánja, hogy az egyén hagyja abba a munkáját a teszt végrehajtásáig**, és egy PVT teszt, ahhoz, hogy valóban értékelhető eredményt adjon, legalább 10, de inkább 15 percig kellene, hogy tartson. Ennél rövidebb idejű PVT tesztnél nem biztos, hogy megmutatkozik pl a krónikus fáradtság talaján kialakuló teljesítménycsökkenés. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy ha munka, vagy repülés közben pl a légiforgalmi irányító, vagy a pilóta a fáradtság jeleit észleli magán, akkor abba kellene hagyja a munkáját kb 10-15 percre, hogy megcsinálja egy objektív fáradtságmérést a PVT-vel. A földi kiszolgáló és támogató erők esetében még talán kivitelezhető egy-egy ilyen PVT teszt a műszak közben, ha a fáradtság jeleit észlelik, de pilótáknál repülés közben ez kevéssé kivitelezhető, esetleg a felszállás előtt lehetne egy ellenőrző PVT tesztet csináltatni a pilótákkal. Ez azonban egyáltalán nem lenne hatékony a

pilóták fáradtság szempontjából legveszélyesebb hosszútávú, monoton időszakokkal teli repülési feladatainál, mivel a **krónikus fáradtság várhatóan nem a feladatok megkezdésekor** hatna hátrányosan a teljesítményre, hanem pont ellenkezőleg- a vártnál rövidebb idő alatt fáradna el a pilóta, pontosan a repülési feladat közben, annak vége előtt, esetleg pont a legveszélyesebb leszállási szakaszban.

### 3.2.2. *A szemmozgás detektálása (OMG)*

Nagy távolságú gépjárművezetésnél, teherszállításnál már alkalmazott technológia a gépjárművezető elfáradásának észlelésére a (visszapillantó tükörbe épített) szemmozgásokat érzékelő szenzor (ophthalmograph-OMG), azonban a fáradtság témakörét tanulmányozó kutatások már az 1990-es évek vége felé leírták, hogy az **agy kifáradáskor képes olyan pillanatnyi „megalvásokra”, amelyek nem feltétlenül járnak a szem lecsukódásával**, azaz rövidebb epizódokra akár nyitott szemmel is elalhatunk, így az OMG sem ideális mérőeszköz (bár ennél a módszernél már nem kell abbahagyni a munkát a „méréshez”).

### 3.2.3. *Az agyhullám tevékenység, EEG-n észlelt mikromegalvások*

Ezek mentén érdemes más objektív mérési módszereket is megfontolni és kutatni a fáradtság objektív méréséhez. Ilyen lehetőségnek ígérkezik az **agyhullám tevékenység monitorozása, amelyben kimutathatók a kezdődő fáradtságra utaló** agyhullámtevékenység változások, ún. **lassulások (mikromegalvások)**. Fáradtság esetén az agyhullámokban rövid idejű meglassulások, mikromegalvások jelennek meg egy- vagy akár több régióban is, legjellemzőbben a frontális és/vagy occipitális régiókban. Ilyenkor megváltozik az agyhullámok domináns frekvenciája (csökken), megjelennek az éber tudatállapot- és alvás közti átmenetre jellemző álmoság (drowsiness) jeleként az **alfa** agyhullámok (3-7 Hz), és/vagy a már felületes alvást képviselő **Théta hullámok** (8-12 Hz). A szakirodalmi összefoglalóban részletesen tárgyaltam az agyhullám tevékenység jellemzőit és a mikromegalvások definícióját. A módszert gyakorlatban már kipróbálták az 1994-ben végrehajtott Nasa Nap study-ban [101]. A Rosekind és mtsai által végrehajtott vizsgálatnak a célja pontosan az volt, hogy megvizsgálja a fáradtság hatását a hosszútávú repülőutak során azon pilótáknál, akik pihenhettek a repülés közben (nap-szunyókálás) és azok között, akik nem pihenhettek. A vizsgálatban a jellemzően kb 4 órás repülés utolsó 1,5 órájában monitorozták a pilóták agyhullámait elektroencephalográf (EEG) készülékkel és keresték a mikromegalvásokat az agyi tevékenységben. Beszédés eredményük egyértelmű különbséget mutatott a pihent és a fáradt pilóták körében a mikromegalvások számában. A fáradt pilótáknak

nemcsak jelentősen több mikromegalvásuk volt, de a leszállás közben a legveszélyesebb manőverek közben is volt mikromegalvásuk. Ezzel szemben a pihent pilótáknál szignifikánsan kevesebb volt a mikromegalvások száma és egyetlen egy mikromegalvás sem fordult elő a leszállási manőver közben [101]. Ezekben az években az EEG készülék még egy hatalmas doboz volt, a fejre gumis sapkával felhelyezett elektródák vizes elektródák voltak a jelminőség érdekében és minden elektródát vezeték kötött össze az EEG készülékkel, az eredményeket papírra nyomtatta a gép és azt utólag, vizuálisan értékelték ki a szakemberek. Nyilvánvalóan nem praktikus és nem is életszerű egy ilyen eszközt használni munkavégzés közbeni fáradtság monitorizáláshoz, azonban a fáradtság objektív mérésére alkalmas módszer elvét jól demonstrálta.

#### *3.2.4. A bioszenzorok szerepe a mikromegalvások detektálásában*

Manapság a technológia és főleg a bioszenzorok tekintetében akkora fejlődés volt, hogy érdemes újra megvizsgálni a **fáradtság objektív mérésének eszközeként az EEG technológia** lehetőségét, mivel ez a módszer **a munkamenet befolyásolása nélkül**, a környezeti zavaró tényezőktől (zaj, beszéd, nem igényel standardizált mérési körülményeket) viszonylag függetlenül és **egyéni standardok felállítása nélkül**, a szubjektivitás és a disszimuláció kizárásával **folyamatosan képes lehet a fáradtság** jeleinek, és ezzel a teljesítőképesség romlásának **objektív mérésére**.

Az adattovábbítási technológiák fejlődésével vezeték nélküli adattovábbítással jelentősen csökkenteni lehetett az EEG felvétel készítéséhez szükséges vezetékeket, maga az EEG készülék is átalakítható modern chip, vagy hardware alapon futó adatrögzítő és vizuális képmegjelenítő software-é. Egy kompakt, miniatürizált EEG eszköz fejlesztésében maga az EEG szenzor, ami a legnagyobb kérdés még manapság is. Bár az EEG szenzorok, a bioszenzorokkal együtt sokat fejlődtek, már léteznek zselés, félszáraz sőt száraz elektródák is, ami jelentősen megkönnyíti a hosszabbtávú alkalmazást, azonban a jelminőség továbbra is a nedves (zselés és félszáraz) elektródák esetében jobb a jelközvetítő közegnek köszönhetően. A száraz elektródák megjelenésével megjelentek a konzumer piacon EEG szenzorokkal ellátott eszközök, főképp 1 elvezetéssel működő, az alvásminőség és relaxációs technikák minőségének ellenőrzésére és nem orvosi biológiai monitorizálásra, azonban elérhetőek olyan eszközök is, amelyek több elvezetésben is képesek EEG vizsgálatra (lsd. 8. ábra). A bioszenzorok piacán egyre szélesebb körben elérhetőek viselhető (wearable) szenzorok, sőt textilbe épített (smart cloth technológia) bioszenzorok is, amely már ideális megoldás lehetne

a rendszeresített katonai felszerelésbe épített EEG technológia kifejlesztésére, azonban EEG szenzor még nem létezik smart cloth technológiában, sőt mivel a hajas fejbőrrel kell megfelelő minőségű jelet venni- egyelőre nem létezik csupán lapos, vagy matrica-szerű EEG elektróda sem a hajas fejbőrre, csak „tüskékkel” ellátott elektróda, ami a hajas fejbőrön a hajszálak között a fejbőrrel tud érintkezni és még így is jelentős zajt generál a szenzorok jelében a haj.

Ezek alapján látható, hogy a mikromegalvások detektálása EEG-n észlelhető mikromegalvásokkal ígéretes és korábban már bizonyított módszer [101], azonban **a szenzor technológiát még fejleszteni kell a katonai céloknak** is megfelelő sisakba építhető EEG bioszenzor rendszer létrehozása érdekében. Mint minden fejlesztés, különösen a bioszenzor technológiák fejlesztése és nem csupán a katonai felszerelésekkel, de a **repülési környezettel is kompatibilis technológia kifejlesztése** jelentős költségvetést igényel. A kutatásom egyik célja bebizonyítani, hogy az EEG-n észlelhető mikromegalvások detektálására alkalmas bioszenzor technológia alkalmas lehet a fáradtság objektív mérésére és ezzel jelentősen növelheti a repülésbiztonságot számos munkakörben, érdemes lehet tehát ebbe a kutatás-fejlesztési projektbe időt és pénzt fektetni.

A kutatásom orvosi alapjaihoz és kutatási témaválasztásához igazodva jelen kutatásomban a poszt-covid csoport és a kontroll csoport között mérhető mikromegalvások számának detektálásával és az eredmények PVT teszthez, valamint az önbevallós kérdőívekhez történő összehasonlításával igyekszem bemutatni, hogy az EEG alapú mikromegalvások detektálása alkalmas módszer a fáradtság objektív mérésében és érdemes ennek a bioszenzor technológiának a fejlesztése a katonai repülésben is kompatibilis eszközzé.

### 3.3.A vizsgálati módszer bemutatása

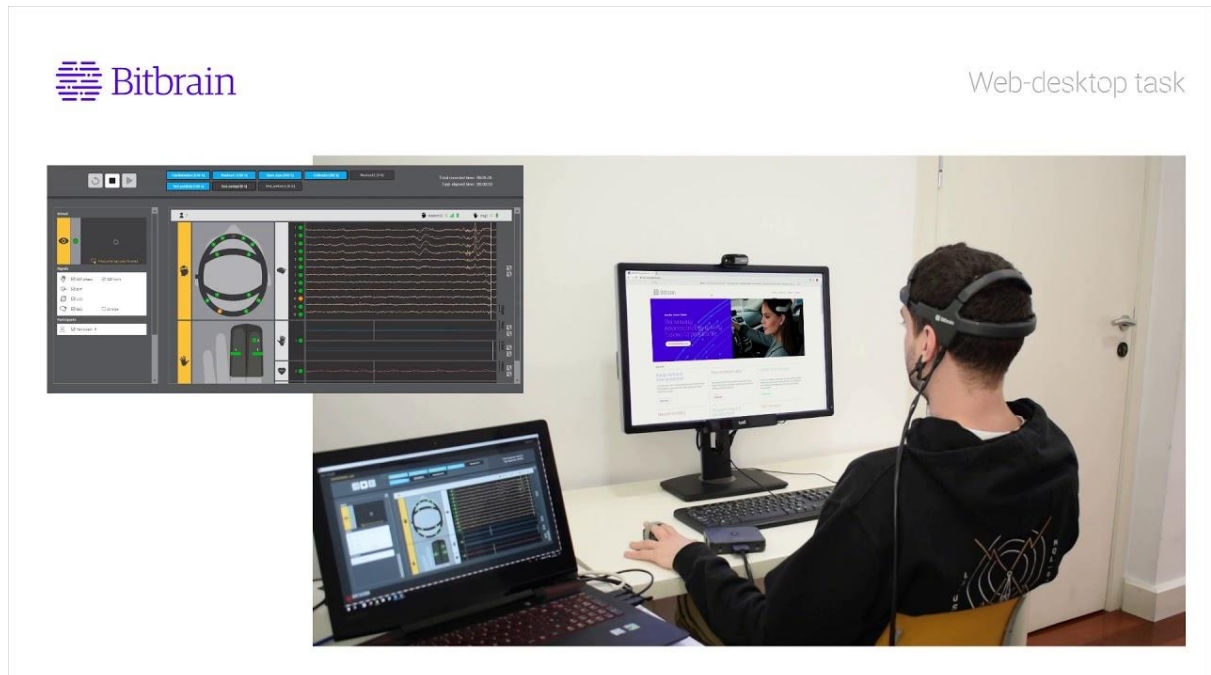
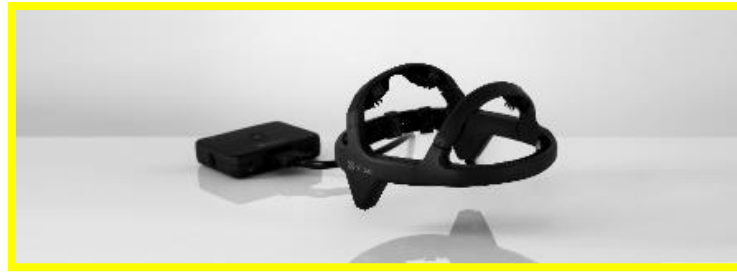
A covid-19 fertőzést követő poszt-covid időszakban a szakirodalmi adatok szerint gyakran fordulhatnak elő mikromegalvasos epizódok, melyek jelentős kockázatot jelentenek repülésbiztonsági szempontból. Ennek igazolására egy RCT vizsgálatot végeztem (RKEB engedély száma: EPCHK/380-1/2025), ahol egyrészt kérdőívek segítségével vizsgáltam az alváshoz, alvásminőséghez, fáradtsághoz kapcsolódó szubjektív mutatókat (úm. Epworth Álmoság skála, Groningen Alvásminőség Skála (GSQS) és Karolinska Álmoság skála), valamint objektív, műszeres vizsgálatot végeztem a reakcióidő (PVT-teszt) és az agyi aktivitás (EEG) vonatkozásában. A vizsgálatban 8 fő poszt-covid személy és 8 fő életkorban, nemből illesztett kontroll személy vett részt. A vizsgálat során használt kérdőívek (úm. Beválasztási

kérdőív és a Vizsgálati nap kérdőíve) a 3. számú mellékletben található. A vizsgálati személyek tájékoztatása az előírásoknak megfelelően történt, részvételi szándékukat aláírásukkal igazolták, a vizsgálatban önként vettek részt, ellentételezést nem kaptak, adataikat anonim módon, bizalmasan kezeltem.

A monotónia tesztekhez a szabad forrásból hozzáférhető NASA által használt PVT applikációt használtam, az EEG vizsgálatokhoz alkalmas eszköz beszerzése nagyobb kihívást jelentett, mivel jelenleg még nem létezik smart cloth, vagy sisakba építhető EEG bioszenzor technológia. A konzumer piacon elérhető EEG eszközök közül (Isd. 8. ábra) kevés felelt meg a tudományos kutatás igényességéhez szükséges feltételeknek. Mivel egy sisakba épített technológia fejlesztésénél figyelembe kell venni az ergonómiai és hosszú idejű viseléssel járó faktorokat is, célszerű lenne olyan lokalizációkat azonosítani a lehetséges EEG elvezetéseknek, ahol lehetőleg nincsen hajas fejbőr, mégis kellően érzékeny a mikromegalgások detektálására. Ennek okán olyan eszközt választottam, ami a lehető legtöbb elvezetésben detektálja az EEG-t, hogy a kutatás- fejlesztés során az adatok elemzésével meg lehessen határozni azokat a legoptimálisabb EEG szenzor lokalizációkat, ahol jó megbízhatósággal detektálhatók a mikromegalgások és minimális kényelmetlenség mellett minőségi jeleket lehet mérni. További kritérium volt a vezeték nélküli adattovábbítás, a hosszúidejű mérésekre alkalmas tápegység, a külső adattárolásra is alkalmas adatrögzítés és a rögzített jelek feldolgozására alkalmas adatfeldolgozó szoftver megléte.

### *3.3.1. A mérőeszköz bemutatása*

Ezeknek a feltételeknek legjobban a BitBrain Diadem<sup>®</sup> minden fő régióra kiterjedő és a fülcimpán rögzített referenciával ellátott 12 csatornás, száraz elektródás, vezeték nélküli adattovábbításra és a vezeték nélküli adattovábbítás mellett microSD kártyára történő adattárolásra és utólagos jelfeldolgozásra is alkalmas, 8-10 órás felvételekre elegendő akkumulátorral ellátott kicsi, portábilis jelerősítő és jelerősítő feldolgozó és tároló egységgel rendelkező EEG eszköz felelt meg. Ez a jelerősítő dobozka kb. 10x10x3cm méretű könnyű, zsebben elhelyezhető, az elvezetéseket rögzítő korona egyedi méretre állítható, egyéb kommunikációs eszközök (pl. fej- vagy fülhallgató) használatát nem zavarja. Az eszközhöz tartozik egy vizuális megjelenítést és eszközbeállításokat lehetővé tevő szoftver is (Sennslite), ezeket a 26. ábrán mutatom be.

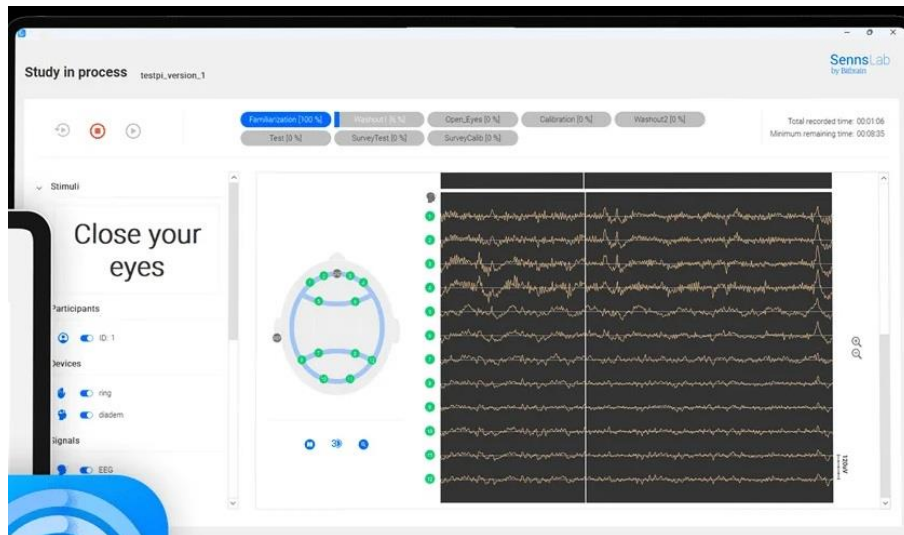


**26. ábra: a BitBrain Diadem® vezeték nélküli száraz elektródás, 12 csatornás mobil EEG eszköz és az adatok vizuális megjelenítését biztosító szoftver (internetes forrás: <https://www.bitbrain.com/neurotechnology-products/software/sensslab> )**

A BitBrain Diadem® eszköz az EEG jeleket 256Hz mintavételezési frekvenciával rögzíti 12 csatornán a koponya összes régiójából (Ch1, Ch04 anterofrontális, Ch02 és Ch03 fronto-parietális, Ch06 és Ch06 frontális, Ch07, Ch08, Ch09 és Ch12 parietális, míg a Ch10 és Ch11 occipitális elvezetések). Referencia elvezetés a bal fülcimpán helyezkedik el. Az elvezetések elhelyezkedését és a Sensslite program által vizuálisan megjelenített adatokat, EEG képet a 27. ábrán mutatom be. A másodpercenként, csatornánként 256 mérési adatot és a mérési idő-információkat (time stamp) a bitbrain saját .bbt file formátumában menti, de az eszközt kezelő Sensslite szoftverrel lehetőség van az adatok exportálására .csv és .edf adatbázisokba.

Az EEG eszközt a Szegedi Tudományegyetem és PC Trade Kft közös kutatás fejlesztési projektje keretében elnyert KKV Fókusz pályázat részeként szereztük be, melynek célja a munkavállalók szellemi teljesítményének hatékonyságát detektáló, a mentális kimerüléssel

kapcsolatos kockázatok csökkentésére alkalmas predikciós okoseszköz és technológia fejlesztése, ebben a projektben a SZTE Általános Orvostudományi Kar Repülő és Űrorvosi Tanszéke tudástranszferként vesz részt és a mérések során EEG-vel is vizsgáljuk a mentális effort csökkenését, a fáradtság megjelenését.



27. ábra: a BitBrain Diadem® vezeték nélküli száraz elektródás, 12 csatornás mobil EEG eszköz EEG csatornáinak elhelyezkedése és a detektált EEG adatok vizuális megjelenítése (internetes forrás: <https://www.bitbrain.com/neurotechnology-products/software/sennslab> )

### 3.3.2. Az EEG vizsgálati protokoll bemutatása:

A vizsgálatba önkéntes és anonim alapon jelentkezhetnek az alanyok, a vizsgálatban való részvételért anyagi juttatást, költségtérítést nem kapnak. A toborzás során részletes tájékoztatást kapnak a vizsgálat céljáról, menetéről, időtartamáról és adataik kezeléséről, a vizsgálatban való részvételi szándékukat aláírásukkal igazolják.

#### **Kutatási elrendezés:**

A kutatási eljárás tájékozott beleegyezésen és önkéntes részvételen alapuló, kvantitatív, korrelációs stratégiát alkalmazó, megfigyeléses, keresztmetszeti vizsgálat, melynek során a résztvevőket az előszűrési kérdőív eredményei alapján két csoportba soroljuk:

- a. **Vizsgálati csoport:** A beválasztási és kizárási kritériumoknak megfelelő olyan 18 év feletti személyek, akiknek 6 hónapon belül volt diagnosztikai vizsgálatral igazolt covid-19 fertőzésük, a fertőzés diagnózisa óta minimum 4 hét telt el és poszt-covid tüneteik között szerepel/t a perzisztáló fokozott fáradtság.

- b. **Kontroll csoport:** A beválasztási és kizárási kritériumoknak megfelelő olyan, a vizsgálati csoport tagjaihoz életkor és nem szerint illesztett személyek, akiknek az elmúlt 6 hónapban nem volt diagnosztikai vizsgálattal igazolt covid-19 fertőzése.

A vizsgálatban való részvételt a következő beválogatási és kizárási kritériumok alapján döntöttük el:

**Bevonási kritériumok:**

- a. 18 év feletti életkor;
- b. magyar nyelv ismerete;
- c. nem áll fenn olyan súlyos egészségügyi probléma, amely befolyásolhatja a kognitív funkciókat és/vagy alvászavarral jár;
- d. vizsgálati csoport: 6 hónapon belül volt diagnosztikai vizsgálattal igazolt covid-19 fertőzése, a fertőzés diagnózisa óta minimum 4 hét telt el és poszt-covid tünetei között szerepel/t a perzisztáló fokozott fáradtság;
- e. kontroll csoport: életkor, nem és lehetőleg iskolai végzettség szerint illesztett egészséges egyének, akiknek az elmúlt 6 hónapban nem volt diagnosztikai vizsgálattal igazolt covid-19 fertőzése;
- f. vállalja, hogy a vizsgálat aktív időtartama alatt előre egyeztetett időpontban megjelenik a vizsgáló helyen, részt vesz az eszközös vizsgálatokon (EEG, PVT) és kitölti a vizsgálatához kapcsolódó kérdőíveket.

**Kizárási kritériumok:**

- a. 18 év alatti életkor;
- b. aktív ismert pszichiátriai betegség;
- c. aktív ismert neurológiai betegség (ami alvászavarokkal jár és/vagy az EEG vizsgálatra jelentős hatással lehet);
- d. olyan gyógyszerek, altató- vagy nyugtatószerek használata, ami jelentősen befolyásolja a nappali éberségi állapotot;
- e. dokumentáltan aktív alkohol és/vagy drog abúzustól szenved;
- f. az előszűrésen az ESS értéke nagyobb, mint 10 pont (kóros nappali álmoságban szenved).
- g. A résztvevőket a tájékoztatóban megkértük, hogy a vizsgálatot megelőző napon és a vizsgálat napján kerüljék a teljesítményfokozó energiatalok, kávé fogyasztását és az alkohol fogyasztást is.

### **Alkalmazott eszközök leírása:**

- a. **Beválasztási kérdőív**, mely a szociodemográfiai adatok (életkor, nem, iskolai végzettség) mellett a kizáró betegségekre és a covid-19 fertőzésre kérdez rá, valamint magába foglalja az Epworth Álmoság skálát (ESS). Az ESS olyan kérdéssort tartalmaz, amely felméri a túlzott nappali álmoságot, a mindennapi élet különböző helyzeteiben való elalvás valószínűségének becslésével. A skála 0-24 pont körüli értéket vehet fel, a fokozott nappali álmoság cut off értéke 11 pont.
- b. **BitBrain Diadem** 12 csatornás vezeték nélküli EEG készülék (leírását lsd fentebb)
- c. **PVT**: az éber figyelem felmérésének legszélesebb körben használt eszköze, egy reakcióidő teszt, melynek során a vizsgált személy azonnal megérinti a mobiltelefon képernyőt, amint vizuális inger jelenik meg a képernyőn. Jelen vizsgálatban a NASA által szabadon elérhető és letölthető PVT mobil alkalmazást használunk, amely a reakcióidőket ezredmásodpercekben jeleníti meg. A kutatásban **30 perces PVT** tesztet hajt végre minden alany (**EEG monitorozás mellett**).
- d. **Vizsgálati kérdőív**: az első rész a koffein és alkoholtartalmú italok fogyasztására és az előző napi alvás mennyiségére és minőségére kérdez rá a Groningen kérdőív segítségével. Célja a kizárási kritériumok vizsgálata (altató-nyugtató szerek, drogok, alkohol fogyasztása, szokatlanul kevés vagy rossz minőségű alvás a vizsgálat előtti napon, teljesítményfokozó kávé vagy energiatital fogyasztása a vizsgálat előtt) A második rész a vizsgálat alatti szubjektív éberség mérésére szolgál (Karolinska Sleepiness Scale), amely egy ordinális skálán méri a szubjektív éberséget/álmoságot, ahol a cut off érték az álmoság vonatkozásában a 7-es érték.

### **Az EEG vizsgálatok menete (vizsgálati protokoll):**

A/ A vizsgálat első fázisa (kb. 60 perc)

- a. Az aláírt beleegyező nyilatkozat átvételét követően a Vizsgálati kérdőív első része került kitöltésre, majd ezt követte a kérdőívek és anamnesztikus adatok áttekintése, megbeszélése. Extrém rossz alvásminőség vagy jelentős alváshiány esetén a vizsgálat nem végezhető el aznap, csak egy másik időpontban.
- b. Előkészítés: a páciensnél felhelyeztem és teszteltem a BitBrain Diadem EEG eszközt, elmagyaráztam és megmutattam a PVT teszt működését, gyakoroltattam a PVT tesztet (2-3 percig)
- c. **PVT és EEG szimultán** mérések: kb 30 perc
  - i. 5 perc nyugalmi EEG felvétel nyitott szemmel

- ii. 5 perc nyugalmi EEG felvétel csukott szemmel
  - iii. 30 perces PVT teszt EEG méréssel
- d. A Vizsgálati kérdőív második részének kitöltése következett, ami egy szubjektív éberségi skála a vizsgálat alatti fáradtság mérésére vonatkozóan.

B/ A vizsgálat második fázisa (kb. 7 óra):

- a. A vizsgálatban résztvevők körében a vizsgálatot kiegészíttem egy **hosszabb idejű EEG monitorozással**, melynek során az első fázisban felhelyezett EEG eszközzel a vizsgálati személy elmegy és **normál munkavégzési tevékenységeit** végzi. Az EEG eszköz memóriakártyáján rögzített EEG felvétel utólagos adatelemzésével vizsgáltam a munkavégzés közben megjelenő mikromegalvási epizódok számát, jellegét majd összehasonlítottam a vizsgálati csoport és a kontrollcsoport jellemzőit.

### 3.4. A vizsgálati eredmények bemutatása

A poszt-covid és long-covid nemzetközi szakirodalma és saját kutatási adataim alapján is (2. és 3. hipotézis) igazolódott, hogy a fáradtság nagyon prominens és igen sokáig jelenlévő poszt-covid szövődmény lehet, melyet jelentősen tovább ronthat a poszt-covid szindróma számos másik tünete is. A fáradtságot jellemzően általában önbevallásos kérdőívekkel vizsgálják, amelyeknek őszintesége és reális alapja bizonyos esetekben megkérdőjelezhető (főleg a tünetszegény, vagy tünetmentes ismételt covid-19 fertőzéseknél, ahol nem alakul ki betegségtudat és észrevétlen maradhat az újabb poszt-covid állapot). A fáradtság objektív mérésére alkalmas módszer lehet a pszichomotoros vigiliancia teszt (PVT), ami a reakcióidő megnyúlásával jellemezhető lapsz-okkal jelzi a fáradtságot, továbbá alkalmas lehet a fáradtság objektív mérésére az agyhullámokban fáradtság esetén megjelenő mikromegalvások detektálása az EEG-n.

A vizsgálati csoportokat a vizsgálati módszer bemutatásánál részletezett kritériumok alapján válogattam össze önkéntes jelentkezőkből. A poszt-covid csoportba és a kontroll csoportba is 8-8 fő került bevonásra, a minta kis elemszáma miatt a kontroll csoport tagjait nemre, életkorra illetve állítottam össze. A poszt-covid csoport tagjainál e mellett beválogatási feltétel volt az is, hogy a poszt-covid tünetei között szerepeljen a **fáradtság**. Jellemzően ez **volt a vizsgálatok végrehajtásakor is perzisztáló fő panaszuk a memóriazavarok és az alvászavarok mellett**.

Komoly nehézséget jelentett az alanyok toborzásában az, hogy a covid pandémia kitörése óta 2023-tól a bevezetett járványvédelmi intézkedések és a gyanús tünetek esetében, valamint

számos közösségi feladatban történő részvételhez szűrő jelleggel kötelező PCR vagy gyorsesztek rendszere megszűnt. Mivel már nem kötelező a szűrővizsgálat a közösségi tevékenységekhez, utazásokhoz, covid-19 fertőzésre vonatkozó szűrővizsgálatokat nem csinálnak és sajnos a tipikus felsőlégúti vagy gasztrointesztinális vírusfertőzéses megbetegedésekben sem végeznek már az orvos kollégák rutinszerűen covid tesztet. Ezért komoly nehézségbe ütközött olyan alanyok toborzása, akiknek 6 hónapon belül volt igazolt covid-19 fertőzése. Bár a típusos tünettan (előző igazolt covid-19 fertőzések egyéni tüneteivel is egyeztetve) és epidemiológiai halmozódások alapján számos jelentkezőnél gyanítható volt a covid-19 fertőzés az elmúlt 6 hónapban, de nem készült diagnosztikai vizsgálat, így a típusos tünetek és lefolyás ellenére nem lehetett őket poszt-covid csoportba beválogatni. Ez magyarázza a kis elemszámot a mintában. A 8 fő poszt-covid csoportban 4 fő 2025-szeptemberében volt igazolt covid-19 fertőzött és a vizsgálatok végrehajtásakor (2026. február-március) long-covid szindrómában szenvedett, míg 4 fő utolsó igazolt covid-19 fertőzése 2025-decemberében volt, ők tehát a vizsgálatok végrehajtásakor poszt-covid szindrómában szenvedtek. Érdekes lenne megvizsgálni, hogy van-e különbség a poszt-covid (4-12 héttel a fertőzés után) és a long-covid (12 hétnél több idő telt el a fertőzéstől) csoportok mikromegalvási és PVT lapse adataiban, azonban ehhez túl kicsi a minta elemszáma. Azt is érdemes lenne megvizsgálni, hogy a poszt-covid csoporton belül igazolható-e bármi összefüggés az ismételt covid-fertőzések száma és az eredmények között, azonban az elemszám jelen kutatásban ezt sem teszi lehetővé. Megjegyzendő ennél a kérdéskörnél, hogy bár statisztikai elemzéshez kevés az elemszám, de **a poszt-covid csoportban azoknak volt a legrosszabb eredménye a PVT és/vagy az EEG vizsgálatokon, akiknél a legmagasabb volt az ismételt fertőzések száma**, ha statisztikához kevés is ez az esetszám, de sejthető benne egy **tendencia**. Ez megerősítheti azt a feltételezést, hogy a recidív covid-19 fertőzésnél súlyosabb poszt és long-covid tünetek várhatóak és ez jelen helyzetben a rutinszerűen végzett tesztek hiányában még jelentősebbé teszi a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági rizikóját. Ezeknek a kérdéseknek a további tisztázása érdekében érdemes a kutatást a jövőben is folytatni újabb alanyok toborzásával.

A poszt-covid fáradtság nagy prevalenciája és hosszan tartó lefolyása kapcsán a 2 minta vizsgálatok a mikromegalvások számában és a PVT teszten jelentkező lapszusok számában számítottam eltérésekre.

Feltételeztem, hogy szignifikáns eltérés lesz a poszt-covid és a kontroll csoport között a monotónia teszten mérhető lapszusok (reakcióidő-megnyúlások) számában igazolva ezzel a szubjektív fáradtságot objektív mérésekkel is.

Feltételeztem, hogy szignifikáns eltérés lesz a poszt-covid és a kontroll csoport között a hosszúidejű munkavégzés közbeni EEG vizsgálatokon detektálható mikromegalvások számában.

#### 3.4.1. A monotónia tesztek (PVT) eredményeinek elemzése:

A monotónia tesztet minden alany ugyanannyi ideig végezte (**30 perc**), a NASA PVT applikációjában, ami random időközökben generált jelet (egy számláló elindult a képernyő közepén), amire a résztvevőnek a képernyő megérintésével kellett reagálnia. Minden résztvevőnek volt lehetősége demo tesztet csinálni a feladat begyakorlásához. A monotónia tesztet egy csöndes, nyugodt helyen hajtották végre, **minközben felvétel készült az EEG készülékkel az agyhullám tevékenységükről is**. Az applikáció a teszt végén exportálta a random jelek időpontját (másodpercekben) és a hozzájuk tartozó reakcióidőt is az alany azonosítójával, a dátummal és a teszt megkezdésének pontos idejével, Ezek mellett az EEG felvételen is jelöltem a PVT teszt kezdetét és végét user marker-el.

Ezt követően minden alanyánál kiszámoltam az egyénre jellemző reakcióidőt a válaszok matematikai átlagaként, ehhez hasonlítottam a teszt során a reakcióidő megnyúlásokat, de alapvető irányelv volt a laps-ok azonosításánál, hogy a nemzetközi szakirodalom az egyéni sajátosságok mellett általánosságban az 500ms feletti reakcióidőket veszi lapse-nak. **Az átlagos reakcióidő a két csoportban** (poszt-covid csoport n=8, kontroll csoport n=8) **nem különbözött szignifikánsan** (353 ms a kontrollcsoportban és 384 ms a poszt-covid csoportban, így az 500ms-os határt használtam a lapse-ok meghatározásához. Azonban a poszt-covid csoportban volt 2 alany, akiknek az átlagos reakcióidejük magasabb volt, 490 ms és 505 ms, náluk az egyéni magasabb reakcióidők figyelembevételével csak az 550ms feletti reakcióidőket számítottam laps-nak.

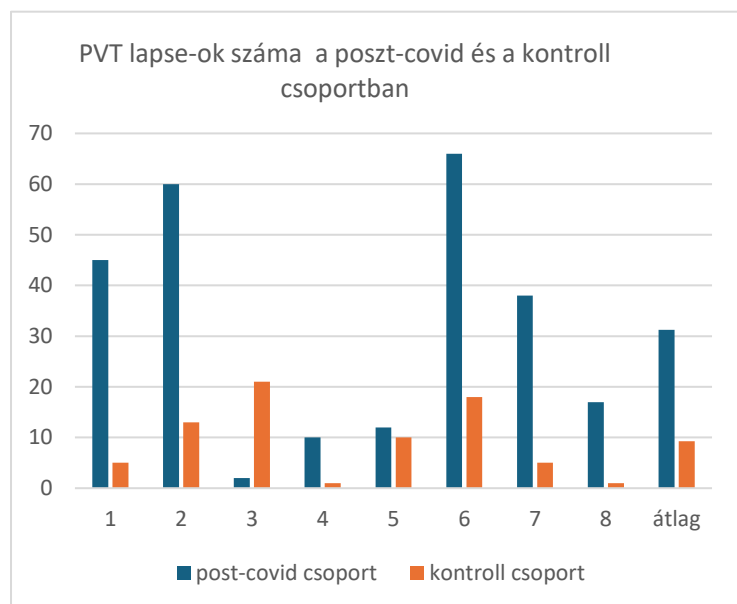
A résztvevőknél mért laps-ok számát a 9. táblázatban tüntettem fel és a 28. ábrán szemléltettem. A pszichomotoros teljesítményt jellemző PVT\_lapse változó tekintetében a csoportok közötti különbségek vizsgálatára Welch-féle kétmintás t-próbát alkalmaztunk, amely nem feltételezi a varianciák azonosságát. Az eredmények robusztusságának ellenőrzésére nemparaméteres Mann–Whitney-próbát is végeztünk. A többszörös összehasonlításokból adódó hibahalmozódás csökkentése érdekében Holm-korrekciót alkalmaztunk.

Jól látható, hogy a **poszt-covid** csoport **átlagos PVT lapse száma 31.25** volt, míg ugyanez a **kontroll csoportban csupán 9.25**. Az adatok statisztikiai elemzésénél a PVT\_lapse változó esetében a poszt-covid csoport átlaga ( $M = 31,25$ ;  $SD = 24,35$ ) jelentősen magasabb volt, mint

a kontrolles csoporté ( $M = 9,25$ ;  $SD = 7,57$ ), a **poszt-covid csoport több, mint háromszor annyi laps-ot mutatott, mint a kontroll csoport**. A Welch-féle t-próba szignifikáns különbséget jelzett a két csoport között ( $t(8,34) = 2,44$ ;  $p = 0,039$ ), amely a Holm-korrekció után is megmaradt. A 9. táblázatban feltüntetett részletes adatokból látható, hogy az eredmények a poszt-covid csoportban nagy szórást mutattak ( $SD=24.35$ ), mivel volt a poszt-covid csoportban 2 extrém magas és egy extrém alacsony eredmény is a csoport átlagához képest. E miatt a nem metrikus adatok elemzésén alapuló szignifikancia tesztek, mint a Mann–Whitney-próba nem mutatott egyértelműen szignifikáns eltérést ( $p = 0,083$ ), ezért ez az eredmény óvatos értelmezést igényel, javasolt a mélyebb összefüggéseket kereső analízisek megismétlése nagyobb elemszámmal is.

alanyok azon.	poszt-covid csoport	kontroll csoport
1	45	5
2	60	13
3	2	21
4	10	1
5	12	10
6	66	18
7	38	5
8	17	1
<b>Átlag:</b>	<b>31.25</b>	<b>9.25</b>

9. táblázat: PVT lapse-ok száma (a szerző saját munkája)



28. ábra: PVT lapse-ok száma (a szerző saját munkája)

A poszt-covid csoportban mindazonáltal több, mint háromszor annyi laps volt a monotonia teszt során, mint a kontroll csoportban, ez **látványosan igazolja a poszt-covid csoportnál szubjektíven jelentkező fáradtságot objektíven mérhető formában is**.

Gyakorlati hasznosíthatóságát ennek a PVT tesztnek -főleg a repülésben és katonai feladatok közben- **erősen korlátozza** az, hogy a PVT teszt elvégzése sok időt vesz igénybe, és közben **abba kell hagyni a munkát**, ez egy légitforgalmi irányítónál is komoly akadályokba ütközhet. **Továbbá a PVT teszt egy pillanatnyi teljesítményt mutat**, nem tudja nyomonkövetni a munka közbeni fáradtság fokozódását, mivel nem életszerű, hogy ezt

óránként megismétljék a dolgozók. Továbbra is szükséges más, a munka folyamatát nem akadályozó objektív mérési formát keresni a fáradtság objektív mérésére.

#### 3.4.1.1. Az 5. hipotézis vizsgálata

Kutatásomban feltételeztem, hogy szignifikáns különbség van a monotónia teszt (PVT) során mérhető reakcióidő megnyúlások (lapse-ok) számában a poszt-covid és a kontroll csoport között. **Az elvégzett mérések eredménye** a metrikus statisztikai módszerekkel a **hipotézist igazolta**, megjegyzendő, hogy a poszt-covid csoport eredményeiben észlelhető extrém magas laps-ok kapcsán nagy a szórás és így a nem metrikus statisztikai módszerek ilyen alacsony elemszám mellett nem egyértelműen tudták bizonyítani a szignifikanciát. Az eredmények további elemzése javasolt az elemszám növelése után.

#### 3.4.1.2. Részkövetkeztetések

A jelen vizsgálat egyik fontos megfigyelése, hogy a poszt-covid csoportban a pszichomotoros teljesítményt jelző PVT\_lapse értékek átlagosan több mint háromszorosak voltak a kontrollcsoportéhoz képest. Ez **a különbség klinikai szempontból jelentősnek tekinthető, és a figyelmi működés tartós zavarára utalhat a poszt-covid állapotban.** Ugyanakkor statisztikai szempontból az eredmények árnyaltabb képet mutatnak. A szignifikancia stabilizálása érdekében nagyobb elemszámra és kisebb szórásra lenne szükség. A Welch-féle kétmintás t-próba szignifikáns különbséget jelzett a csoportok között, míg a nemparaméteres Mann–Whitney-próba ezt nem erősítette meg. Ez az eltérés elsősorban a kis mintanagysággal ( $n = 8$ /csoport), valamint a poszt-covid csoporton belüli nagy szórással magyarázható. A nyers adatok alapján a poszt-covid csoport heterogén képet mutatott: egyes résztvevők rendkívül magas PVT\_lapse értékeket produkáltak, míg mások a kontrollcsoport tartományába eső értékeket mutattak. Ez a variabilitás növeli az átlagot, ugyanakkor csökkenti az eredmények stabilitását, különösen kis mintán.

A paraméteres és nemparaméteres próbák közötti eltérés módszertani szempontból is értelmezhető. Míg a t-próba az átlagok különbségére érzékeny, addig a Mann–Whitney-próba az eloszlások átfedését veszi figyelembe. A jelen adatok esetében a két csoport értékei részben átfednek, ami csökkenti a nemparaméteres próba erejét, annak ellenére, hogy az átlagkülönbség nagymértékű.

**A lapse-ok nagy része beazonosítható volt az EEG felvételen jelentkező agytevékenység lassulással, de jelentős része a lapse-oknak olyan pillanatnyi agyhullám meglassulásokhoz köthető, amik nem érik el a kutatásban mikromegalvásnak definiált epizódok minimum hosszát,** sokszor csak egy-egy pillanat, vagy tizedmásodperc figyelemcsökkenés hatására jelentkeztek a lapse-ok. Fontos tanulság, hogy ilyen pillanatnyi figyelemcsökkenés is jelentős reakcióidő megnyúlást okozhat, tehát repülésbiztonsági szempontból fontos és szükséges ezeknek a pillanatnyi figyelemcsökkenéseknek a detektálása is, ezt be kell építeni az EEG analizáló programba is.

#### *3.4.2. Az EEG vizsgálatok eredményeinek az elemzése:*

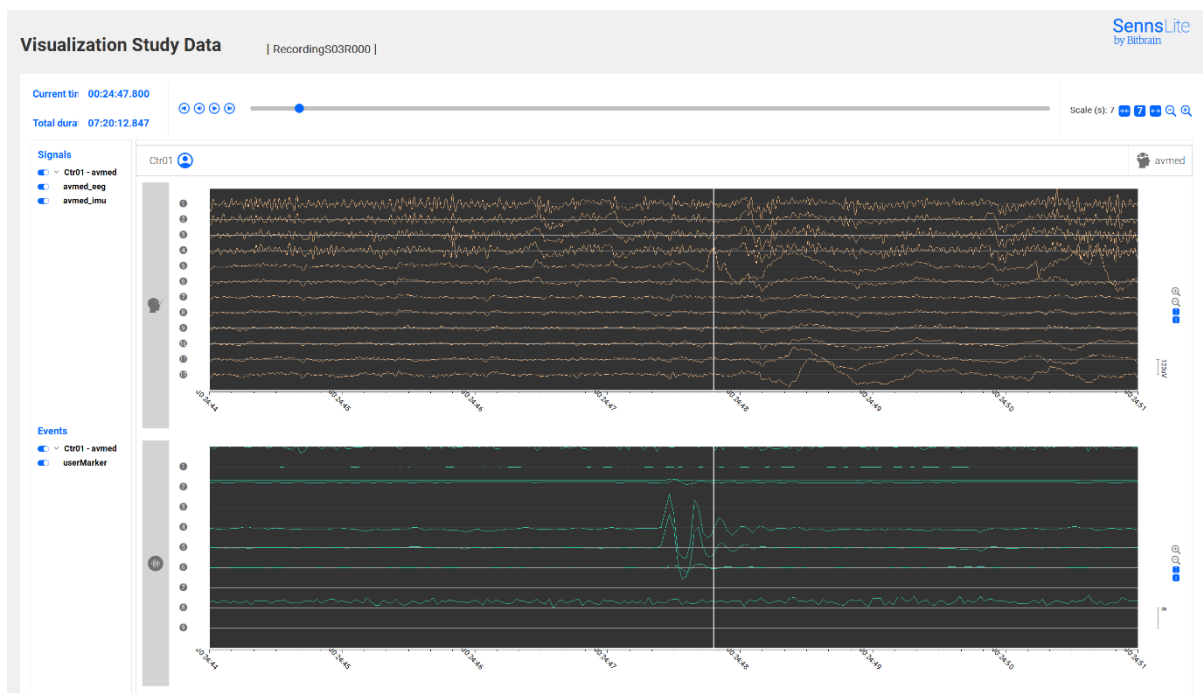
A kutatás első részében megvizsgáltam a monotónia tesztek (PVT) alatt észlelhető lapse-okat és azok időbeni jellemzőit, majd pedig összevettem a PVT lapse-ok megjelenését a teszt során készített EEG felvételekkel. Igyekeztem megállapítani, hogy az objektív fáradságmérésben nemzetközileg elfogadott PVT tesztek során jelentkező lapse-ok együttjárnak-e az EEG-n látható agyi tevékenység lassulással, alfa/théta hullámok és/vagy mikromegalvások megjelenésével.

A vizsgálathoz először egyeztettem a NASA PVT teszt idő-adatait (time stamp) a közben készült EEG felvétel idő adataival, ezek alapján az EEG felvétel kezdő időpontját valamint a PVT teszt kezdő időpontját egyeztetve meghatároztam, hogy adott PVT mérési eredményhez az EEG felvételen mely időpont tartozik (a PVT output másodperc értékeit átszámoltam perc:másodperc adatokká, majd hozzáadtam az EEG felvételtől a PVT kezdetéig eltelt időt (perc:másodperc) és ezek alapján meghatároztam, hogy a PVT-n mért lapse az EEG felvétel mely pillanatában következett be).

Ezek után megvizsgáltam, hogy a PVT lapse-ok pillanatában volt-e az EEG-n látható agyhullám lassulás és/vagy mikromegalvás.

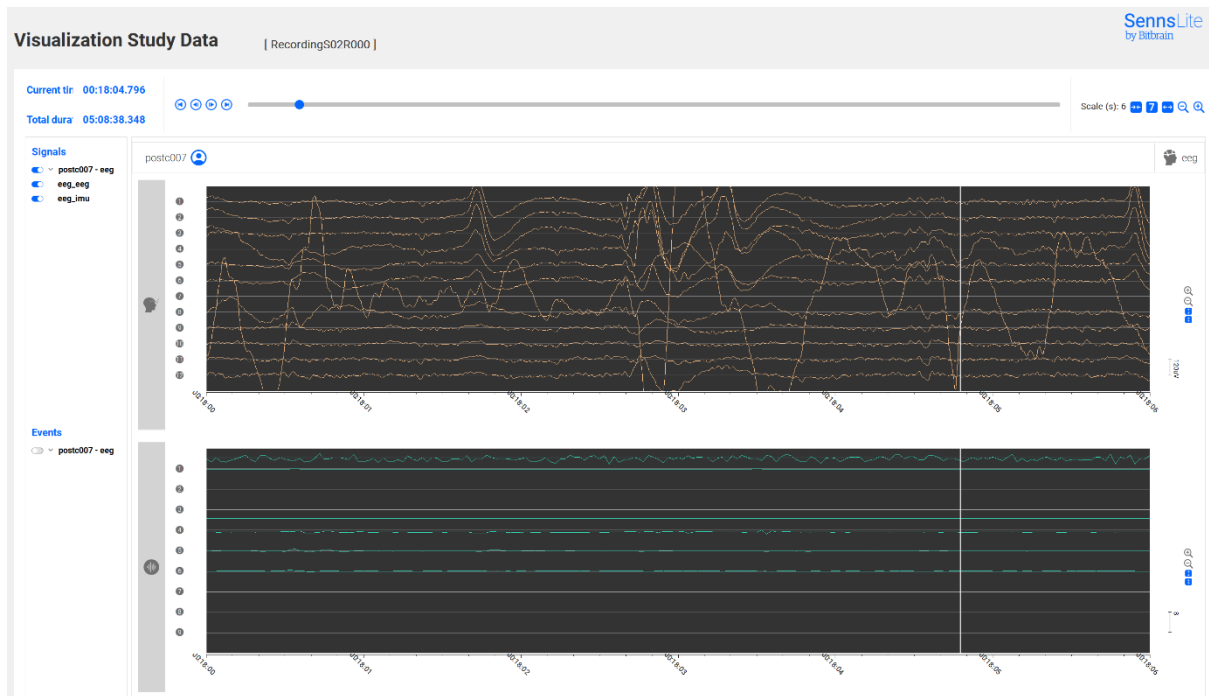
Összeségében azt tapasztaltam, hogy a **PVT lapse-ok többsége jól látható EEG lassulással járt együtt,** a lassulások mértéke és ideje egyénenként változott és nem minden esetben mutatott arányosságot a lapse mértékével, de általánosságban **tendenciózus, hogy a nagyobb lapse-ok, illetve az extrém nagy lapse-ok járnak együtt a jelen kutatásban meghatározott kritériumok szerinti (min 3 sec) mikromegalvásokkal.** A mikromegalvásoknál előfordulhat, hogy az alany nem kap éppen jelet a PVT teszten, de a mikromegalvás során tónuscsökkenés jelentkezik a reakciót jelző hüvelykujjon, azaz a hüvelykujj leesik, FALSE jelet ad a monotónia teszt során. Erre példa a 29. ábrán látható EEG kép, amin a fehér vonal jelzi, amikor az alany FALSE jelet adott a monotónia teszt során és az látható, hogy előtte

hosszasan, a mikromegalvás definícióját teljesítő kb 4 másodperces időintervallumban a frontális és fronto-parieális elvezetésekben (Ch 01-04) a többi elvezetésben látható hullámtevékenységhez képest jelentős meglassulások láthatók, a frekvencia dominancia jelentősen csökkent, az aktivitás vizuálisan értékelve megfelel egy mikromegalvás képének. Ugyanebben a pillanatban az EEG kép alatti kijelzőn, amely a mozgást detektálja, látható egy hirtelen rövid idejű mozdulat a fejre helyezett eszközzel, az alany feje előrebukott a mikromegalvás kapcsán.



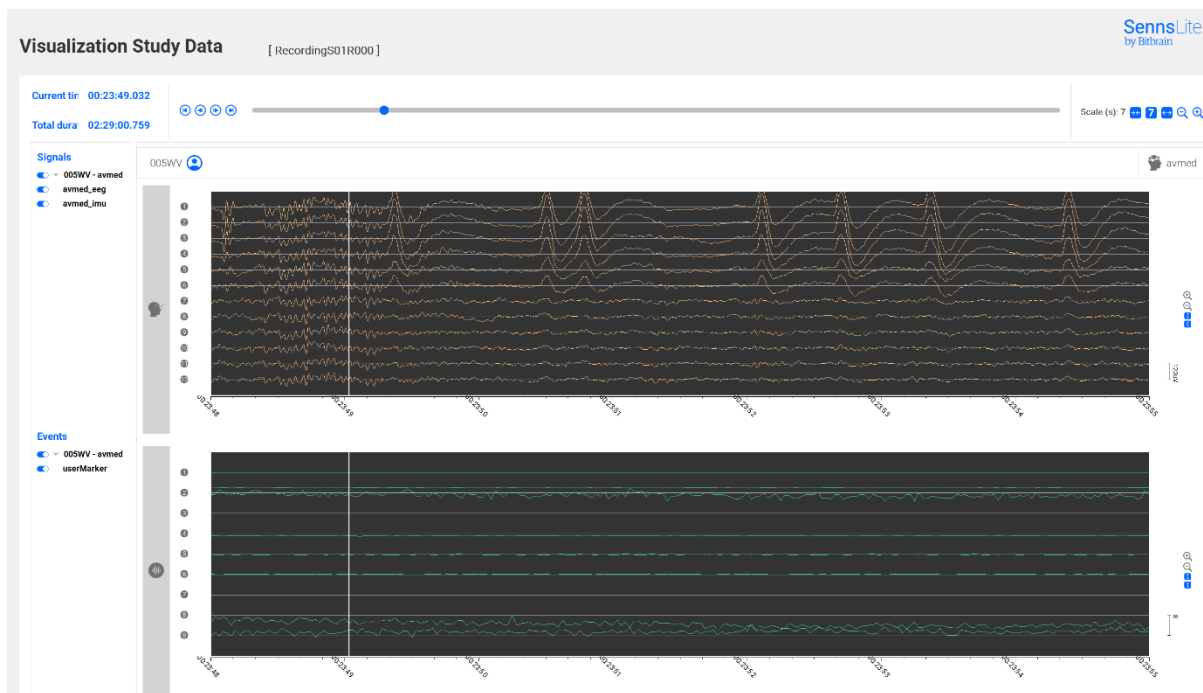
**29. ábra: az alany FALSE jele a felvétel 24:01” pillanatában egy kb 4 másodperces mikromegalvás végén ( a szerző saját anyaga)**

Ugyanakkor azt tapasztaltam, hogy a fenti izomtónuscsökkenéssel is járó mikromegalvásos jelenet igen ritkán fordult elő, az esetek többségében csak az EEG felvételen is észlelhető pislogások szaporodása és lassulása („laposakat pislog”) jelezte láthatóan az alany fáradását, ami akkor produkált lapse-ot a PVT-n, ha éppen ekkor kapott random jelet a programtól. A PVT jelektől függetlenül is látható volt az EEG-n a pislogások ütemének változása, „laposodása” és eközben saját megfogalmazásomban „általános lassulások” jelentek meg az agyi tevékenységben. Ha ekkor kapott random jelet az alany, az általában lapse- vagy lapse-hoz nagyon közeli reakcióidőt mutatott. Erre példa a 30. ábrán látható EEG felvétel.



30. ábra: az alany pislog és fárad, az első pislogás 18:02"-nél még normal morfológát mutat, de 18:03"-nál már elmosódott, elnyújtott „laposodó” pislogás látható és a fehér vonallal jelzett 18:05"-kor érkező random PVT jelnél 534ms-os lapse jelenik meg (a szerző saját munkája)

Még ennél is érdekesebb tapasztalat volt az adatok elemzése során az, hogy a **PVT lapsék döntő többsége nem mikormegalvással járt együtt, hanem mindössze egy-egy rövid pillanatra, fél, vagy tized másodpercere ellanyhuló figyelem**, szinte csak pillanatokra megjelenő lassulások alatt következett be. A 31. ábrán egy ilyen esetet mutatok be, ahol az alany egy igen rövid, alig 1 másodperces lassú, alfa hullám tevékenységre jellemző periódus végén kap random jelet a PVT teszten (fehér marker vonal) és 467 ms reakcióidővel reagál. Ez a reakcióidő nem éri el az általánosságban használt 500 ms-os határt, de pontosan ez az alany a jó példa arra, hogy a reakcióidőt -és így a lapse-ok határát is- önmagához kell hasonlítani az alanyak. Ezen alany átlagos reakcióideje a PVT teszteken mindössze 321 ms volt, alacsonynak mondható, így nála már a felvétel pillanatában mért 467 ms is lapse-nak mondható. Az ábrán látható, hogy **az EEG igen érzékenyen és szinte túppontosan képes mutatni a fáradtság hatását az emberi teljesítményben.**

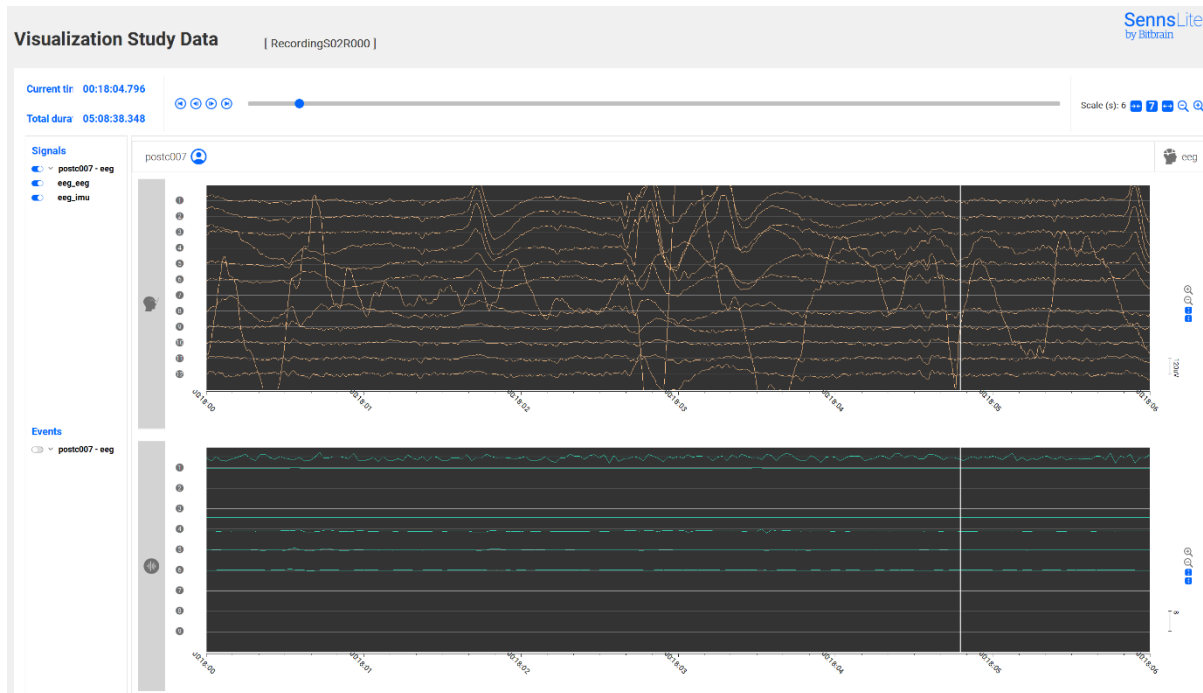


**31. ábra:** az alany a fehér vonallal jelzett pillanatban 447 ms reakcióidővel reagált, melyet egy rövid, 1 másodpercig elérő jelentős lassulás, alfa hullám tevékenység előzött meg. (a szerző saját munkája)

Az EEG és PVT adatok összehasonlításánál számtalanszor láttam azt is, hogy ennél sokkal rövidebb idejű meglassulásoknál is már megnyúlik a reakcióidő. Egy ilyen esetre példa a 32. ábra, ahol kb 0.2 másodpercre jelenik meg az agyhullám tevékenységben lassulás és a pont ezidő alatt érkező random jelre a reakcióidő már 534 ms, ami erős lapse az alanynál, akinek átlagos reakcióideje 358 ms. Ezen az ábrán szintén látható a pislogás mintázatának megváltozása, laposodása a lapse előtt.

Ahogy korábban írtam, a lapse-ok döntő többségénél (bár nem mindegyiknél) sikerült azonosítani az agyhullámokban jelentkező lassulást, de többnyire csak igen rövid idejű lassulást, ami nem éri el a mikromegavolt általam beállított 3 másodperces küszöbértékét. Gyakran még a nemzetközi irodalomban egyes forrásokban 1 másodperces küszöbértéket sem. A pillanatnyi meglassulások mellett is megjelenő reakcióidő megnyúlások egyrészt igazolják az EEG technológia érzékenységét, másrészt repülésbiztonság szempontjából el is gondolkodtatnak, mivel a repülésben tipikusan olyan veszélyhelyzetek fordulnak elő, amikor egyetlen pillanatra ellankadó figyelem is komoly balesetveszélyt okozhat. Ha egy leendő EEG bioszenzor technológiában az általunk írt és használt EEG detektor szoftverben a jelen kutatásban használt 3 másodperces időintervallumot határozzuk csak meg a mikromegavolti epizódok detektálásához- valószínűleg számos olyan epizód maradhat ki az észlelésből, amik rövidebbek, de ugyanolyan veszélyesek lehetnek a fáradtság kezdeti tüneteként. Ennek mentén

a kutatás jövőbeni folytatása során indokolt lehet a mikromegalvási epizódok minimum időintervallumát 1 másodpercre csökkenteni és az is felmerül, hogy az ennél rövidebb időszakokban jelentkező alfa/théta dominanciát (lassulásokat) is naplózni kell és azok halmozódását ugyanúgy a fáradtság fokozódásaként kell majd értékelni.



**32. ábra: az alany EEG felvételén 18:05” előtt mindössze 2 tized másodperce látható lassulás az agyi tevékenységben, mégis a fehér marker vonalnál kapott random jelre megnyúlt, 534 ms-os lapse a reakcióideje (a szerző saját munkája)**

Ezt követően elemeztem a munkavégzés közben készített hosszú idejű EEG felvételeket és kerestem bennük a mikromegalvási epizódokat.

#### 3.4.2.1. Az EEG elemző szoftver bemutatása

Kihívást jelentett a BitBrain Diadem eszközzel **felvett EEG adatok elemzése**, mivel a gyártó a felvételeket elemezni képes szoftvert nem biztosított az eszközhöz és a gyártó által adatelemzésre ajánlott szoftverek közül nem volt elérhető szabad forráskódú EEG elemző szoftver. **Szükség volt tehát egy EEG adatokat elemezni képes program írására.**

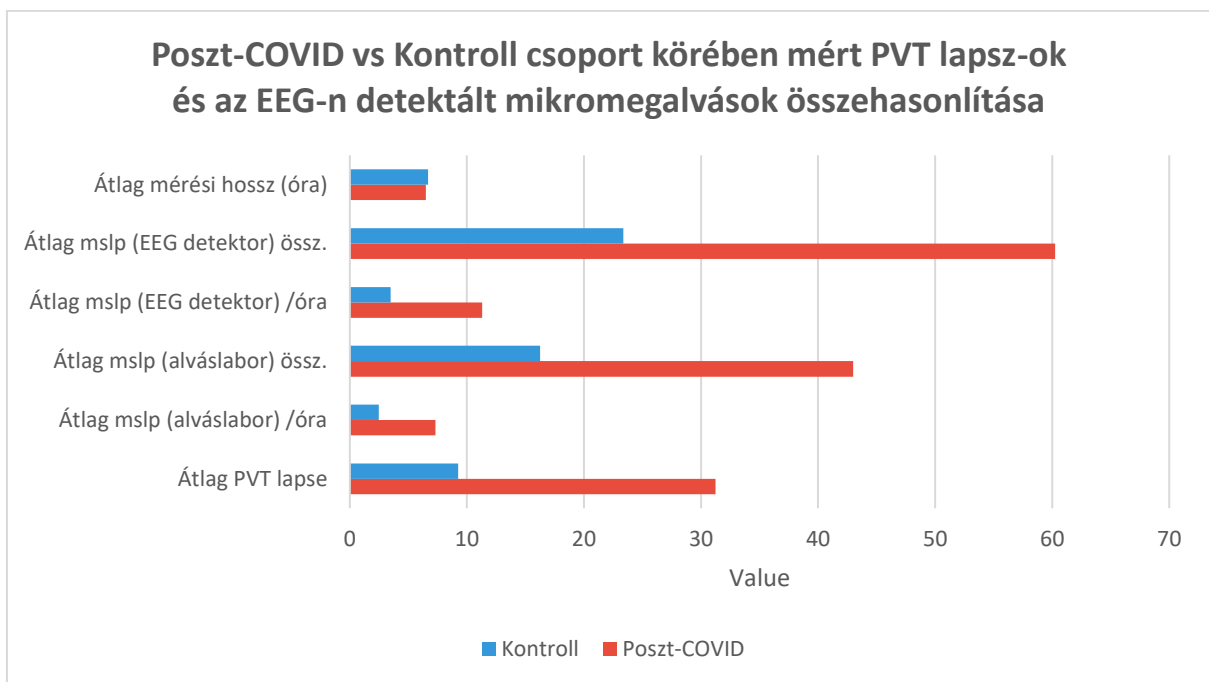
Számítástechnikai szakember segítségével (akinek hathatós és lelkes munkáját a program megírásában ezúton is nagyon szépen köszönöm!) Python programot írtunk az EEG mérések elemzéséhez. A **program célja mikroalvás jellegű EEG szakaszok detektálása többcsatornás CSV alapú mérési adatokból.** A Mikromegalvások definíciója a programban: A detektálás definíciója: frekvenciasáv: 4–12 Hz (theta–alpha tartomány) eseményhossz: 3–15

másodperc. A minimális epizód hossz meghatározása a nemzetközi szakirodalomban sem egységes, egyes források 1-15 másodpercig tartó alfa/théta aktivitás túlsúlyát, míg más források az 5-15 másodpercig tartó alfa/théta hullámok túlsúlyát definiálja mikromegalvási epizódként. Ennek az eltérésnek a figyelembevételével az általunk megírt EEG elemző programban a **mikromegalvás definíciójában a minimum 3- maximum 15 másodpercig tartó alfa/théta aktivitás dominanciát** programoztunk be. A program első lépésben előfeldolgozásképpen alapszűrést végez el az adatbázison (50 Hz notch szűrés (hálózati zaj) és 1–40 Hz sávszűrés (Butterworth) a túl nagy kilengések, zajok csökkentésére). Az epoch képzés alapja 1 secundum, amihez 256 minta tartozik, minden detektálás epoch szinten történik. A következő lépés a **mikromegalvási epizódok detektálása**, amihez **Fast Fourier Transzformáció (FFT)** segítségével minden epochban megállapított domináns frekvencia (**bandpower**) adatait használja. 2 szomszédos eseményt csak akkor vesz 2 külön eseménynek, ha a két esemény között minimum 3 secundum eltelik és egyik esemény sem hosszabb 15 secundumnál. Az FFT szűrés során a statisztikai alapú tresholdok q50 (medián) és q95, valamint FFT treshold=0.70 mellett keresi a definíciónak megfelelő 4-12Hz közötti frekvenciadominanciával bíró minimum 3 maximum 15 másodperces epizódokat, mint mikromegalvások. A program minden csatornán egyesével lefuttatja az EEG analízist és a végén összegzi a detektált mikromegalvások számát, hosszát és a hozzájuk tartozó időadatokat is. A fals pozitív találatok elkerülése érdekében a programba beépítésre került egy **konszenzus szűrő funkció** is, az elsődleges mikromegalvási epizód detektálásokat követően végignézi az azonosított epizódokat csatornánként és csak azokat veszi valós találatnak, amik legalább 4 csatornán jelentkeztek egyszerre. A konszenzus szűrő funkcióban a minimálisan egyező csatornák száma paraméterezzhető, ahogyan a szűrő és definíciósintű paraméterek is.

Az EEG elemző program eredményeinek klinikai ellenőrzése érdekében az összes EEG felvételt az Észak-Pesti Centrumkórház- Honvédkórház Alváslaboratórium és a Somnocenter alvászavarközpont szakorvosa, **Dr. Dombóvári Magdolna neurológus és szomnológus is ellenőrizte**. Az alváslabor szakorvosa által használt saját EEG megjelenítő programja sem rendelkezik a mikromegalvási epizódok automatikus detektálásra alkalmas funkcióval, így a doktornő **vizuálisan tekintette át az EEG felvételeket és határozta meg** a felvétel során észlelt **mikromegalvások számát** a kutatásomban használt 3-15 másodperces időintervallum szerint.

Az általunk írt python EEG detektor program a konszenzus szűrővel kiegészítve a **klinikai adatokkal igen jól illeszkedő eredményeket produkált**. A python program további fejlesztése lehetséges egy „grand truth” nevű keresztellenőrző funkcióval, aminek a lényege

az, hogy a klinikus által detektált mikromegalvások számát és időadatait tartalmazó file-t is elemzi, és saját eredményeivel összevetve pontosítja a kereső algoritmust. Ez a gépi tanulási funkció jelenleg elvi lehetőségként szerepel a programban, de még inaktív, mivel ehhez először standardizálni kell a klinikai kiértékelés eredményeit tartalmazó adatbázist és az EEG detektáló python program adatformátumait. Miután elkészült az EEG detektor analízáló program jelenlegi verziója és összevetve a klinikai alváslaboros analízis során leírt mikromegalvási epizódok számával jól illeszkedő eredményeket adott, elvégeztem az EEG felvételek elemzését.



**33. ábra: a poszt-covid csoport és a kontroll csoport körében mért PVT lapsz-ok és az EEG-n detektált mikromegalvások számának összehasonlítása (a szerző saját munkája)**

A 33. ábrán összegeztem az EEG és PVT adatok elemzésének eredményét. Az átlagos felvétel ideje mindkét csoportban hasonlóan alakult, a poszt-covid csoportban az átlagos EEG felvétel idő 6,5 óra, a kontrollcsoportban pedig 6.75 óra volt. Az egyedi eltérések kezelése érdekében a **mikromegalvások számát óránkénti adatban** hasonlítottam össze (mikromegalvás/óra).

A poszt-covid csoport (n = 8) és a kontrollcsoport (n = 8) összehasonlítását az EEG-alapú mutatók (EEG mikromegalvás EEG detektor programal/óra, és EEG mikromegalvás alváslaborban vizuálisan elemezve/óra) a PVT\_lapsz változóhoz hasonlóan végeztük el. A csoportok közötti különbségek vizsgálatára Welch-féle kétmintás t-próbát alkalmaztunk, amely

nem feltételezi a varianciák azonosságát. Az eredmények robusztusságának ellenőrzésére nemparaméteres Mann–Whitney-próbát is végeztünk. A többszörös összehasonlításokból adódó hibahalmozódás csökkentése érdekében Holm-korrekciót alkalmaztunk.

Az EEG mikromegalvás EEG detektor programmal/óra mutató esetében **a poszt-covid csoportban szignifikánsan magasabb értékeket találtunk** ( $M = 9,90$ ;  $SD = 3,48$ ), mint a kontrollcsoportban ( $M = 3,50$ ;  $SD = 1,72$ ). A Welch-próba eredménye erősen szignifikáns különbséget mutatott ( $t(10,25) = 4,67$ ;  $p < 0,001$ ), amely a Holm-korrekciót követően is szignifikáns maradt ( $p = 0,0025$ ). A Mann–Whitney-próba szintén megerősítette ezt az eredményt ( $p = 0,0003$ ).

**Hasonló mintázat figyelhető meg az EEG mikromegalvás alváslaborban vizuálisan elemezve/óra változó esetében is:** a poszt-covid csoport átlaga ( $M = 7,30$ ;  $SD = 2,80$ ) szignifikánsan magasabb volt a kontrollcsoport átlagánál ( $M = 2,46$ ;  $SD = 1,47$ ). A Welch-féle t-próba szignifikáns különbséget jelzett ( $t(10,57) = 4,32$ ;  $p = 0,0013$ ), amely a Holm-korrekció után is fennmaradt ( $p = 0,0026$ ). A nemparaméteres elemzés ezt az eredményt szintén alátámasztotta (Mann–Whitney  $p = 0,0019$ ).

Az eredményekből jól látszik, hogy **mind a klinikai alváslaborban végzett kiértékelés, mind pedig az általunk írt EEG detektor program igen jó megbízhatósággal szignifikáns különbséget mutatott a poszt-covid és a kontroll csoport között.** Az eredmények **háromszoros emelkedést mutattak ki a poszt-covid csoportnál mért mikromegalvások azonos egységre (1 órára) átszámolt mennyiségében,** tehát az általunk írt EEG detektor program a klinikai eredményekkel jól korreláló adatokat ad, a beállított szűrők és paraméterek mentén a klinikai kiértékeléssel közel azonos pontossággal működik.

#### 3.4.2.2. A 6. hipotézis vizsgálata

Összességében elmondható, hogy **a poszt-covid csoportban mindkét EEG-alapú mutató szignifikánsan magasabb volt a kontrollcsoportéhoz képest,** ami objektíven is mérhető fokozott fáradtságra utalhat. Kutatásomban feltételeztem, hogy szignifikáns különbség mutatható ki az EEG-vizsgálattal detektált mikro-megalvások számában a poszt-covid csoport és a kontroll csoport között. **Mind a klinikai alváslabor szakértő, mind az általunk írt EEG elemző szoftver egyértelmű és stabilan,** több statisztikai programmal elemezve is **szignifikáns különbséget mutatott** a mikromegalvások számában a két csoport között, a PVT lapse-okhz hasonlóan **közel háromszor több mikromegalvást** mutattak a poszt-covid csoportban a kontroll csoportéhoz képest. Az általunk megírt EEG elemző program, a beállított paraméterek és szűrők alkalmazásával a klinikai alváslabor szakértő

adataihoz hasonló eredményeket adott és a csoportok közötti arányszám is jól egyezett a klinikai alváslabor eredményeihez. A fentebb részletezett eredmények **a hipotézist egyértelműen igazolták.**

#### 3.4.2.3. Részkövetkeztetések

A PVT lapse-okban mért eredmény statisztikai bizonytalanságával szemben **az EEG-alapú mutatók** (EEG detektor program mikromegalvások/óra, EEG alváslabor vizuálisan mikromegalvások/óra) esetében a különbségek hasonló nagyságrendűek, de konzisztensebbek voltak a csoportokon belül. Mind a paraméteres, mind a nemparaméteres elemzések **egyértelműen szignifikáns eltérést** mutattak, ami arra utal, hogy **ezek a mutatók stabilabban jelzik a poszt-covid állapothoz társuló neurofiziológiai változásokat és egyben igazolják a poszt-covid csoportban szubjektíven megjelenő fáradtságot objektív mérésekkel.**

Összességében az eredmények arra utalnak, hogy bár a PVT\_lapse mutató esetében jelentős csoportkülönbség figyelhető meg, annak statisztikai bizonyíthatósága a minta mérete és heterogenitása miatt korlátozott. Ezzel szemben **az EEG-alapú paraméterek robusztusabb indikátorai lehetnek a poszt-covid állapothoz társuló eltéréseknek.** A jövőbeni vizsgálatokban nagyobb mintaszám alkalmazása, valamint a variabilitás forrásainak feltárása segítheti ezen eredmények megerősítését. A kutatás során alkalmazott EEG mikromegalvás detektálásán alapuló módszer tehát a nemzetközileg elfogadott PVT teszt eredményeivel korreláló háromszoros különbséget mutatott, de sokkal stabilabb szignifikanciával, még az alacsony elemszám mellett is. Továbbá **a vizsgálat kivitelezhető a napi munkavégzés során,** a munka közben végrehajtott átlagosan 6.5 órás EEG mérések **nem akadályozták** a résztvevőket a munkájuk során és így **lehetőséget adnak a teljesítmény és a fáradtság folyamatos monitorozására,** ellentétben a PVT tesztek által adott pillanatnyi állapottal. Ezek alapján elmondható, hogy **a fáradtság objektív mérése EEG technológiával előnyösebb, informatívabb és repülésbiztonsági szempontból a folyamatos monitorozás lehetősége révén kívánatosabb,** mint a PVT teszt. Természetesen a repülési környezettel és katonai felszerelésekkel kompatibilis EEG technológiát még fejleszteni kell, jelen kutatás csak az elvi hátteret tudta bizonyítani.

#### 3.5. A vizsgálatban használt különböző módszerek, eredmények koherenciájának és a minták megbízhatóságának vizsgálata

Az adatfeldolgozást párosított elrendezésben végeztem el, az **illesztett párok** adatainak vizsgálatához – az adatok eloszlására, valamint a kis elemszámra való tekintettel - Wilcoxon-

féle előjeles rangpróbát (Wilcoxon signed-rank test) használtam. Az elemzéseket Python (SciPy) környezetben végeztem el. A csoportok közötti különbségek hatásméretét rang-biseriális korrelációval (rank-biserial correlation) becsültem meg, amely a páronkénti különbségek irányának és konzisztenciájának mértékét fejezi ki, és különösen alkalmas a Wilcoxon-féle előjeles rangpróba-hoz. A hatásméret értékelésénél az értelmezési tartomány a következők szerint zajlott:  $r=0-0,1$  nincs/kicsi hatás,  $r=0,3$  közepes hatás és  $r=0,5-1$  nagy/maximális hatás.

A programalapú és a vizuális mikroalvásmutatók kapcsolatát Spearman-féle rangkorrelációval vizsgáltam.

A kérdőíves skálák belső megbízhatóságát Cronbach-alfa mutatóval becsültem, a 95%-os konfidencia-intervallumokat 5000 mintás bootstrap eljárással számoltam.

A leíró statisztikák átlag  $\pm$  szórás, medián, minimum és maximum formában kerülnek bemutatásra. Az eredmények ismertetésénél kétoldali p-értékeket adok meg, az általam alkalmazott szignifikanciaszint  $p < 0,05$  volt.

### 3.5.1. Leíró statisztika

A leíró statisztikai elemzés alapján megállapítható, hogy a **poszt-covid csoport minden objektív és szubjektív változóban magasabb értékeket mutatott**, a legnagyobb abszolút eltérés az EEG mikroalvásmutatókban és a PVT lapse változóban volt megfigyelhető. A PVT lapse esetében a szélső értékek miatt nagyon nagy volt a szórás. A leíró statisztikai elemzés adatait a 10. táblázatban összegeztem.

Változó	Kontroll átlag $\pm$ SD	Kontroll medián (min.- max.)	Poszt-covid átlag (SD)	Poszt-covid medián (min.- max.)
EEG mikroalvás program (db/h)	3,50 $\pm$ 1,72	3,45 (0,85-6,90)	9,90 $\pm$ 3,48	9,40 (5-15)
EEG mikroalvás vizuál (db/h)	2,46 $\pm$ 1,47	1,91 (0,85-4,80)	7,30 $\pm$ 2,80	7,80 (3,3-12,4)
PVT lapse (db)	9,25 $\pm$ 7,57	7,50 (1-21)	31,25 $\pm$ 24,35	27,50 (2-66)
GSQS összpontszám	1,63 $\pm$ 2,20	0,50 (2-7)	5,25 $\pm$ 1,83	6,00 (2-8)
Epworth összpontszám	4,75 $\pm$ 1,91	5,00 (2-7)	6,25 $\pm$ 2,82	6,50 (1-10)
Karolinska pontszám	4,88 $\pm$ 0,99	4,50 (4-6)	5,50 $\pm$ 1,51	5,50 (4-8)

10. Táblázat: kutatási módszerek leíró statisztika elemzése (a szerő saját munkákja)

A kérdőívek mintabeli megbízhatóságának vizsgálatához meghatároztam a Cronbach-alfa értékeket, az alacsony elemszám ellenére is elfogadható értékeket kaptam. Az eredményeket a 11. táblázatban foglaltam össze.

Skála	Cronbach-alfa	95 % CI
Epworth Álmoság Skála	0,654	0,198-0,803
GSQS	0,622	0,288-0,780

11. Táblázat: kutatási kérdőívek megbízhatóságának vizsgálata (a szerző saját munkája)

Az analitikus statisztikai vizsgálatok során első lépésben megvizsgáltam a párosítás minőségét. A vizsgálati mintában a nem szerinti párosítás 100%-ban megegyezett, tekintettel arra, hogy valamennyi résztvevő nő volt. Az életkor esetében az abszolút korkülönbség átlaga 1,88 év volt (SD=1,64), az életkorbeli eltérés nem volt szignifikáns (Wilcoxon: W=4; p=0,171), ami az illesztés megfelelőségét támasztja alá. A hipotézisvizsgálatok során a megfelelő illesztés miatt párosított elrendezést alkalmaztam, és a kis elemszámra való tekintettel Wilcoxon-féle előjeles rangpróbát (Wilcoxon signed-rank test) használtam.

A nullhipotézis minden esetben az volt, hogy nincs különbség a párosított poszt-covid és kontroll értékek között. Az alternatív hipotézis szerint a poszt-covid csoport magasabb értékeket mutat valamennyi vizsgált változó esetében, vagyis az EEG mikroalvásmutatókban, a PVT lapse változóban, valamint a kérdőíves skálákban.

A hipotézisvizsgálatok eredményeit a 12. táblázatban foglaltam össze.

Változó	W érték	p érték	Hatásméret (rank-biserial r)
EEG mikroalvás program (db/h)	0	0,0078**	1,000
EEG mikroalvás vizuál (db/h)	0	0,0078**	1,000
PVT lapse (db)	4	0,0547	0,778
GSQS összpontszám	0	0,0078**	1,000
Epworth összpontszám	4	0,0881	0,714
Karolinska pontszám	1	0,2850	0,667

12. Táblázat: a mérési eredmények megbízhatóságának vizsgálata (a szerző saját munkája)

A poszt-covid csoportban az EEG mikroalvás programalapú, az EEG mikroalvás vizuális, valamint a GSQS összpontszám szignifikánsan magasabb értéket mutatott, és mindhárom

esetben a **hatásméret maximális** volt (rank-biserial  $r = 1,000$ ). A PVT lapse változó esetében nagy hatásméret mellett határeset közeli eredmény mutatkozott ( $p = 0,0547$ ), ennek háttérében valószínűleg a korábban már említett szélsőértékek állnak. Az Epworth- és a Karolinska Álmoság Skála esetében szignifikáns eltérés nem igazolódott.

A táblázatban láthatjuk, hogy a Wilcoxon-próba során több változó esetében (EEG mikroalvás mutatók, GSQS) a rangösszeg  $W = 0$  volt, ami azt jelzi, hogy a páronkénti különbségek minden esetben azonos irányúak voltak (poszt-covid > kontroll). Ez **a lehető legerősebb iránykonzisztenciát jelenti, és a kis elemszám ellenére is szignifikáns eredményt eredményezett** ( $p = 0,0078$ ).

### *3.5.2. Az EEG értékelési módszerek közötti kapcsolat*

Külön megvizsgáltam **az EEG felvételekre alkalmazott 2 módszer** (az alváslabor szakorvosa által készített klinikai vizuális kiértékelést és az általunk kifejlesztette EEG detektor program) **eredményeinek koherenciáját**. Mivel az alváslabor klinikai EEG analízáló programja sem tud kifejezetten mikromegalvásokat detektálni és szabad forrásból nem találtam olyan programot, ami az EEG felvételek analízisára képes, ennek folytán saját magunk fejlesztettünk ki egy programot az EEG felvételek automatikus kiértékelésére mikromegalvások detektálásához. Lévéen egy teljesen új program, szükséges volt az eredmények korrelációját megvizsgálni annak érdekében, hogy az általunk megírt program a klinikai kiértékeléshez hasonlóan valid eredményeket ad-e.

Az **EEG mikroalvás programalapú és vizuális becslése közötti kapcsolat** vizsgálatára Spearman-féle korrelációs vizsgálatot végeztem, az eredményeim szerint a két értékelési módszer között a **teljes mintában erős, pozitív korreláció volt megfigyelhető** ( $\rho = 0,741$ ;  $p=0,0010$ ).

### *3.5.3. A statisztikai vizsgálati eredmények bemutatása és értékelése*

A neurofiziológiai adatok – az EEG-alapú mikroalvásmutatók – különösen markáns eltérést mutattak: mind a programalapú, mind a vizuális mikroalvásbecslés szignifikánsan magasabb volt a poszt-covid csoportban, és a hatásméret maximálisnak bizonyult. Ez arra utal, hogy a **poszt-covid állapothoz a vizsgált mintában objektíven mérhető éberségi instabilitás társult**. Az, hogy a két EEG-módszer a teljes mintában erősen korrelált, tovább erősíti az EEG-alapú eredmények belső konzisztenciáját, megbízhatóságát és módszertani hitelességét, azt jelzi, hogy a detektált jelenség nem módszerspecifikus artefaktum.

A GSQS összpontszám szintén szignifikánsan magasabb volt a poszt-covid csoportban, ami **rosszabb szubjektív alvásminőségre** utal. Ez az eredmény összhangban áll a korábbi megfigyelésekkel, melyek szerint a covid-19 fertőzést követően tartós alvászavarok alakulhatnak ki. Ezzel szemben az Epworth- és a Karolinska skálák nem mutattak szignifikáns különbséget. Ez a mintázat arra utal, hogy a poszt-covidhoz társuló alvás-ébrenlét zavar ebben az adatbázisban inkább **az éjszakai alvásminőség romlásában és az objektív éberségi instabilitásban jelent meg**, mintsem a nappali álomosság klasszikus önbeszámoló mutatóiban.

A figyelmi teljesítmény tekintetében a poszt-covid csoport több hibát (lapse) mutatott a pszichomotoros éberségi feladatban (PVT), ami **csökkent fenntartott figyelmi kapacitásra** utal, de a p-érték a szignifikanciahatár fölött maradt ( $p=0,0547$ ), így a mintában nem sikerült igazolni, hogy a neurofiziológiai eltérések viselkedéses szinten is manifesztálódnak. Ennek oka feltehetően az alacsony mintaszámra vezethető vissza, tekintettel arra, hogy kis mintákban a viselkedéses teljesítménymutatók gyakran nagy szórást mutatnak, így a statisztikai erő korlátozott lehet még nagy effektusok ( $r=0,778$ ) mellett is.

**Fontos metodikai eredmény, hogy a két EEG-alapú mikroalvás mérőszám közötti kapcsolat elemzése során erős, pozitív kapcsolat igazolódott** ( $\rho = 0,741$ ;  $p=0,0010$ ), ami arra utal, hogy a két mérési módszer konzisztens egymással, **az automatikus (program alapú) és a vizuális scoring validálják egymást.**

A kérdőíves skálák belső megbízhatósága közepes volt. Az Epworth ( $\alpha = 0,654$ ) és a GSQS ( $\alpha = 0,622$ ) értékei alapján a skálák használhatók, de a széles bootstrap konfidencia-intervallumok azt tükrözik, hogy a reliabilitási becslések bizonytalansága jelentős.

**A vizsgálatnak több korlátja** van. Az elemszám alacsony volt, ami különösen a szubjektív skálák és a PVT esetében csökkentette a statisztikai erőt. További korlát, hogy a reliabilitási eredmények egy része arra utal, hogy bizonyos itemek kevésbé jól működtek ebben a mintában, ezért nagyobb mintás vizsgálatban célszerű lenne a kérdőívstruktúrát ismét ellenőrizni.

Összességében az eredmények azt mutatják, hogy a poszt-covid állapot a vizsgált mintában elsősorban **objektív mikroalvásmutatók és rosszabb szubjektív alvásminőség** formájában jelent meg. A PVT esetében nagy, de a kis minta miatt nem szignifikáns effektus látszott, míg a nappali álomosság önbeszámoló skálái nem mutattak egyértelmű különbséget. Ez a mintázat arra utal, hogy a **poszt-covidhoz társuló éberségi zavarok érzékenyebb detektálására az EEG-alapú objektív mutatók alkalmasabbak** lehetnek, mint a rövid szubjektív

álmoságskálák. A poszt-covid személyek jelentős neurofiziológiai és viselkedéses/kognitív eltéréseket mutathatnak anélkül, hogy ezek szubjektív szinten megjelenjenek.

#### *3.5.4. A statisztikai eredmények értelmezése*

Az eredmények alapján feltételezhető, hogy **poszt-covid állapotban az alvásminőség romlása és/vagy az éberségi rendszer diszregulációja vezet a mikroalvás epizódok gyakoribb megjelenéséhez.** A mikroalvások rövid, akaratlan éberségkiesések, melyek a központi idegrendszer alvás-ébrenlét szabályozásának instabilitását tükrözik, jelenlétük különösen releváns olyan helyzetekben, ahol folyamatos figyelem szükséges (pl. vezetés, repülés, repülésirányítás stb.).

A kutatási eredmények klinikai és gyakorlati implikációja: az objektív és szubjektív mutatók elemzése kapcsán feltárt diszkrepancia arra utal, hogy **poszt-covid állapotban repülésbiztonsági szempontból a fáradtság/álmoság megítélésében a szubjektív kérdőívek önmagukban nem elegendők,** azokat célszerű az érzékenyebb objektív mérőeszközök (EEG, PVT) használatával kiegészíteni.

## ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen átfogó tanulmány a pilóta és repülésben dolgozó repülőorvosi alkalmasságvizsgálatra kötelezett állomány covid-19 fertőzés utáni alkalmasságot szabályozó repülésbiztonsági és repülőorvosi keretrendszerait vizsgálta, különös tekintettel a fáradtság tartós kihívására és a poszt-covid állapotok által felvetett új kihívásokra. A kutatás feltárta, hogy a repülésbiztonsági rendszer, bár robusztus, kritikus fejlődési állapotban van. A fáradtságkezelés hagyományos előíró megközelítései, amelyeket a repülési- és szolgálati idő korlátozások testesítenek meg, biztonsági alapot adtak, de egyre inkább felismerik, hogy nem elegendők az emberi fáradtság árnyalt, töbttényezős természetének kezelésére. Az ICAO, EASA és FAA által létrehozott szabályozások növekvő, bár egyenetlen elmozdulást mutatnak a kifinomultabb, tudományos alapú módszertanok felé. Mindezek mellett mai napig kevés módszer áll rendelkezésre a fáradtság objektív mérésére és egyelőre nincs olyan technológia, ami a fáradtság objektív mérésén kívül képes lenne annak folyamatos változását monitorizálni, kiváltképpen munkavégzés, vagy repülés közben.

Míg a **globális repülésbiztonsági szabályozási rendszer** figyelemre méltóan sikeres volt a biztonságos közlekedési mód megteremtésében, nem mentes hibáktól és hiányosságoktól, különösen az emberi tényezők összetett és fejlődő területén. A pilóta fáradtság kezelése jó példa erre. A tudatosság évtizedei és a különböző szabályok bevezetése ellenére jelentős hiányosságok maradnak a szabályozások felépítésében és alkalmazásában [130]. Ezek a hiányosságok akadályozzák a fáradtság hatékony felismerését és kezelését, különösen annak krónikus formájában. Az elsődleges problémák a szabályozások történelmi, töredékes fejlődéséből, a modern fáradtságtudomány eljárásrendekbe való integrálásának tartós késéséből, és a fáradtságjelentést gyakran visszatartó kultúrában a szubjektív önértékelésre való túlzott támaszkodásból erednek [130, 131].

A jelenlegi repülésbiztonsági szabályozások, amelyek nagyrészt az előíró Repülési és Szolgálati Idő Korlátozások (FTL) köré épülnek, elsősorban az akut fáradtság enyhítésére tervezettek a munka időtartamának korlátozásával és minimális pihenőidők előírásával [130]. Azonban sokkal kevésbé hatékonyak a krónikus fáradtság kezelésében [38]. A krónikus fáradtság a tartós alváshiány és elégtelen regenerálódás kumulatív eredménye hosszabb időszakokon keresztül. Egy pilóta betarthatja az összes előíró FTL szabályt, és még így is jelentős alváshiányt halmozhat fel hetek vagy hónapok alatt, ami fokozatos, de tartós kognitív teljesítményromláshoz és ellenálló képesség csökkenéshez vezet [38]. A szabályozások

gyakran nem veszik figyelembe az átszálló szálláshelyen kapott pihenés minőségét – egy zajos szállodában, más időzónában töltött pihenőidő nem olyan felüdítő, mint az otthoni.

További jelentős hiányosság a szabályozási keretrendszerben az FTL szabályok inkonzisztenciája és összetettsége. Ezek a szabályozások gyakran töredékesen fejlődtek, ami különböző szabályrendszerekhez vezetett különböző típusú repülési műveletek esetében, még ugyanazon joghatóságon belül is [130]. Ez a komplexitás zavart okozhat, és olyan kiskapukat teremt, amelyeket a modern működési vagy tudományos megértés nem feltétlenül igazol [130]. A szabályozási „foltmunka” nem alkalmaz következetes, tudományosan megalapozott fáradtság-kezelési szabványt az egész iparágban, ami olyan rést hoz létre, ahol a repülés egyes szektorai kevésbé védő szabályok alatt működhetnek, mint mások [130]. Talán a legalapvetőbb hiányosság az a lassú ütem, amellyel a fáradtságról, az alvásról és a cirkadián fiziológiáról szóló modern tudományos ismereteket beépítették a kötelező érvényű szabályozásokba [131].

**A poszt-covid állapot komplex és tartós kihívást jelent**, amely messze túlmutat a kezdeti vírusfertőzésen. Meghatározó jellemzői – a megterhelő fáradtság, a kognitív károsodás és az alvászavarok – nem csupán szubjektív panaszok, hanem összetett és egymással összefüggő patofiziológiai mechanizmusokban gyökereznek, elsősorban krónikus neuroinflammációt és szisztémás mitokondriális diszfunkciót érintve. Ez a megközelítés érthetővé teszi, hogy ezek a tünetek mély funkcionális károsodokat hoznak létre, amely hónapokig vagy akár évekig fennállhat. A kutatás igazolta, hogy a poszt-covid fáradtság akár 6-12 hónapig is fennállhat a fertőzést követően, az esetek 16%-ában még egy évvel a fertőzés után is perzisztál és hatását fokozhatja az esetek kb. 10%-ban kialakuló és az 1 éves kutatási periódus alatt nem csökkenő alvászavarok okozta komplex problémakör, ami jelentős repülésbiztonsági kockázatot képvisel.

**A repülésbiztonság szemszögéből a poszt-covid és long-covid szindróma következményei mélyen aggasztóak.** Az állapot közvetlenül támadja a repülési szakemberektől elvárt alapvető kompetenciákat: a kognitív tisztaságot, a tartós figyelmet, a fizikai kitartást és a megbízható éberséget. Annak lehetősége, hogy egy pilóta, irányító vagy technikus hirtelen brain fog-ot, intenzív fáradtságot tapasztal a covid-fertőzést követően munkába visszaállva a normál munkavégzés közben, vagy a megszokott munkaterhelés utáni hirtelen rosszullétet (PEM), és előfordulhat, hogy ezek mellett a nem megfelelő minőségű alvás kumulatív hatásait is elszenved, kiszámíthatatlan és jelentős hatással bíró humán faktor változót vezet be egy olyan rendszerbe, amely a kiszámíthatóságra és megbízhatóságra támaszkodik. **A jelenlegi fáradtság menedzsment és repülőorvosi keretrendszer, amelyet**

**egyértelműbben meghatározott és stabil orvosi állapotokra terveztek, nem alkalmas megfelelően a poszt- és long-covid szindróma ingadozó és alattomos természetének kezelésére.**

A globális **covid-19 világjárvány új és összetett változót vezetett be a repülőorvostan területére.** Míg a SARS-CoV-2 fertőzés akut fázisa elsődleges aggodalomra adott okot, a poszt-akut tünetegyüttes, amelyet közismerten poszt-covid vagy long-covid szindrómának neveznek, tartósabb és nehezebb problémát jelent a pilóták és repülésben dolgozók orvosi szakszolgálati engedélyének minősítése szempontjából [128]. A poszt- és long-covidot a hetekig, hónapokig vagy akár ennél is tovább tartó új, visszatérő vagy folyamatosan jelenlévő, időben állandó vagy időnként fellángoló intenzitású egészségügyi szövődmények széles köre jellemzi a kezdeti fertőzés után [129]. A tünetek változatosak, és több szervrendszert érinthetnek, a mély fáradtság, az alvászavarok és kognitív károsodás a leggyakoribb és repülésbiztonsági, valamint repülőorvosi szempontból legjelentősebb megnyilvánulások [128].

**A poszt- és long-coviddal összefüggő tünetegyüttes kiterjedt, és jelentősen veszélyeztetheti a pilóta azon képességét, hogy biztonságosan üzemeltesse a repülőgépet.** Az egyik legkiemelkedőbb és leginkább aggasztó tünet az extrém fáradtság [129]. Ezt gyakran úgy írják le, mint ami jelentősen különbözik a normál fáradtságtól, és terhelés utáni rosszulléttel (PEM) társulhat, ahol a fizikai vagy mentális erőfeszítés 12-72 órával később a tünetek jelentős rosszabbodásához vezet, ami napokig tarthat [128]. Egy pilóta számára ez azt jelenti, hogy akár a normál, megszokott repülési feladatok megterhelése is súlyos teljesítményromlást válthat ki egy következő napon, kiszámíthatatlan és elfogadhatatlan biztonsági kockázatot teremtve. Ugyanilyen kritikus a kognitív készségek károsodásának prevalenciája, amelyet gyakran „brain fog”-nak neveznek. A long-coviddal küzdő pilóták gyakran számolnak be koncentrációs problémákról, memóriavesztésről és mentális feladatokkal kapcsolatos nehézségekről [128, 129]. **A poszt és long-covid szindróma tehát jelentős repülésbiztonsági rizikót jelenthet,** ennél fogva szükséges kutatni és a kockázatkezelésre alkalmas módszereket és ajánlásokat keresni.

A covid-19 fertőzés és a poszt-covid szövődmények előfordulásának, súlyosságának és időbeni lefolyásának jelen kutatásban az online kérdőívek adatainak 2. pontban részletezett elemzése alapján összeségében elmondható, hogy **igazolódott a tünetek és szövődmények időben igen hosszú idejű, akár 1 évig is terjedő tünethossza, amit az ismétlődő fertőzések tovább ronthatnak.** Az ismétlődő fertőzések könnyen észrevétlenül maradhatnak, mivel az általánosan enyhébb tünetek miatt nem fordulnak orvoshoz a páciensek és így

betegségtudatosság hiányban a **poszt-covid szövődmények jelentősen megemelhetik a látens hibaforrás faktorok veszélyét**. A poszt-covid szindróma repülésbiztonsági rizikóbecslésénél figyelembe kell venni a tünetek elhúzódó jellegét, a fáradtság, alvászavarok, memóriazavarok és kognitív képességek kumulatív hatásait és ezeknek az ismétlődő fertőzéseknel jelentkező fellángolásait.

**Repülésbiztonság szempontjából Szervezeti Kultúra és Menedzsment szintjén** hangsúlyozni kell a poszt-covid időszakban a szubjektív fáradtság megítélésnek fontosságát az egyéni felelősségek között, valamint a szubjektív megítélés kellően felelősségteljes és komoly megítélést a Szervezet részéről, mivel **jelen kutatás egyértelműen igazolta a poszt-covid időszakban a szubjektív fáradtság és az objektív fizikai állapot romlás kapcsolatát**. Javasolt oktatási, ismeretterjesztő foglalkozás, vagy kiadvány formájában felhívni a repülésben dolgozók körének figyelmét a poszt-covid szindróma -különös tekintettel az ismétlődő covid-19 fertőzéseknel látensen is felerősödhető poszt-covid szindróma repülésbiztonságot veszélyeztető tüneteire és azok megelőzésének, csökkentésének lehetőségeire, valamint a fáradtság és az emberi teljesítőképesség megítélésének egyéni felelősségére (kiemelve a poszt-covid fáradtság, alvászavarok, koncentrációs problémák és munkahelyi stressz kumulatív teljesítménycsökkentő hatásait).

**Repülőorvosi szempontból** a kutatás eddigi eredményei alapján a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági rizikójának csökkentése érdekében **indokolt a fertőzésen átesett személyek fokozott repülőorvosi megfigyelése, egy új poszt-covid visszatérési protokoll kialakítása**. Ebben a repülőorvosi poszt-covid visszatérési protokollban figyelni kell a fizikai erőnlét mellett a fáradtság, alvászavarok és kognitív képességek rendszeres nyomonkövetésére mind szubjektív tesztek, mind pedig lehetőség esetén objektív mérések (funkcionális diagnosztikai módszerek illetve a fáradtság objektív mérésére alkalmas módszerek) segítségével. Ilyen speciális repülőorvosi poszt-covid visszatérési protokollra az Amerikai Repülési Hatóságnál (FAA) már van példa a covid-19 fertőzés utáni repüléshez visszatérő pilóták számára, különös hangsúlyt fektetve a long-covid tünetekről beszámoló pilótákra. A Szövetségi Repülésügyi Hatóság (FAA) covid-19-re és long-covidra vonatkozó repülőorvosi protokolljában előírja ezen esetekben a Hatóság felé történő referálást [128]. Ez azt jelenti, hogy egy repülőorvosi alkalmasságot vizsgáló orvos (aeromedical examiner, AME) nem állíthat ki tanúsítványt helyben; az esetet el kell küldeni az FAA-hoz átfogó felülvizsgálatra. Ez a politika tükrözi az ügynökség felismerését, hogy a vírus milyen kiterjedt hatással lehet több szervrendszerre, ami bonyolítja az repülőorvosi döntéshozatalt [128]. Hasonló Európa Uniós eljárásrend hiányában

javasolt egy hasonló nemzeti repülőorvosi poszt-covid visszatérési protokoll bevezetése a repülésbiztonság érdekében, illetve a LAPL kiséges repülőorvosi szakszolgálati engedélyek kiadásának szigorúbbá tételére vonatkozó szabályozási javaslatokkal együtt ugyanennek kezdeményezése az Európa Unió rendszerben is legalább ajánlás szintjén.

**Szabályozási szinten** az eredmények alapján javasolt a repülőorvosi alkalmasságvizsgáló orvosok (AME) számára a repülőorvosi élettan és kórélettan, valamint a repülőorvosi alkalmasságvizsgálat szabályozásának kérdései témakörben kötelező képzésbe bevonni a LAPL egészségügyi alkalmassági kategóriára feljogosított háziorvosokat, foglalkozás-egészségügyi orvosokat is, továbbá a teljes repülőorvosi alkalmasságvizsgáló orvosi közösségnek külön témaként javasolt tárgyalni a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatait és annak kezelési módszereit. Továbbá, a polgári repülésben észlelhető életkor kitolódás okozta általános- és a poszt-covid szindróma speciális repülésbiztonsági kockázatainak csökkentése érdekében javasolt a LAPL kiséges repülőorvosi szakszolgálati engedélyek kiadásának hatáskörét és az ahhoz előírt kötelező képzéseket felülvizsgálni.

Jelen kutatás kereteibe **a fáradtság mérésére alkalmas EEG technológia** elvi-, és teszt jelleggel a gyakorlati alkalmazásának lehetőségei fértek bele. Az eredmények alapján beigazolódott, hogy az EEG alapú fáradtságmérés igen érzékeny és jó módszer az emberi teljesítőképesség objektív mérésére és munkavégzés közbeni monitorizálására is. A kutatásban sikerült igazolni, hogy a szubjektíven megélt poszt-covid fáradtság objektíven is kimutatható fizikai állóképesség csökkenéssel jár még 2 hónappal a fertőzést követően is, továbbá az online kérdőív segítségével megállapítható, hogy a poszt-covid panaszok igen sokáig, akár 6-12 hónapig is fennálhatnak. Köztük számos- a repülésbiztonságot is veszélyeztető, fáradtsággal kapcsolatos, azt fokozni képes poszt-covid szövődmény komoly aggodalomra adhat okot, mivel az edermények szerint 12 hónap alatt sem csökken az előfordulásuk gyakorisága érdemben. Habár jelen kutatás elemszám és a kérdőívekben elkövetett módszertani hiba miatt nem tudta igazolni azt a hipotézist, hogy az általánosságban magasabb átlagéletkoral így több krónikus betegséggel rendelkező polgári repülésben dolgozók körében még komolyabb tünetekkel várható a poszt és long-covid szindróma megjelenése és ezzel a repülésbiztonsági kockázat is, ahogy azt a nemzetközi szakirodalmak predisponálják, valószínűleg nagyobb és heterogénebb koreloszlású mintán sikeresebben lehetne vizsgálni ezt a korrelációt. A kutatás során sikerült igazolni, hogy a poszt-covid csoport körében szignifikáns, kb. háromszor annyi mikromegálvás és monotónia teszten mérhető reakcióidő megnyúlás fordul elő, mint a kontrollcsoport körében, tehát egyértelműen mérhető objektíven is a poszt-covid fokozott

fáradtság. Azonban a PVT teszt gyakorlati alkalmazásának nyilvánvaló korlátja, hogy csak pillanatnyi állapotot tükröz és nem alkalmas a fáradtság okozta emberi teljesítőképesség valós időben történő monitorizálására. Ennélfogva érdemes a fáradtság objektív méréséhez EEG bioszenzor technológia felhasználásának a kutatásával foglalkozni, olyan EEG eszköz és a hozzá tartozó analizáló szoftver továbbfejlesztése céljából, amely képes munkavégzés közben monitorizálni a fáradtság kialakulásának folyamatát és egy repülésben- valamint a katonai felszerelésekkel és adatközlő rendszerekkel kompatibilis változat kifejlesztésén továbbdolgozni.

## ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Elkészítettem a poszt-covid szindróma komplex repülésbiztonsági kockázatelemzését.
2. Sikerült bizonyítani, hogy a szubjektív poszt-covid panaszok háttérben objektíven is kimutatható a csökkent fizikai erőnlét.
3. Bizonyítottam, hogy az ismétlődő covid-19 fertőzések komoly látens hibaforrást jelenthetnek a repülésbiztonságban.
4. Bizonyítottam, hogy a covid-19 fertőzés után a kialakuló poszt-covid panaszok rendkívül elhúzódó jellegűek lehetnek, akár 12 hónapig is fennállhatnak és ezzel a repülésbiztonsági kockázat is jóval hosszabb ideig áll fenn a repülésben dolgozók körében.
5. A fokozott és elhúzódó poszt-covid panaszok kapcsán javaslatot tettem egy új repülőorvosi módszertani ajánlásra poszt-covid szindróma esetében a munkába való visszatérét követően.
6. A poszt-covid szindróma okozta repülésbiztonsági rizikó csökkentése érdekében javaslatot tettem a polgári repülőorvosi alkalmasságvizsgálati szabályzók módosítására.
7. Bizonyítottam, hogy az EEG alapú mikromegalvások detektálása alkalmas módszer a munkavégzés közbeni fáradtság objektív mérésére és monitorozására.
8. Bizonyítottam, hogy a poszt-covid csoportban szignifikánsan magasabb mind a monotónia teszten mérhető PVT lapse-ok száma, mind pedig a munkavégzés közben mért mikromegalvások száma a kontrollcsoporthoz képest, azaz a szubjektív poszt-covid fáradtság objektíven mérve is bizonyítható.
9. Kidolgoztam egy analizáló szoftvert, ami alkalmas az EEG bioszenzor technológia által rögzített adatok automatikus elemzésére a fáradtság objektív mérésében a klinikai kiértékeléshez hasonló eredménnyel.

## AJÁNLÁSOK, JAVASLATOK

A kutatás eredményei alapján a következő gyakorlati javaslatok fogalmazhatók meg a repülésbiztonsági rendszerek fejlesztésére:

**1. A repülőorvosi protokollok fejlesztése:** Szükséges specifikus visszatérési protokollok kidolgozása a poszt-covid állapotokkal rendelkező pilóták és repülésben dolgozók számára, amelyek magukban foglalják a szubjektív panaszokon is túlmutató fokozott repülőorvosi megfigyelést, kognitív és fizikai teljesítmény rendszeres objektív értékelését, a fáradtság és alvászavarok szisztematikus szűrését, valamint individualizált rehabilitációs programokat.

**2. FRMS kibővítése:** A Fáradtság Kockázatkezelési Rendszereket ki kell egészíteni a poszt-covid szindróma komplex repülésbiztonsági rizikóbecslésének specifikus figyelembevételével, beleértve a szubjektív panaszok kellő komolysággal történő kezelését egyéni és Szervezeti szinten, hosszabb távú monitorozási protokollokat és a visszatérés utáni fokozott felügyeletet.

**3. Bioszenzor technológia integrálása:** támogatni kell a repülési környezettel kompatibilis EEG bioszenzor rendszerek kutatás-fejlesztését, amelyek megfelelnek a repülési ergonómiai, biztonsági és információvédelmi követelményeknek.

**4. Képzési programok aktualizálása és kiegészítése:** A fáradtság menedzsment valamint a repülőorvosi vizsgáló orvosok oktatási programját frissíteni kell a poszt-covid specifikus kockázatokkal és a mikromegalvások felismerésével kapcsolatos ismeretekkel.

**5. Jelentési kultúra erősítése:** Elő kell mozdítani a nem büntető jellegű „just culture” alkalmazását, amely bátorítja a fáradtság és egészségügyi problémák nyílt jelentését félelem nélkül a karrierre gyakorolt negatív következményektől.

**6. Javasolt a megkezdett kutatás folytatása,** a minták bővítése, homogenitásának és kor-eloszlásának kiegyensúlyozása az eredmények statisztikai értékelésének stabilizálása és további összefüggések (pl. a poszt- és long-covid szindrómára al-csoportok létrehozásával a tünethossz, tünet súlyosság és mikromegalvások számának összefüggéseit keresni, vagy az ismételt covid-19 fertőzések száma és a tünethossz, tünet súlyosság, mikromegalvások számának kapcsolatát tanulmányozni)

**7. Javasolt az EEG technológiát analizáló szoftver további fejlesztése** további alanyok bevonásával, a mintaszám növelésével, a klinikai adatokkal való együttállás vizsgálatával

(ground truth szűrő alkalmazása a programban), ehhez a klinikai és az EEG technológia adatbázisainak egységesítése és az idő-adatok (time stamps) szinkronizálása.

## A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

A kutatás eredményei jelentősen csökkenthetik a poszt-covid szindróma komplex repülésbiztonsági kockázatait, emellett jól felhasználhatók mind a katonai, mind a polgári életben **nem csupán a repülésben, de minden olyan munkakörben, ahol nagyfokú koncentrációra és figyelemre van szükség és ahol a humán faktor hibaforrás lényeges veszélyforrás lehet, különösen a monotóniával járó munkakörökben.**

Egy olyan bioszenzor technológia, amely képes a fáradtságot valós időben munkaközben is objektíven mérni a munkavégzés akadályoztatása nélkül, igen hasznos lehet a repülésen kívül katonai vonalon például az ór- ügyeleti szolgálatot adók, polgári vonatkozásban forgalomirányításban dolgozók, a biztonsági őrök, a hosszútávú gépjármű/hajó/vonat-vezetők, tömegközlekedésben dolgozók, a készenléti szolgálatot adók, a fokozott stressznek kitett munkakörben dolgozók (pl. egészségügy, rendvédelem, katasztrófavédelem, tűzoltóság) körében is a fáradtság veszélyes szintjének előrejelezésében és az abból fakadó humán faktor hibák és esetleges incidensek, balesetek megelőzésében.

**Az EEG bioszenzor technológia és a mesterséges intelligencia integrációja** jelentős áttörést ígér a fáradtság-monitorozás területén. A modern hordozható, száraz elektródás EEG rendszerek kombinálva a gépi tanulási algoritmusokkal lehetővé teszik az éberségi állapot és a mikro-megalvások objektív, valós idejű detektálását. A kutatás feltárta, hogy ezek a rendszerek magas szenzitivitást és specificitást érhetnek el a fáradtság-állapotok osztályozásában, meghaladva a szubjektív önértékelési módszerek megbízhatóságát. A technológia repülési környezetbe való integrációja – bár jelentős technikai és szabályozási kihívásokkal szembesül – reális perspektívát kínál az éberségi állapot proaktív monitorozására és a fáradtsággal kapcsolatos incidensek megelőzésére.

A fejlett hordozható EEG szenzorok és hatékony MI algoritmusok konvergenciája utat nyitott a valós idejű fáradtság és kognitív állapot monitorozását célzó kereskedelmi rendszerek fejlesztésének, ahol a repülés kulcsfontosságú célszektor [105, 113, 132]. Ezek a rendszerek túllépnek a laboratóriumi körülményeken, és a repülőgép pilótafülkébe és a légiforgalmi irányító környezetekbe való integrációra tervezettek a biztonság növelése érdekében. Ezen kereskedelmi alkalmazások alapelve a jelenleg nem létező technológia az agyi aktivitás folyamatos, objektív monitorozása a fáradtság miatti kognitív degradáció legkorábbi jeleinek észlelésére. Számos területen hasznosítható balesetek, emberi hibák megelőzésére.

## A KUTATÁS JÖVŐBENI FOLYTATÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

A kutatás ígéretes eredményeket hozott az EEG alapú technológia felhasználására a fáradtság objektív mérésében és munka közbeni monitorozásában, azonban ez a technológia az **analizáló szoftver továbbfejlesztésével, a modern mesterséges intelligencia lehetőségeinek beépítésével** számos más területen is felhasználható lehet.

Az EEG technológiát nemcsak az álmoság kezdetének nyomon követésére alkalmazzák, hanem a kognitív munkaterhelés, az elkötelezettség és a figyelem értékelésére is [105, 106]. Például az EEG mikromegvalvás analízist kutatják a **pilóta-növendékek** kognitív kontrolljának monitorozására, azonosítva az agyi hálózat dinamikájában bekövetkező specifikus változásokat, amelyek megbízhatóan jelzik a mentális fáradtságot a magas stresszű repülési képzés során [133, 134]. Élő repülési forgatókönyvekben gépi tanulási algoritmusokat használtak az alacsony, közepes és magas pilóta kognitív munkaterhelési állapotok megkülönböztetésére EEG adatok alapján, magas pontossággal [135].

A rendszerek gyakran specifikus EEG biomarkerekre és arányokra támaszkodnak, amelyek bizonyítottan robusztus jelzői a mentális állapotnak. A frontális théta teljesítmény és a parietális és occipitális alfa teljesítmény arányának növekedését például kulcsfontosságú élettani indikátorként használják mind a kognitív munkaterhelésre, mind a mentális fáradtságra [135]. Egy másik gyakran használt metrika az „Elkötelezettségi Index”, amelyet a béta teljesítmény és az alfa plusz théta teljesítmény összegének arányaként (Béta/(Alfa+Théta)) számítanak ki, és amely folyamatos mértéket ad az éberségről [135]. Ezen rendszerek alap gondolata, amelyet gyakran „**augmentált kogníció**”-nak neveznek, egy zárt hurkú rendszer létrehozása, ahol a repülőgép automatizálása vagy információs kijelzői alkalmazkodhatnak a pilóta észlelt kognitív állapotára adott válaszként [135, 136]. Ha a rendszer kritikus fáradtsági szinteket vagy mikromegvalvások előfordulását észleli, auditoros vagy haptikus riasztásokat válthat ki, pihenési szünetet javasolhat, vagy akár az irányítás automatizált rendszernek való átadását ajánlhatja a repülés nem kritikus fázisaiban.

Ezek a funkciók a jelen kutatáshoz megírt python alapú EEG analizáló szoftver továbbfejlesztésében is távolabbi célkitűzések. Egy **sisakba/felszerlésbe építhető EEG bioszenzor technológia** létrehozása mellett a technológia és a szoftver további fejlesztése során kialakítható egy olyan EEG detektor készülék, mely a fáradtság mérésén kívül a **tanulási folyamatokban és a mentális effort jellű mérésekben is alkalmazható lehet**, valamint az algoritmus analízise alapján meghatározott- ideális esetben gépi tanulással beállított egyéni

standardokhoz igazított cut-off értékeknél, vagy fáradtságra utaló jelek sűrűsödésének tendenciózus jeleinél figyelmeztető üzenetet küldenek a pilótának/ személyzetnek/ dolgozónak/ tanulónak. Emellett megfelelő egészségügyi és személyes adatok védelme mellett a repülést megfigyelő/ irányító személyek felé is továbbíthatja az adatot a pilóta/egyen fáradtságának, teljesítményének azonos időben történő külső monitorizálása érdekében. A kutatások elősegítése érdekében pedig a jelenlegi EEG eszközhöz hasonlóan az adattárolás utólagos adatelemzésre, tudományos kutatásra is lehetőséget adhat.

A tanulmány eredményei több irányban is további kutatási lehetőségeket nyitnak meg:

**1. Longitudinális vizsgálatok:** további hosszú távú követéses vizsgálatok szükségesek a poszt-covid tünetek – különösen a fáradtság – időbeli alakulásának és a repülési teljesítményre gyakorolt hatásának pontosabb megértéséhez a repülési személyzet körében. A jelenlegi EEG eszköz csak földi körülmények között alkalmas mérésekre, illetve maximum a kisgépes hobbipilótás körülmények között képzelhető el teszt-üzeme, ahol nincs szükség speciális sisak viselésére és egy ekkora BiBrain Diadem korona a fejen nem akadályozza a pilóta munkavégzését. Katonai repülési körülmények között csak sisakba épített, vagy a sisak alatt ergonomiailag elfogadható módon viselhető smart cloth technológia lenne megfelelő. További feladat lesz a repülési körülmények közötti mérésekhez a Légiügyi Hatóság repülési engedélyét (air worthiness) megszerezni a technológiához.

**2. Multimodális bioszenzor rendszerek:** Az EEG adatok kombinálása más élettani paraméterekkel (szívfrekvencia-variabilitás, szemmozgás, bőrvezetés) a fáradtság-detektálás robusztusságának és pontosságának növelése érdekében.

**3. Validációs kutatások:** Kontrollált kísérleti körülmények között végzett validációs vizsgálatok az EEG-alapú fáradtság-detektáló rendszerek szimulált repülési környezetben való megbízhatóságának és alkalmazhatóságának igazolására.

**4. Szabályozási harmonizáció:** Összehasonlító mérések és kutatások a különböző nemzeti szabályozási megközelítések hatékonyságáról a fáradtság és poszt-covid állapotok kezelésében, a legjobb gyakorlatok azonosítása a nemzetközi harmonizáció elősegítése céljából.

**5. Intervenciós kutatások:** A poszt-covid fáradtság kezelésére és a repülési alkalmasság helyreállítására irányuló intervenciós stratégiák (rehabilitációs programok, kognitív tréning, alvás-optimalizálás) hatékonyságvizsgálataiban való alkalmazás.

Összegzésképpen megállapítható, hogy a poszt- és long-covid által a repülési szektornak okozott kockázatok mérséklése sürgős és összehangolt cselekvést igényel. Ennek magában kell foglalnia az állapot hosszú távú lefolyására és potenciális kezeléseire vonatkozó kutatások felgyorsítását. A szabályozó hatóságoknak és a repülési szervezeteknek együtt kell működniük a szolgálati alkalmasság értékelési protokolljainak frissítésében és fejlesztésében a finom neurokognitív és funkcionális deficitok jobb felismerése érdekében. Végül paradigmaváltásra van szükség egy holisztikusabb és támogatóbb szervezeti kultúra felé, amely prioritásként kezeli személyzete egészségét és jóllétét, felismerve, hogy az emberi ellenálló képesség a repülésbiztonság végső alapja. E felmerülő fenyegetés proaktív kezelésének elmulasztása veszélyeztetheti a globális repülési rendszer biztonságát és integritását.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kirkham, W. R., Wicks, S. M., & Lowrey, D. L. (1982). G-Incapacitation in Aerobic Pilots: A Flight Hazard (FA-AM-82-13). Federal Aviation Administration, Department of Transportation, Washington DC 20591: FAA Office of Aviation Medicine. forrás: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/2756.pdf> (letöltve: 2022.11.08.)
- [2] Buzai, L. (2004.). A humán faktor szerepe a repülésbiztonsági rendszerek működtetésében. *Repüléstudomány.hu Különszámok 6.*, forrás: [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2004\\_cikkek/buzai\\_laszlo.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2004_cikkek/buzai_laszlo.pdf) (letöltve: 2022. 11. 10.)
- [3] Zhou, H., Lu, S., Chen, J., Wei, N., Wang, D., Lyu, H., Shi, C., Hu, S. (2020). The landscape of cognitive function in recovered Covid-19 patients, *Journal of Psychiatric Research* 129: 98-102 <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2020.06.022>
- [4] Halpin, S.J., McIvor, C., Whyatt, G., Adams, A., Harvey, O., McLean, L., Walshaw, C., Kemp, S., Corrado, J., Singh, R., Collins, T., O'Connor, R.J., Shivan, M. (2021). Postdischarge symptoms and rehabilitation needs in survivors of Covid-19 infection, a cross-sectional evaluation, *Wiley Journal of Medical Virology*, 93: 1013– 1022 <https://doi.org/10.1002/jmv.26368>
- [5] Magyar Tüdőgyógyász Társaság (2021). A COVID-19 vírusfertőzésen átesett - és visszamaradó károsodásokat szenvedő – POSZT-COVID SZINDRÓMÁS betegek gondozási protokollja, pg. 6 <https://tudogyogyasz.azurewebsites.net/Media/Download/30445> (letöltve: 2021.10.16.)
- [6] 1178/2011EU szabályzó a polgári légi közlekedéshez kapcsolódó műszaki követelményeknek és igazgatási eljárásoknak a 216/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet értelmében történő rögzítéséről (Magyarországon érvényben 2014. április 8. óta) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R1178-20160408> (letöltve 2021.11.07.)
- [7] Kamal, M., Abo Omirah, M., Hussein, A., Saeed, H. (2021) Assessment and characterisation of post-COVID-19 manifestations, Wiley The international *Journal of Clinical Practice, IJCP*; 75 <https://doi.org/10.1111/ijcp.13746>
- [8] Sandler, C.X., Wyller, V.B.B., Moss-Morris, R., Buchwald, D., Crawley, E., Hautvast, J., Katz, B.Z., Knoop, H., Little, P., Taylor, R., Wensaas, K-A., Lloyd, A.R.(2021). Long COVID and Post-infective Fatigue Syndrome: A Review, *Open Forum Infect Dis.* 2021 Oct; 8(10): ofab440. Published online 2021 Sep 9. doi: 10.1093/ofid/ofab440
- [9] Gemelli Against COVID-19 Post-Acute Care Study Group (2020). Post-COVID-19 global health strategies: the need for an interdisciplinary approach, *Aging Clinical and Experimental Research* 32:1613–1620 Published online: 11 June 2020 ©Springer Nature Switzerland AG, <https://doi.org/10.1007/s40520-020-01616-x>
- [10] Elliott, J.J., USAF, Schmitt, D.R., USAF (2019). Unexplained Physiological Episodes A Pilot's Perspective, *Air & Space Power Journal Vol. 33, Issue 3 Fall 2019* pages 15-32. (letöltve: 2024.11.20.)

- [11] Szabó, S. A. (2017). FIZIKAI ÁLLÓKÉPESSÉG ÉS EGÉSZSÉG-TUDATOSSÁG REPÜLÉSBIZTONSÁGI JELENTŐSÉGE. *Repüléstudományi Közlemények XXIX. Évf 2017/1*, pg 175-194 [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_1/2017-1-12-0379\\_Szabo\\_Sandor\\_Andras.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-12-0379_Szabo_Sandor_Andras.pdf) (letöltve: 2021.10.25.)
- [12] Schmidt, C. (2023). Do repeat covid infections increase the risk of severe disease or long-covid? *Scientific American, February 2023*, 820239 <https://www.scientificamerican.com/article/do-repeat-covid-infections-increase-the-risk-of-severe-disease-or-long-covid/> (letöltve: 2024. 01.10.)
- [13] World Health Organization. (2024). Post COVID-19 condition (Long COVID) [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/post-covid-19-condition-\(long-covid\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/post-covid-19-condition-(long-covid)) (letöltve: 2026.02.26.)
- [14] Centers for Disease Control and Prevention. (2024). Long-Term Effects of COVID-19 [https://archive.cdc.gov/www\\_cdc\\_gov/coronavirus/2019-ncov/long-term-effects/index.html](https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/coronavirus/2019-ncov/long-term-effects/index.html) (letöltve: 2026.02.10.)
- [15] Vos, T. et al. (2022). Estimated Global Proportions of Individuals With Persistent Fatigue, Cognitive, and Respiratory Symptom Clusters Following Symptomatic COVID-19 in 2020 and 2021. *JAMA* 328,(16) 1604–1615. doi:10.1001/jama.2022.18931
- [16] Peter, R. S., Nieters, A., Kräusslich, H. G., Brockmann, S. O., Göpel, S., Kindle, G., Merle, U., Steinacker, J. M., Rothenbacher, D., Kern, W. V., & EPILOC Phase 1 Study Group (2022). Post-acute sequelae of covid-19 six to 12 months after infection: population based study. *BMJ (Clinical research ed.)*, 379, e071050 <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-071050>
- [17] Szabó S. A.(2012). „ÖREG PILÓTA NEM VÉN PILÓTA” ÉLETTANI KORLÁTOZÓ TÉNYEZŐK ÉS SZELLEMI TELJESÍTMÉNY AZ ÉLETKOR FÜGGVÉNYÉBEN A PILÓTA ÉS AZ U(C)AV OPERÁTOR MINŐSÍTÉSE SZEMPONTJÁBÓL” *Repüléstudományi Közlemények XXIV. Évf 2012/ 2, Repüléstudományi Konferencia 2012 Különszám*, pg. 502 [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012\\_cikkek/39\\_Szabo\\_Sandor\\_Andras.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/39_Szabo_Sandor_Andras.pdf) (letöltve: 2021.11.05.)
- [18] Chu, L., Bishof, K., Dumes, A.A., Wesley Ely, E., Joseph, P.V., Troxel, A.B. (2025). Long COVID Definition: What Clinicians Need to Know, *J Gen Intern Med.* 2025 Jul; 40(9):2024-2027. doi: 10.1007/s11606-025-09415-8. Epub 2025 Mar 10. PMID: 40063321; PMCID: PMC12325811.
- [19] van den Borst, B., Peters, J.B., Brink, M., Schoon, Y., Bleeker-Rovers, C.P., Schers, H., van Hees, H.W.H., van Helvoort, H., van den Boogaard, M., van der Hoeven, H., Reijers, M.H., Prokop, M., Vercoulen, J., van den Heuvel, M. (2021). Comprehensive health assessment three months after recovery from acute COVID-19, *Clin Infect Dis.* 2021 Sep 7;73(5): e1089-e1098. DOI: 10.1093/cid/ciaa1750
- [20] Guyatt, G.H., Sullivan M.J., Thompson, P.J., Fallen, E.L., Pugsley, S.O., Taylor, D.W., Berman. L.B.(1985). The 6-minute walk: a new measure of exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Can Med Assoc J.*;132(8):919-23. PMID: 3978515; PMCID: PMC1345899.

- [21] A 6 perces séta: a fizikai teljesítőképesség mértéke krónikus szívelégtelenségben szenvedő betegeknél  
[https://www.mozgasgyogyszer.hu/hu/hirek/erdekessegek/6\\_perces\\_seta\\_teszt.html](https://www.mozgasgyogyszer.hu/hu/hirek/erdekessegek/6_perces_seta_teszt.html)  
 (letöltve: 2026.01.04.)
- [22] Arnold, D.T., Hamilton, F.W., Milne, A. et al. (2021). Patient outcomes after hospitalisation with COVID-19 and implications for follow-up: results from a prospective UK cohort. *Thorax* 2021;76:399-401. doi:10.1101/2020.08.12.20173526.
- [23] Taquet, M., Luciano, S., Geddes, J.R., P. J. Harrison, P.J. (2021). Bidirectional associations between COVID-19 and psychiatric disorder: retrospective cohort studies of 62 354 COVID-19 cases in the USA *Lancet Psychiatry* 2021 Feb;8(2):130-140. doi: 10.1016/S2215-0366(20)30462-4. Epub 2020 Nov 9
- [24] Hideg, J.: A magyar úrhajósjelöltek kiválogatása és az első szovjet-magyar ürrepülés során szerzett tudományos tapasztalatok felhasználása vadászpilóták alkalmasságának elbírálásában. Hadtudományi értekezés, Budapest, 1981. p. 1-5.
- [25] Davis H.E., McCorkell L., Vogel J.M., Topol E.J.(2023). Long COVID: major findings, mechanisms and recommendations. *Nat Rev Microbiol.* 2023 Mar; 21(3):133-146. doi: 10.1038/s41579-022-00846-2. Epub 2023 Jan 13. Erratum in: *Nat Rev Microbiol.* 2023 Jun; 21(6):408. PMID: 36639608; PMCID: PMC9839201.
- [26] Bowe B, Xie Y, Al-Aly Z.(2022). Acute and postacute sequelae associated with SARS-CoV-2 reinfection. Published online November 10, 2022. *Nat Med.* 2022;10.1038/s41591-022-02051-3. doi:10.1038/s41591-022-02051-3
- [27] Charles Schmidt, *Scientific American, February 2023*  
<https://www.scientificamerican.com/article/do-repeat-covid-infections-increase-the-risk-of-severe-disease-or-long-covid/> (letöltve: 2025. 10.20.)
- [28] Al-Aly, Z., Davis, H., McCorkell, L. et al. (2024). Long COVID science, research and policy. *Nat Med* 30, 2148–2164 <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03173-6>
- [29] Tey SF, Tsai YW, Wu JY, Liu TH, Chuang MH, Hsu WH, Huang PY, Lai CC, Hsu CK (2024). Comparative outcomes of SARS-CoV-2 primary and reinfection in older adult patients. *Front Public Health.* 2024 Feb 16;12:1337646. doi: 10.3389/fpubh.2024.1337646. PMID: 38435287; PMCID: PMC10904610.
- [30] A. Mensah, · J. Lacy, · J. Stowe, · G. Seghezze, · R. Sachdeva, · R. Simmons, · A. Bukasa, · S. O'Boyle, · N. Andrews, · M. Ramsay, · H. Campbell, · K. Brown (2022). Disease severity during SARS-COV-2 reinfection: a nationwide study, *Journal of Infection, Volume 84, Issue 4, 542 – 550, DOI: 10.1016/j.jinf.2022.01.012*
- [31] International Civil Aviation Organization. (2020). Fatigue Management Guide for Airline Operators (2nd ed.) <https://www.iata.org/en/publications/fatigue-management-guide/> (letöltve: 2022.11.20.)
- [32] Springer Nature. (2024). Mitochondrial dysfunction in post-infectious and post-acute sequelae of COVID-19 syndromes <https://link.springer.com/article/10.1007/s11357-024-01165-5> (letöltve: 2026.01.20.)
- [33] Dudás Z. REPÜLÉSBIZTONSÁG EMBERI HIBA NÉLKÜL? (2017). *Repüléstudományi Közlemények XXIX. Évf. 2017/1, pp. 75–82*

- [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_1/2017-1-06-0389\\_Dudas\\_Zoltan.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-06-0389_Dudas_Zoltan.pdf)  
(Letöltés: 2021.11.07.);
- [34] SHELL modell a repülésbiztonságban forrás:  
[https://mediawiki.ivao.aero/images/a/a9/SHELL\\_MODEL.png](https://mediawiki.ivao.aero/images/a/a9/SHELL_MODEL.png) (letöltés:2022.11.24.);
- [35] ICAO DOC 9966: Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches,  
<https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/26494.pdf> (letöltés: 2026.02.25.)
- [36] International Air Transport Association. (2024). Fatigue Risk Management  
<https://www.iata.org/en/programs/safety/operational-safety/fatigue-risk/> (letöltés:  
2026.02.25.)
- [37] International Air Transport Association. (2025). Fatigue Risk Management Systems  
(FRMS) White Paper  
[https://www.iata.org/contentassets/5f976bb3ca2446f3a40e88b18dd61fbb/frms\\_white-  
paper\\_2025.pdf](https://www.iata.org/contentassets/5f976bb3ca2446f3a40e88b18dd61fbb/frms_white-paper_2025.pdf) (letöltés: 2026.02.25.)
- [38] PMC. (2021). Fatigue in Aviation: Safety Risks, Preventive Strategies and  
Pharmacological Interventions <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8451537/>  
(letöltés: 2026.02.26.)
- [39] Goode, Jeffrey H. (2003). "Are pilots at risk of accidents due to fatigue?". *Journal of  
Safety Research*. 34 (3): 309–313. doi:10.1016/s0022-4375(03)00033-1. PMID  
12963077
- [40] Federal Aviation Administration. (2024). Advisory Circular on Fatigue Risk  
Management Systems  
[https://www.faa.gov/regulations\\_policies/advisory\\_circulars/index.cfm/go/document.in  
formation/documentid/1021088](https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentid/1021088) (letöltés: 2026.02.25.)
- [41] International Civil Aviation Organization. (2024). Fatigue Management  
<https://www.icao.int/safety/fatigue-management> (letöltés: 2026.02.26.)
- [42] Airmappr. (2024). Aviation Medical Regulations: EASA  
<https://airmappr.com/blog/medical/aviation-medical-regulations-easa> (letöltés:  
2026.02.25.)
- [43] SKYbrary. (2024). European Cabin Crew Medical Fitness Requirements  
<https://skybrary.aero/articles/european-cabin-crew-medical-fitness-requirements>  
(letöltés: 2026. 02.26.)
- [44] European Union Aviation Safety Agency. (2024). Medical FAQs  
<https://www.easa.europa.eu/en/the-agency/faqs/medical> (letöltés: 2026.02.25.)
- [45] FLYING ACADEMY. (2024). EASA Medical Certification  
<https://flyingacademy.com/easa-medical-certification/> (letöltés: 2026.02.25.)
- [46] European Union Aviation Safety Agency. (2020). Easy Access Rules for Medical  
Requirements (Part-MED)  
[https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy\\_Access\\_Rules\\_for\\_Medical\\_Re  
quirements-Jun20.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy_Access_Rules_for_Medical_Requirements-Jun20.pdf) (letöltés: 2026.02.26.)
- [47] Federal Aviation Administration. (2024). Medical Certification  
[https://www.faa.gov/pilots/medical\\_certification](https://www.faa.gov/pilots/medical_certification) (letöltés: 2026.02.26.)

- [48] Federal Aviation Administration. (2024). Medical Facts for Pilots  
[https://www.faa.gov/air\\_traffic/publications/atpubs/aim\\_html/chap8\\_section\\_1.html](https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim_html/chap8_section_1.html)  
(letöltés: 2026.02.26.)
- [49] Federal Aviation Administration. (2024). How to get a Medical Certificate  
[https://www.faa.gov/pilots/medical\\_certification/get](https://www.faa.gov/pilots/medical_certification/get) (letöltés: 2026.02.26.)
- [50] ATP Flight School. (2024). FAA Medical Certificate Requirements for Pilots  
<https://atpfightschool.com/become-a-pilot/airline-career/faa-medical-certificate.html>  
(letöltés: 2026.02.26.)
- [51] SKYbrary. (2024). Fatigue Risk Management System (FRMS)  
<https://skybrary.aero/articles/fatigue-risk-management-system-frms> (letöltés:  
2026.02.26.)
- [52] American Physical Therapy Association. (2021). WHO vs CDC: Long COVID  
Definitions <https://www.apta.org/news/2021/10/19/who-vs-cdc-long-covid-definitions>  
(letöltés: 2026.01.10)
- [53] PMC. (2023). Post-COVID-19 Condition: What We Know, What We Don't Know  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9846887/> (letöltés: 2025.12.20.)
- [54] Centers for Disease Control and Prevention. (2024). Long COVID or Post-COVID  
Conditions <https://www.cdc.gov/long-covid/about/index.html> (letöltés: 2026.02.26.)
- [55] CDC Stacks. (2022). Post COVID-19 Condition (PCC) or Long COVID: A Working  
Case Definition <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/133106> (letöltés: 2025.12.20.)
- [56] 20/2021. (X. 6.) HM rendelet az állami célú légiközlekedési személyzet repülőegészségi  
alkalmasságának feltételeiről, valamint a repülőegészségi alkalmassági vizsgálatot  
végző szerv kijelölésének és tevékenységének szabályairól,  
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2100020.hm> (letöltés: 2026.03.05.)
- [57] Centers for Disease Control and Prevention. (2024). Long COVID: A Clinical Overview  
for Healthcare Professionals <https://www.cdc.gov/long-covid/hcp/clinical-overview/index.htm> (letöltés: 2025.12.20.)
- [58] European Society of Medicine. (2023). The Pathophysiology of Myalgic  
Encephalomyelitis/Chronic Fatigue Syndrome  
<https://esmed.org/MRA/mra/article/view/4083> (letöltés: 2025.12.20.)
- [59] PMC. (2021). Hypothalamic Paraventricular Nucleus (PVN) as a Stress-Integrator  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8365156/> (letöltés: 2025.12.20.)
- [60] Frontiers. (2021). Hypothalamic Paraventricular Nucleus (PVN) Role in ME/CFS  
Pathophysiology <https://frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2021.701419/full>  
(letöltés: 2025.12.20.)
- [61] News-Medical.net. (2024). Study identifies mitochondrial dysfunction as cause of long  
COVID fatigue <https://www.news-medical.net/news/20240104/> (letöltés: 2025.12.20.)
- [62] Dr. Leslie Korn. (2024). Mitochondria Dysfunction, Chronic Fatigue & Long Covid  
<https://drlesliekorn.com/research/mitochondria-dysfunction-chronic-fatigue-long-covid/>  
(letöltés: 2025.12.20.)

- [63] Wiley Online Library. (2024). Autoantibodies to G protein-coupled receptors in post-COVID syndrome <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jcsm.13669> (letöltés: 2026.02.26.)
- [64] Yale Medicine. (2024). How to Manage Long COVID Brain Fog <https://www.yalemedicine.org/news/how-to-manage-long-covid-brain-fog> (letöltés: 2025.10.26.)
- [65] PMC. (2023). Cognitive Impairment as a Symptom of Long COVID: A Systematic Review <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9914477/> (letöltés: 2024.04.20.)
- [66] News-Medical.net. (2024). The Science Behind Long COVID Brain Fog <https://www.news-medical.net/health/The-Science-Behind-Long-COVID-Brain-Fog.aspx> (letöltés: 2025.02.06.)
- [67] MDPI. (2024). Sleep Disturbances in Long COVID: A Systematic Review <https://www.mdpi.com/2227-9032/13/20/2611> (letöltés: 2025.06.13.)
- [68] Frontiers. (2023). Sleep disturbances in the context of the COVID-19 pandemic <https://frontiersin.org/articles/10.3389/fpsy.2023.1166815/full> (letöltés: 2025.06.13.)
- [69] About Long COVID. (2024). Long COVID Sleep Disturbances <https://aboutlongcovid.org/long-covid-sleep-disturbances/> (letöltés: 2025.06.13.)
- [70] Cleveland Clinic. (2024). Sleep Disturbances Are Highly Prevalent Among People With Long COVID <https://consultqd.clevelandclinic.org/sleep-disturbances-are-highly-prevalent-among-people-with-long-covid/> (letöltés: 2025.06.13.)
- [71] PMC. (2024). Sleep disturbances increase susceptibility to COVID-19 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11276919/> (letöltés: 2025.06.13.)
- [72] Medscape. (2024). Sleep Disturbances Increase Susceptibility to COVID-19 <https://www.medscape.com/viewarticle/sleep-disturbances-increase-susceptibility-covid-19> (letöltés: 2025.06.13.)
- [73] Epworth Sleepiness Scale <https://sleep.hms.harvard.edu/education-training/public-education/sleep-and-health-education-program/sleep-health-education-90> (letöltés: 2026.03.06.)
- [74] Fatigue Severity Scale (FSS) – Complete Explanation + PDF <https://clinicaltoolslibrary.com/fatigue-severity-scale-fss/> (letöltés: 2026.03.06.)
- [75] Karolinska Sleepiness Scale [https://www.med.upenn.edu/cbti/assets/user-content/documents/Karolinska%20Sleepiness%20Scale%20\(KSS\)%20Chapter.pdf](https://www.med.upenn.edu/cbti/assets/user-content/documents/Karolinska%20Sleepiness%20Scale%20(KSS)%20Chapter.pdf) (letöltés: 2026.03.06.)
- [76] Fatigue impairment (sustained wakefulness) similar to BAC 0.05% impairments in reaction time <https://safetyinsights.org/2025/06/06/fatigue-impairment-sustained-wakefulness-similar-to-bac-0-05-impairments-in-reaction-time/> (letöltés: 2026.03.06.)
- [77] Maruff P, Falletti MG, Collie A, Darby D, McStephen M. (2005). Fatigue-related impairment in the speed, accuracy and variability of psychomotor performance: comparison with blood alcohol levels. *J Sleep Res.* 2005 Mar;14(1):21-7. doi: 10.1111/j.1365-2869.2004.00438.x. PMID: 15743330.

- [78] How to Measure Fatigue: Subjective and Objective Methods  
<https://biologyinsights.com/how-to-measure-fatigue-subjective-and-objective-methods/>  
 (letöltés: 2026.03.06.)
- [79] Bató, A., Brodszky, V., Mitev, A.Z. et al. (2024). Psychometric properties and general population reference values for PROMIS Global Health in Hungary. *Eur J Health Econ* 25, 549–562 <https://doi.org/10.1007/s10198-023-01610-w>
- [80] Dawson, D., Reid, K. (1997). Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature* 388, 235 <https://doi.org/10.1038/40775> (letöltés: 2023.10.18.)
- [81] Understanding BAC Levels & Effects (2025) <https://alcohol.org/health-effects/blood-alcohol-concentration/> (letöltés 2026.03.10.)
- [82] Domján K.; Dunai P.; Vada G.(2021). A repülésbiztonság növelésére kifejlesztett és alkalmazott műszerek, valamint eljárások a post covid kezelésének szolgálatában, Debrecen, Magyarország : MTA TABT Debreceni Területi Bizottság Titkársága (2021), ISBN: 9789637064425 Könyv/Konferenciakötet (Könyv)/Tudományos, MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAKKELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2021 KONFERENCIA, KÖRNYEZET- ÉS FÖLDTUDOMÁNYOK, MŰSZAKI HIDROLÓGIA ÉS REPÜLÉSTUDOMÁNY SZEKCIÓ ELŐADÁSOK KIADVÁNYA Debrecen, 2021. június 24. pg 55-63
- [83] Szabó S. A. (2018). ORVOSBIOLÓGIAI MONITORIZÁLÁS JELENE ÉS JÖVŐJE A KATONAI REPÜLÉSBEN (különös tekintettel a stressz okozta szívfrekvencia variabilitás és agyi vérátáramlás variancia jellemzésére) *Repüléstudományi Közlemények XXX. évf 2018/2* pg 145-162  
[http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018\\_2/2018-2-14-0457\\_Szabo\\_Sandor\\_Andras.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_2/2018-2-14-0457_Szabo_Sandor_Andras.pdf) 2018-2-14-0457\_Szabo\_Sandor\_Andras (repulestudomany.hu) (letöltve 2021.10.15.)
- [84] Grósz A., Szabó S. A., Vigh Z. (2005). Adatfeldolgozó rendszer a pilóták fiziológiai állapotának vizsgálatára, *Haditechnika* 2005/1 p. 2-6
- [85] Domján K., Vada G. (2020). Katonai pilóták élettani paramétereinek monitorozása szimulált repülési körülmények között, *Haditechnika LIV. évf. 2020/3* p.2-7. DOI:10.23713/HT.54.3.01
- [86] Santos-de-Araújo, A.D., Bassi-Dibai, D., Marinho, R.S. et al. (2024). Impact of COVID-19 on heart rate variability in post-COVID individuals compared to a control group. *Sci Rep* 14, 31099 <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82411-w>
- [87] PMC. (2011). Behavioral Alertness and the Psychomotor Vigilance Test (PVT) <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3079937/> (letöltés: 2026.02.26.)
- [88] Basner, M., Mollicone, D., & Dinges, D. F. (2011). Validity and sensitivity of a brief psychomotor vigilance test (PVT-B) to total and partial sleep deprivation. *Acta Astronautica*, 69(11–12), 949–959 <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2011.07.015>
- [89] Shen, H., Wang, Y., Hu, Y., & Duong, V. (2026). Cross-Domain Fatigue Assessment of Air Traffic Controllers Using Multimodal Monitoring and Transfer Learning. *Aerospace Science and Technology*, 112084 <https://doi.org/10.1016/j.ast.2026.112084>

- [90] PMC. (2023). Driving drowsiness detection using spectral signatures of EEG-based neurophysiology <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10097971/> (letöltés: 2026.02.26.)
- [91] Kéri, Sz., & Gulyás, B. (2003). Elektrofiziológiai módszerek a kognitív idegtudományban. In Pléh Cs. et al. (Eds.), *Kognitív idegtudomány*, Osiris Budapest.
- [92] Az agyhullámok típusai (forrás: <https://agytantura.health.blog/2018/03/09/adhd-es-a-neurofeedback/>) (Letöltés 2022.11.17.).
- [93] NCBI Bookshelf. (2024). Normal EEG Waveforms <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539805/> (letöltés: 2026.02.24.)
- [94] PubMed. (2021). EEG signatures of microsleep episodes during a maintenance of wakefulness test <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34892552/> (letöltés: 2026.02.24.)
- [95] PMC. (2021). Automatic detection of microsleep episodes with deep learning <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8024556/> (letöltés: 2026.02.24.)
- [96] Guilleminault, Christian, Billiard, Michel, Montplaisir, Jacques, Dement, William C. (1975). Altered states of consciousness in disorders of daytime sleepiness, *Journal of the Neurological Sciences, Volume 26, Issue 3*, pp. 377–393, ISSN 0022-510X, [https://docksci.com/altered-states-of-consciousness-in-disorders-of-daytime-sleepiness\\_5e5ce5eb097c4765508b45a2.html](https://docksci.com/altered-states-of-consciousness-in-disorders-of-daytime-sleepiness_5e5ce5eb097c4765508b45a2.html) (Letöltés: 2022.11.17.)
- [97] ScienceDirect. (2021). Systematic and widespread BOLD functional MRI changes during microsleeps <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811921004067> (letöltés: 2026.02.26.)
- [98] PMC. (2022). A Primer on EEG Spectrograms <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8901534/> (letöltés: 2026.02.23.)
- [99] PMC. (2022). EEG-Based Spectral Analysis Showing Brainwave Changes Related to Progressive Fatigue <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8962200/> (letöltés: 2026.02.23.)
- [100] ArXiv. (2024). EEG for fatigue monitoring <https://arxiv.org/pdf/2401.15766> (letöltés: 2026.02.23.)
- [101] Rosenkind et al (1994): The NASA NAP study, NASA Technical Memorandum 108839, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19950006379/downloads/19950006379.pdf> (Letöltés 2022.11.17.);
- [102] Wearable Sensing. (2024). Dry Electrode EEG Technology <https://wearablesensing.com/dry-electrode/> (letöltés: 2026.01.15.)
- [103] Wearable Sensing. (2024). DSI-24 Dry Electrode EEG Headset <https://wearablesensing.com/dsi-24/> (letöltés: 2026.01.15.)
- [104] Nature Communications. (2024). Wireless ear EEG to monitor drowsiness <https://www.nature.com/articles/s41467-024-48682-7> (letöltés: 2026.01.15.)
- [105] Bitbrain. (2024). Real-time attention and fatigue detection with EEG and AI <https://www.bitbrain.com/blog/eeg-driver-fatigue> (letöltés: 2026.01.15.)

- [106] ArXiv. (2024). Fatigue Monitoring Using Wearables and AI: Trends, Challenges, and Future Opportunities <https://arxiv.org/html/2412.16847v1> (letöltés: 2026.01.15.)
- [107] *Frontiers in Neuroscience*. (2017). Improving EEG-Based Driver Fatigue Classification Using Sparse-Deep Belief Networks <https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2017.00103/full> (letöltés: 2026.01.15.)
- [108] PMC. (2024). Research on the Prediction of Driver Fatigue Degree Based on EEG Signals <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12694118/> (letöltés: 2026.01.15.)
- [109] PMC. (2021). EEG-Based Driving Fatigue Detection Using a Two-Level Learning Hierarchy <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7905350/> (letöltés: 2026.01.15.)
- [110] *Frontiers*. (2023). EEG driving fatigue detection based on log-Mel spectrogram and CNN-RNN <https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2023.1136609/full> (letöltés: 2026.01.15.)
- [111] IMR Press. (2023). AGL-Net: An Efficient Neural Network for EEG-Based Driver Fatigue Detection <https://www.imrpress.com/journal/JIN/22/6/10.31083/j.jin2206146> (letöltés: 2026.01.18.)
- [112] IEEE Xplore. (2018). Mental Fatigue Estimation Based on EEG during a Psychomotor Vigilance Test <https://ieeexplore.ieee.org/document/8512666> (letöltés: 2026.01.18.)
- [113] Zhong, L., Luo, P., Hu, R., Zhong, Q., Zuo, Q., Li, Y., Ai, Y., & Pan, W. (2025). EEG-Based Fatigue Detection for Remote Tower Air Traffic Controllers Using a Spatio-Temporal Graph with Center Loss Network. *Aerospace*, *12*(9), 786 <https://doi.org/10.3390/aerospace12090786>
- [114] Abumayyaleh M, Schupp T, Behnes M, El-Battrawy I, Hamdani N, Akin I. (2025). COVID-19 and Myocarditis: Trends, Clinical Characteristics, and Future Directions. *J Clin Med*. *14*(13):4560. doi: 10.3390/jcm14134560. PMID: 40648935; PMCID: PMC12250244.
- [115] O Blagova, D H Ainetdinova, Y U A Lutokhina, V M Novosadov, R S Rud', A Y U Zaitsev, A D Kukleva, S A Alexandrova, E A Kogan(2021). Post-COVID myocarditis diagnosed by endomyocardial biopsy and/or magnetic resonance imaging 2–9 months after acute COVID-19, *European Heart Journal, Volume 42, Issue Supplement\_1*, ehab724.1751, <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab724.1751>
- [116] Gluckman, T, Bhav, N. et al. (2022). ACC Expert Consensus Decision Pathway on Cardiovascular Sequelae of COVID-19 in Adults: Myocarditis and Other Myocardial Involvement, Post-Acute Sequelae of SARS-CoV-2 Infection, and Return to Play: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *JACC* *79* (17) 1717–1756 <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.02.003>
- [117] Verwoert, G.C., de Vries, S.T., Bijsterveld, N., Willems, A.R., Vd Borgh, R., Jongman, J.K., Kemps, H.M.C., Snoek, J.A., Rienks, R., Jorstad, H.T.(2020). Return to wikisports after COVID-19: a position paper from the Dutch Sports Cardiology Section of the Netherlands Society of Cardiology. *Neth Heart J*. *28*(7-8) pp. 391–395 <https://doi.org/10.1007/s12471-020-01469-z>;

- [118] Országos Sportegészségügyi Intézet. Aktualizált állásfoglalás a COVID–19 fertőzött sportolók sportba való visszatérésének kérdésében <https://www.osei.hu/images/stories/osei/munkatarsaknak/10.28.COVID-Sportba-val-visszats.pdf> (Letöltés: 2022.11.17.);
- [119] Carluccio, C., Bressan, F., Pizzolato, M., De Antoni, A., Ungaro, S., Balla, D., Cipriani, A., De Lazzari, M., Marra, M. P., Vago, H., Corrado, D., Zorzi, A., & Graziano, F. (2026). Exercise Stress Testing in Clinical Cardiology: A Practical Guide to Performance and Interpretation. *Journal of Clinical Medicine*, 15(4), 1656 <https://doi.org/10.3390/jcm15041656>
- [120] Putri, Elsa Vira (2019). The Correlation Between Physical Workload and the Increase in Workers' Pulse Rate *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health* 8 (2) pp. 206–214 <https://doi.org/10.20473/ijosh.v8i2.2019.206-214>.
- [121] Susánszky, É., Konkoý Thege, B., Stauder, A., Kopp, M. (2006). A WHO Jól-lét kérdőív rövidített (WBI-5) magyar változatának validálása a Hungarostudy 2002 országos lakossági egészségfelmérés alapján. *Mentálhigiéné és Pszichoszomatika*, 7 (3): 247-255
- [122] Soldatos, C.R., Dikeos, D.G., Paparogopoulos, T.J. (2000). Athens Insomnia Scale: validation of an instrument based on ICD-10 criteria. *Journal of Psychosomatic Research*, 48 (69): 555-60
- [123] Soldatos, C.R., Dikeos, D.G., Paparogopoulos, T.J. (2003). The diagnostic validity of the Athens Insomnia Scale. *Journal of Psychomatic Research*, 55 (3):236-7
- [124] Novák, M. (2004): Alvászavarok és életminőség. Doktori értekezés, SE, Doktori Iskola, Budapest
- [125] dr. Guth-Orji, Á.J. (2025). A poszt-covid szindróma, különös tekintettel a fáradtság repülésbiztonsági jelentőségének és a fáradtság objektív méréseinek jelentőségére, Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből VI., Ludovika Egyetemi Kiadó, 2025., pp.:45-66, ISBN-13 (15) 978-963-653-277-2, DOI: [https://doi.org/10.36250/01323\\_03](https://doi.org/10.36250/01323_03)
- [126] Selye János: Életünk és a stressz (3. Kiadás, 1965., Akadémia kiadó Budapest) p. 102. <https://archive.org/details/eletunkesastressz/page/n7/mode/2up> (letöltve 2025. 06. 16.)
- [127] Mitchell, S. J., & Evans, A. D. (2004). Flight safety and medical incapacitation risk of airline pilots. *Aviation, space, and environmental medicine*, 75(3), 260–268.
- [128] AOPA Pilot Protection Services. (2023). Understanding Long COVID, or not! <https://pilot-protection-services.aopa.org/news/2023/july/01/understanding-long-covid-or-not> (letöltve: 2026. 02. 26.)
- [129] Medical Air Service. (2024). Flying with Long COVID / Post-COVID syndrome. [https://www.medical-air-service.com/coronavirus/flying-with-long-covid-post-covid-syndrome\\_7868.html](https://www.medical-air-service.com/coronavirus/flying-with-long-covid-post-covid-syndrome_7868.html) (letöltve: 2026. 02. 26.)
- [130] U.S. Department of Transportation. (2024). Aviation Safety: Pilot Fatigue. <https://www.transportation.gov/testimony/aviation-safety-pilot-fatigue> (letöltve: 2026. 03.10.)

- [131] PubMed. (2009). Fatigue countermeasures in aviation. [frontiershttps://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19180856/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19180856/) (letöltve: 2026.03.10.)
- [132] Frontiers. (2025). The state of the art in assessing mental fatigue in the cockpit. <https://www.frontiersin.org/journals/neuroergonomics/articles/10.3389/fnrgo.2025.1673268/full> (letöltve: 2026.3.10.)
- [133] PMC. (2024). The evaluation of cEEGrids for fatigue detection in aviation. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10901434/> (letöltve: 2026.03.10.)
- [134] Scientific Reports. (2023). Assessing the development of mental fatigue during simulated flights. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-31264-w> (letöltve: 2026.03.10.)
- [135] Scientific Reports. (2023). Using machine learning methods and EEG to discriminate aircraft pilot cognitive workload. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-29647-0> (letöltve: 2026.03.11.)
- [136] NASA NTRS. (2017). Prediction of Cognitive States during Flight Simulation. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20170001220/downloads/20170001220.pdf> (letöltve: 2026.03.11.)
- [137] Szakács, Z., & Köves, P. (1998). Az OSAS szűrésével és kezelésével szerzett hazai tapasztalataink. *Háziorvosi Továbbképző Szemle*, 3(1), 49–52.
- [138] Nagy, A., & Szakács, Z. (2023). Az alvási apnoe betegség kapcsán végzett vizsgálatok az Észak-Pesti Centrumkórház – Honvédkórház Alváslaborban. *Belügyi Szemle*, 71(4), 659–667. <https://doi.org/10.38146/BSZ.2023.4.6>

## PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

1. Guth-Orji Ágnes Judit (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
**A poszt-covid szindróma repülésbiztonsági jelentősége**  
**HONVÉDORVOS** (0133-879X 3003-9401): 73 1-2 pp 5-19 (2021)  
Nyelv: Magyar | DOI REAL  
Hadtudományi Bizottság IXGJO HTB [1901-] B hazai  
Idézett közlemények száma: 6  
Közlemény: 32916414 | Admin láttamozott Forrás Idéző | Folyóiratcikk ( Szakcikk ) | Tudományos | kézi felvitel  
Speciális affiliáció: Honvédorvos szerkesztősége  
Utolsó módosítás: 2025.01.20. 14:51 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
2. Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
**A Covid19-fertőzés repülésbiztonsági aspektusai I. rész : A bioszenzorok alkalmazásának lehetőségei a fáradtságmérésben.**  
**HADITECHNIKA** (0230-6891 1786-996X): 57 2 pp 24-28 (2023)  
Nyelv: Magyar | DOI REAL Matarka  
Hadtudományi Bizottság IXGJO HTB [1901-] A hazai  
Közlemény: 33834137 | Egyeztetett Forrás | Folyóiratcikk ( Szakcikk ) | Tudományos | kézi felvitel  
Speciális affiliáció: Haditechnika szerkesztősége  
Utolsó módosítás: 2025.01.20. 14:51 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
3. Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
**Covid19-fertőzés repülésbiztonsági aspektusai 2. rész**  
**HADITECHNIKA** (0230-6891 1786-996X): 57 3 pp 21-26 (2023)  
Nyelv: Magyar | DOI REAL Egyéb URL  
Hadtudományi Bizottság IXGJO HTB [1901-] A hazai  
Közlemény: 34178926 | Admin láttamozott Forrás | Folyóiratcikk ( Szakcikk ) | Tudományos | kézi felvitel  
Speciális affiliáció: Haditechnika szerkesztősége  
Utolsó módosítás: 2026.02.24. 14:59 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
4. Guth-Orji Ágnes Judit (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
**A poszt-Covid-szindróma, különös tekintettel a fáradtság repülésbiztonsági jelentőségének és a fáradtság objektív mérésének lehetőségeire**  
In:  
Padányi József (Padányi József Békeműveletek, hadtörténelem, műszaki támogatás...)  
NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola ; Gőcze István (Gőcze István Katonaföldrajz, tudományelmélet) (szerk.)  
**Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből VI.**  
Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, pp 45-66 (2025)  
Nyelv: Magyar | DOI Egyéb URL Befoglaló link(ek): DOI ISBN: 9789636532772 Teljes dokumentum

Közlemény: 36963067 | Admin láttamozott Befoglaló: 36504060 Forrás | Könyvrészlet ( Könyvfejezet ) | Tudományos |  
Utolsó módosítás: 2026.02.24. 14:43 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)

5. Guth-Orji Ágnes Judit (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
**Aviation safety aspects of covid-19 infection, possible utilization of biosensors in fatigue-measurement**  
In:  
Kajos L F (Kajos Luca Fanni Egészségtudományok) PTE/DI/Egészségtudományi Doktori Iskola ; Bali Cintia (Bali Cintia Kognitív pszichológia) PTE/DI/Pszichológia Doktori Iskola ; Puskás T (Puskás Tamás jog) ; Szabó R (Szabó Rebeka Vegyész) (szerk.)  
**XI. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia 2022 Tanulmánykötet : 11th Interdisciplinary Doctoral Conference 2022 Conference Book**  
Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország 2022.11.25. - 2022.11.26. (Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat)  
Pécs: Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat, pp 220-243 (2023)  
Nyelv: Angol | Teljes dokumentum Befoglaló link(ek): ISBN: 9789636260705 Teljes dokumentum  
Közlemény: 33737227 | Nyilvános Befoglaló: 33623283 Forrás | Könyvrészlet ( Szaktanulmány ) | Tudományos | kézi felvitel  
Utolsó módosítás: 2025.01.20. 14:51 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
6. Szabó Sándor András (Szabó Sándor András Repülőorvostan, belgyógyászat) Magyar Honvédség Egészségügyi Központ; SZTE/SZAOK/Repülő- és Űrorvosi Tanszék ; Nagy-Bozsoky József (Nagy-Bozsoky József repülőorvostan, űrorvostan) ; Tótká Zsolt (Tótká Zsolt Tibor repülőorvostan, belgyógyászat) Magyar Honvédség Egészségügyi Központ ; Kuti Norbert (Kuti Norbert belgyógyászat, repülőorvostan) Magyar Honvédség Egészségügyi Központ ; Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) Magyar Honvédség Egészségügyi Központ; SZTE/SZAOK/Repülő- és Űrorvosi Tanszék  
**A COVID-19-világjárvány és a légi közlekedés : Repülésélettani, klinikai és járványtani tapasztalatok és következmények a polgári és katonai repülésben.**  
**HONVÉDORVOS** (0133-879X 3003-9401): 76 1-2 pp 13-35 (2024)  
Nyelv: Magyar | DOI REAL Egyéb URL  
Hadtudományi Bizottság IXGJO HTB [1901-] B hazai  
Közlemény: 35483947 | Admin láttamozott Forrás | Folyóiratcikk ( Szakcikk ) | Tudományos | kézi felvitel  
Speciális affiliáció: Honvédorvos szerkesztősége  
Utolsó módosítás: 2025.09.26. 13:55 Tankó Andrea (KIADÓK admin 3)
7. Guth-Orji Ágnes Judit (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ ; Csókási Krisztina (Csókási Krisztina Csókási Krisztina) PTE/BTK/PI/Személyiség- és Egészségpszichológia Tanszék  
**Effects of covid-19 infection on physical performance**  
In:  
AESA (szerk.)  
**The 6th International Conference of Sports Science- AESA : Vol 6 No 1**  
Konferencia helye, ideje: Online konferencia, Nemzetközi 2022.03.10. - 2022.03.10.  
Online konferencia: **Asian Exercise and Sports Science Association, pp 45-46 (2022)**

Nyelv: Angol | Kötet/füzet link (DOI) Egyéb URL Teljes dokumentum Befoglaló link(ek): DOI

Közlemény: 32918756 | Egyeztetett Befoglaló: 33193018 Forrás | Könyvrészlet ( Absztrakt / Kivonat ) | Tudományos | kézi felvitel

Utolsó módosítás: 2025.01.20. 14:51 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)  
Megjegyzés: poszter

8. Guth-Orji Ágnes Judit (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
**Aviation safety aspects of Covid-19 infection**  
In:  
Kajos Luca Fanni (Sántics-Kajos Luca Fanni Egészségtudományok) PTE/DI/Egészségtudományi Doktori Iskola ; Bali Cintia (Bali Cintia Kognitív pszichológia) PTE/DI/Pszichológia Doktori Iskola ; Puskás Tamás ; Horváth-Polgár Petra Ibolya (Polgár Petra Ibolya Pszichológia) ; Glázer-Kniesz Adrienn ; Tislér Ádám (Tislér Ádám politikatudomány, nemzetközi kapcsolatok) ; Kovács Eszter (szerk.)  
XI. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia 2022. november 25-26 = 11th  
**Interdisciplinary Doctoral Conference 25-26th of November 2022 : absztraktkötet = Book of Abstracts**  
Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország 2022.11.25. - 2022.11.26. (Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat)  
Pécs: Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat, pp 33-33 (2022)  
Nyelv: Angol | Teljes dokumentum Befoglaló link(ek): ISBN: 9789636260699 Teljes dokumentum  
Közlemény: 33737182 | Admin láttamozott Befoglaló: 33531275 Forrás | Egyéb konferenciaközlemény ( Absztrakt / Kivonat ) | Tudományos | kézi felvitel  
Utolsó módosítás: 2025.10.01. 12:50 Vasvári Lilian (MTMT Központi, admin)
9. Dr. Guth-Orji Ágnes Judit (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
A poszt-covid szövődmények és a fáradékonyság hatása az ember teljesítőképességére hónapokkal a fertőzés után  
HungaroControl 7. VFR Fórum  
előadás  
Megjelenés: (2023)  
Nyelv: Magyar | Egyéb URL  
Közlemény: 33737282 | Admin láttamozott Forrás | Egyéb ( Nem besorolt ) | Tudományos | kézi felvitel  
Utolsó módosítás: 2026.02.24. 15:23 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
10. Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
Covid 19 effects on physical performance of military population  
VIMIMED V4 Military Medicine Conference  
Megjelenés: (2023)  
Nyelv: Angol  
Közlemény: 33834178 | Admin láttamozott Forrás | Egyéb ( Nem besorolt ) | Tudományos | kézi felvitel  
Utolsó módosítás: 2026.02.24. 15:12 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)  
Megjegyzés: konferencia előadás

11. Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
Covid 19 járványügyi vonatkozásai a légiközlekedésben  
Repülőorvosi szakorvosi továbbképzés tanfolyami előadás SZTE SZAOK/2023.I./00065  
Megjelenés: Magyarország (2023)  
Nyelv: Magyar  
Közlemény: 33834196 | Admin láttamozott Forrás | Egyéb ( Nem besorolt ) | Tudományos | kézi felvitel  
Utolsó módosítás: 2026.02.24. 15:12 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
12. Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
Akut Ellátási Klinika Könnyű Előjegyzési Rendszer bevezetése a Brooke Katonai Kórházban HONVÉDORVOS (0133-879X 3003-9401): 75 1-2 pp 78-79 (2023)  
Nyelv: Magyar | REAL-J Teljes dokumentum  
Közlemény: 34754550 | Admin láttamozott Forrás | Folyóiratcikk ( Ismertetés ) | Tudományos | kézi felvitel  
Speciális affiliáció: Honvédorvos szerkesztősége  
Utolsó módosítás: 2026.02.24. 15:11 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
13. Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) Magyar Honvédség Egészségügyi Központ; NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola  
Posztgraduális orvosi képzés a katona-egészségügyben: stratégiai analízis és lehetőségek HONVÉDORVOS (0133-879X 3003-9401): 75 3-4 pp 87-93 (2023)  
Nyelv: Magyar | REAL-J Teljes dokumentum  
Közlemény: 35080975 | Admin láttamozott Forrás | Folyóiratcikk ( Absztrakt / Kivonat ) | Tudományos | kézi felvitel  
Speciális affiliáció: Honvédorvos szerkesztősége  
Utolsó módosítás: 2026.02.24. 15:11 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
14. Guth-Orji Ágnes Judit (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
A Covid-19 fertőzés és a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági aspektusai- a Covid-19 fertőzés hatásai a fizikai erőnlétre : konferencia előadás.  
Online konferencia  
"A katonai műszaki kutatások legújabb eredményei"  
2022. május 12.  
Megjelenés: Nemzetközi (2022)  
Nyelv: Magyar  
Közlemény: 32916440 | Admin láttamozott Forrás | Egyéb ( Nem besorolt ) | Tudományos | kézi felvitel  
Utolsó módosítás: 2025.01.20. 14:51 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
15. Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
A Covid hatása a repülésbiztonságra : konferencia előadás.  
HungaroControl 6. VFR Repülésbiztonsági Fórum (online konferencia)  
2022. március 11.  
Megjelenés: Nemzetközi (2022)

Nyelv: Magyar

Közlemény: 32916445 | Admin láttamozott Forrás | Egyéb ( Nem besorolt ) | Tudományos | kézi felvitel

Utolsó módosítás: 2025.01.20. 14:51 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)

16. Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
A pilóták hirtelen cselekvőképtelenségének okai és megelőzési lehetőségei különös tekintettel a magassági oxigénhiány és a Covid fertőzés okozta tüdőfunkció csökkenés összefüggéseire és a pilóták pszichológiai alkalmasságának legújabb megállapítási szabályainak tapasztalatai tükrében a katonai és civil repülésben : a bioszenzorok felhasználásának lehetőségei a fáradtság menedzsmentben.  
20 éves a Katonai Műszaki Doktori Iskola Ünnepi Konferencia  
konferencia előadás  
Budapest, NKE  
2022. október 25.  
Megjelenés: Magyarország (2022)  
Nyelv: Magyar  
Közlemény: 33300777 | Admin láttamozott Forrás | Egyéb ( Nem besorolt ) | Tudományos | kézi felvitel  
Utolsó módosítás: 2025.01.20. 14:51 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
17. Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
Aviation safety aspects of covid-19 infection : konferencia előadás.  
11th Interdisciplinary Doctoral Conference  
Online conference  
25.11.2022  
Megjelenés: Nemzetközi (2022)  
Nyelv: Angol  
Közlemény: 33300800 | Admin láttamozott Forrás | Egyéb ( Nem besorolt ) | Tudományos | kézi felvitel  
Utolsó módosítás: 2025.01.20. 14:51 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)
18. Guth-Orji Ágnes (Guth-Orji Ágnes Judit aeroapce medicine) NKE/HHK/Katonai Műszaki Doktori Iskola; Magyar Honvédség Egészségügyi Központ  
A COVID-19 fertőzés repülőorvosi alkalmassági vonatkozásai : előadás.  
Magyar Repülő- és Űrorvosi Társaság Tudományos ülése  
Kecskemét  
2022. december 7.  
Megjelenés: Magyarország (2022)  
Nyelv: Magyar  
Közlemény: 33300808 | Admin láttamozott Forrás | Egyéb ( Nem besorolt ) | Tudományos | kézi felvitel  
Utolsó módosítás: 2025.01.20. 14:51 Zachár Krisztina (M. Honvédség Eü. Közp. admin4)

## MELLÉKLETEK

### 1. melléklet: ábrák és táblázatok jegyzéke

#### ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra: A poszt-covid tünetek prevalenciája az idő függvényében
2. ábra: A poszt-covid fáradtság patofiziológiai mechanizmusai
3. ábra: James Reason Svájci sajt modellje a repülésbiztonságról
4. ábra: A SHELL-modell a repülésbiztonságban
5. ábra: Fáradtság Kockázatkezelési Rendszer (FRMS) keretrendszer (szerző saját munkája)
6. ábra: EEG agyhullám mintázatok és frekvenciasávok
7. ábra: A mikromegalvások detektálásának elvi folyamatábrája
8. ábra: a jelenleg konzumer piacon elérhető EEG eszközök áttekintése és tulajdonságai
9. ábra: a súlyos korlátozottsággal járó long-covid szindróma gyakorisága a felnőtt lakosságban 2022-2024 között
10. ábra: : a súlyos korlátozottsággal járó long-covid szindróma prevalenciája a felnőtt lakosság körében 2022-2024 között
11. ábra: a covid-19 vírus mennyiségének alakulás a szennyvízben 2026.04.11-ig
12. ábra: : Módosított Bruce protokoll szerinti ergometriás vizsgálat terhelési lépcsői covid-19 fertőzésen átesett személyek ROB vizsgálatánál
13. ábra: a terhelésre jelentkező pulzusválasz mértéke a fáradtságot szubjektíven megelőző- illetve arra nem panaszkodó páciensek között
14. ábra: A minta legmagasabb iskolai végzettség szerinti megoszlása
15. ábra: Covid-19 oltásra vonatkozó eredmények
16. ábra: az akut covid-19 fertőzés kapcsán észlelt tünetek gyakorisága
17. ábra: A vizsgálati minta Covid-19 fertőzés tünelessza szerinti megoszlása
18. ábra: A Covid-19 fertőzés leggyakoribb tüneteinek 1-3-6-9 és 12 havi prevalencia értékei
19. ábra: A vizsgálati minta napi átlagos munkaidő szerinti megoszlása

20. ábra: A vizsgálati minta munkaterhelés és munkafáradtság időintervallumai szerinti megoszlása
21. ábra: : Covid-19 fertőzést követő munkábaállás során tapasztalat nehézségek prevalencia értékei
22. ábra: Covid-19 fertőzést követő munkábaállás során tapasztalt nehézségek időbeli fennmaradásának prevalencia értékei
23. ábra: AIS alvásminőség skála általában és poszt- covid időszakban
24. ábra: a covid fertőzés utáni munkába állást követően elkövetett hibák előfordulása
25. ábra: WBI-5 Jól-lét skála általában és poszt- covid időszakban
26. ábra: a BitBrain Diadem<sup>®</sup> vezeték nélküli száraz elektródás, 12 csatornás mobil EEG eszköz és az adatok vizuális megjelenítését biztosító szoftver
27. ábra: a BitBrain Diadem<sup>®</sup> vezeték nélküli száraz elektródás, 12 csatornás mobil EEG eszköz Eeg csatornáinak elhelyezkedése és a detektált EEG adatok vizuális megjelenítése
28. ábra: PVT lapse-ok száma
29. ábra: az alany FALSE jele a felvétel 24:01” pillanatában egy kb 4 másodperces mikromegalvás végén
30. ábra: az alany pislog és fárad, az első pislogás 18:02”-nél még normál morfológiát mutat, de 18:03”-nál már elmosódott, elnyújtott „laosodó” pislogás látható és a fehér vonallal jelzett 18:05”-kor érkező random PVT jelnél 534ms-os lapse jelenik meg
31. ábra: az alany a fehér vonallal jelzett pillanatban 447ms reakcióidővel reagált, melyet egy rövid, 1 másodpercet alig elérő jelentős lassulás, alfa hullám tevékenység előzött meg
32. ábra: az alany EEG felvételén 18:05” előtt mindössze 2 tized másodperce látható lassulás az agyi tevékenységben, mégis a fehér marker vonalnál kapott random jelre megnyúlt, 534ms-os lapse a reakcióideje
33. ábra: a poszt-covid csoport és akontroll csoport körében mért PVT lapse-ok és az EEG-n detektált mikromegalvások számának összehasonlítása

## TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE:

1. táblázat: a covid fertőzés tüneteinek, valamint a poszt-covid és long-covid szindróma tüneteinek előfordulási gyakorisága
2. táblázat: a SARS-cov2 vírussal történő első- és az újrafertőzések esetén jelentkező tünetek összehasonlítása
3. táblázat: Jelentősebb repülőgép-balesetek, ahol a fáradtság hozzájáruló tényező volt
4. táblázat: A repülésbiztonsági rizikót jelentő poszt-COVID tünetek előfordulási gyakorisága
5. táblázat: A poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatértékelése
6. táblázat: a poszt-covid fáradékonyság fizikai erőnlétre gyakorolt hatását vizsgáló páciensek körében előforduló krónikus betegségek
7. táblázat: A vizsgálati minta korcsoportos megoszlása
8. táblázat: A vizsgálati minta BMI kategória szerinti megoszlása
9. táblázat: PVT lapse-ok száma
10. táblázat: kutatási módszerek leíró statisztika elemzése
11. táblázat: kutatási kérdőívek megbízhatóságának vizsgálata
12. táblázat: a mérési eredmények megbízhatóságának vizsgálata

**2. melléklet:** Kohéziós táblázat- az értekezés hipotéziseinek, célkitűzéseinek és tudományos eredményeinek egymásra épülése

KOHÉZIÓS TÁBLÁZAT

Tudományos probléma	Hipotézis	Célkitűzés	Kutatási módszer	Következtetés	Hipotézis igazolása /elvetése	Új tudományos eredmény
<p><b>1.</b> A covid–19 fertőzést követően fennmaradó szubjektív fáradtság és az objektíven mérhető fizikai teljesítőképesség-csökkenés kapcsolata a repülésbiztonsági kockázat szempontjából nem kellően tisztázott.</p>	<p>A covid–19 fertőzésen átesett, szubjektív fáradtságról beszámoló személyek fizikai teljesítőképessége szignifikánsan alacsonyabb, mint azon fertőzésen átesett személyeké, akiknél a poszt-covid fáradtság a vizsgálat időpontjában már nem áll fenn.</p>	<p>Annak vizsgálata, hogy a poszt-covid időszakban jelentkező szubjektív fáradtságérzet együtt jár-e objektíven kimutatható fizikai teljesítőképesség-csökkenéssel.</p>	<p>A covid–19 fertőzésen átesett személyek fizikai terhelhetőségével kapcsolatos vizsgálati adatainak elemzése és a fáradtságról beszámoló, illetve panaszmentes alcsoportok összehasonlítása.</p>	<p>A poszt-covid időszakban fennálló szubjektív fáradtság objektív fizikai teljesítőképesség-csökkenéssel társul, ezért önálló repülésbiztonsági kockázati tényezőként értelmezhető.</p>	<p>A hipotézis igazolódott.</p>	<p>Empirikus úton igazoltam, hogy a covid–19 fertőzést követően fennálló szubjektív fáradtságérzet objektív fizikai teljesítőképesség-csökkenéssel jár együtt, így a repülésbiztonsági kockázatbecslés során önálló kockázati tényezőként kezelendő.</p>

Tudományos probléma	Hipotézis	Célkitűzés	Kutatási módszer	Következtetés	Hipotézis igazolása /elvetése	Új tudományos eredmény
<p><b>2.</b> Az ismételt covid–19 fertőzések hosszú távú következményei, valamint ezek repülésbiztonsági kockázatra gyakorolt hatása nem egyértelműen ismert.</p>	<p>Az ismételt covid–19 fertőzések fokozzák a poszt-covid tünetek súlyosságát, ezáltal növelik a repülésbiztonsági kockázatot.</p>	<p>Annak vizsgálata, hogy ismételt fertőzés esetén gyakoribbak, súlyosabbak vagy tartósabbak-e a poszt-covid tünetek.</p>	<p>Anonim online kérdőíves felmérés a poszt-covid tünetek prevalenciájáról és súlyosságáról az első, illetve az ismételt fertőzések vonatkozásában.</p>	<p>Az ismételt covid–19 fertőzések a munkába való visszatérést követően jelentős látens repülésbiztonsági kockázati tényezőt jelenthetnek.</p>	<p>A hipotézis igazolódott.</p>	<p>Igazoltam, hogy az ismétlődő covid–19 fertőzések a munkába való visszatérést követően jelentős rejtett hibaforrást képviselhetnek.</p>
<p><b>3.</b> A klinikai gyógyulás és a repülésbiztonsági szempontból releváns munkaképesség helyreállása időben elválhat egymástól, ezért a hagyományos visszatérési protokollok nem feltétlenül tükrözik a valós kockázatot.</p>	<p>A poszt-covid és long-covid szindróma során több, repülésbiztonsági kockázatot jelentő tünet és szövődmény akár 6–12 hónapig is fennmaradhat, és a munkába való visszatérést követően humán faktor hibák kialakulásához vezethet.</p>	<p>A repülésbiztonsági kockázatot jelentő poszt-covid tünetek prevalenciájának, időbeni lefolyásának és komplex kockázatának meghatározása a vizsgált populációban.</p>	<p>Anonim online kérdőíves kutatás repülésben dolgozók körében a covid–19 fertőzés, a poszt-covid időszak tünetei, valamint a munkavégzés során előforduló humán faktor hibák elemzésére.</p>	<p>A klinikai gyógyulás nem azonos a biztonságos munkavégző képesség teljes helyreállításával; ezért a hagyományos visszatérési protokollok kiegészítése indokolt.</p>	<p>A hipotézis igazolódott.</p>	<p>Elkészítettem a poszt-covid szindróma komplex repülésbiztonsági kockázatértékelését, és új repülőorvosi protokollt javasoltam a munkába való visszatérés támogatására.</p>

Tudományos probléma	Hipotézis	Célkitűzés	Kutatási módszer	Következtetés	Hipotézis igazolása /elvetése	Új tudományos eredmény
<p><b>4.</b> A krónikus betegségek súlyosabb poszt-covid szövődmenyeket predisponálnak, így a civil populációban nagyobb repülésbiztonsági kockázatot jelenhet a poszt-covid szindróma, mint a katonai populációban.</p>	<p>Szignifikáns különbség van a katonai és a civil pilóták között előforduló covid-19 fertőzés gyakoriságában és a hosszútávú (megemelkedett repülésbiztonsági kockázatot jelentő) szövődmenyek előfordulásában.</p>	<p>Annak vizsgálata, hogy a magasabb átlagéletkorú és több krónikus betegséggel rendelkező civil aviátorok körében gyakoribbak és súlyosabbak-e a poszt-covid és long-covid szövődmenyek.</p>	<p>Anonim online kérdőíves kutatás eredményeinek összehasonlító elemzése a civil és az állami célú repülésben dolgozók között a covid-19 fertőzés, a poszt-covid tünetek prevalenciája, súlyossága és időbeni lefolyása alapján.</p>	<p>Vizsgálatom nem igazolt szignifikáns különbséget a civil és a katonai csoport között; az eredményeket ugyanakkor a minta összetétele és az alacsony elemszám befolyásolhatta</p>	<p>A hipotézis nem igazoló-dott.</p>	<p>A civil repülésre vonatkozó repülőorvosi szabályozás frissítésére módosító javaslatokat fogalmaztam meg a repülésbiztonsági kockázat csökkentése érdekében.</p>
<p><b>5.</b> A poszt-covid időszakban fennálló fáradtság objektív mérése nehéz, noha annak repülésbiztonsági jelentősége kiemelkedő.</p>	<p>Szignifikáns különbség van a monotónia teszt (PVT) során mérhető reakcióidő megnyúlások (lapse-ok) számában a poszt-covid és a kontroll csoport között</p>	<p>Annak vizsgálata, hogy a monotónia tesztel kimutatható-e fokozott fáradtság a poszt-covid csoportban.</p>	<p>A PVT lapse-ok számának mérése és összehasonlítása a poszt-covid és a kontrollcsoport között.</p>	<p>A PVT alkalmas teljesítmény csökkenés kimutatására, azonban csak pillanatnyi állapotot tükröz, a fáradtság valós idejű monitorozására korlátozottan használható.</p>	<p>A hipotézis igazoló-dott.</p>	<p>Igazoltam, hogy a szubjektív poszt-covid fáradtság objektíven is mérhető teljesítménycsökkenéssel jár együtt a poszt-covid csoportban.</p>

Tudományos probléma	Hipotézis	Célkitűzés	Kutatási módszer	Következtetés	Hipotézis igazolása /elvetése	Új tudományos eredmény
<p><b>6.</b> A fáradtság mérésére alkalmazott szubjektív kérdőívek validitása – különösen az állami repülésben – korlátozott, a monotónia tesztek pedig nem alkalmasak a fáradtság folyamatos valós idejű monitorozására.</p>	<p>Szignifikáns különbség mutatható ki az EEG-vizsgálattal detektált mikromegálvások számában a poszt-covid csoport és a kontroll csoport között</p>	<p>Annak igazolása, hogy a mikromegálvások EEG-alapú detektálása alkalmas módszer a fáradtság objektív mérésére és valós idejű monitorozására és annak vizsgálata, hogy mikromegálvások detektálásával kimutatható-e fokozott fáradtság a poszt-covid csoportban.</p>	<p>EEG bioszenzorral végzett agyhullámvizsgálatok monotónia teszt (PVT) során, valamint hosszú idejű mérések végrehajtása munkavégzés közben a poszt-covid és a kontrollcsoportban; a PVT lapse-ok és a detektált mikromegálvások kapcsolatának, valamint a mikromegálvások számának elemzésével.</p>	<p>Az EEG-alapú vizsgálat érzékenyen jelzi a teljesítménycsökkenést és alkalmas a fáradtság objektív, valós idejű monitorozására, továbbá igazolta a szubjektív fáradtság jelenlétét objektív mérésekkel.</p>	<p>A hipotézis igazolódott.</p>	<p>Igazoltam, hogy az EEG technológia alkalmas a fáradtság objektív és valós idejű mérésére és munka közbeni monitorizálásra is.</p> <p>Új EEG-analizáló szoftvert fejlesztettem, amely a klinikai kiértékeléssel konzisztens módon detektálja a fáradtságot és a mikromegálvásokat.</p>

3. **számú melléklet:** a mikromegalvások detektálását célzó EEG kutatás dokumentációja

## A KUTATÁS DOKUMENTÁCIÓJA

### BETEGTÁJÉKOZTATÓ ÉS TÁJÉKOZTATÁSON ALAPULÓ BELEEGYEZŐ NYILATKOZAT

Vizsgálat címe:	A poszt-covid szindróma repülésbiztonsági jelentősége és a fáradtság objektív mérésének lehetőségei bioszenzorokkal- 2. modul: mikromegalvások detektálása EEG bioszenzorral
Vizsgálati hely:	Magyar Honvédség Egészségügyi Központ és a vizsgálatba bevontak munkahelye
Vizsgálatvezető:	Dr. Guth-Orji Ágnes orvos alezredes
24 órán keresztül hívható telefonszám:	+36-30/58-60-429 agnesguth@hotmail.com

Alulírott önkéntes résztvevő

név:.....

születési hely és idő:.....

**Tisztelt Hölgyem/Uram!**

A fenti kutatásban történő részvételre kérjük Önt.

Az Ön döntése, hogy részt kíván-e venni a vizsgálatban. Amennyiben önként, bármilyen befolyástól mentesen beleegyezik a vizsgálatban való részvételbe, abból bármikor kiléphet anélkül, hogy kilépését szóban vagy írásban meg kellene indokolnia. Ebben az esetben Önt semmilyen hátrány nem fogja érni, nem veszíti el semmilyen jogát vagy olyan előnyét, amellyel a vizsgálat előtt rendelkezett.

Ha bármilyen kérdése merülne fel a vizsgálat ismertetése során, vagy annak időtartama alatt, kérjük tegye fel azt a vizsgálat vezetőjének és szánjon megfelelő mennyiségű időt a vizsgálatba való bejegyzésének eldöntésére.

#### **1. Mi a vizsgálat célja?**

Jelen kutatásra azért van szükség, hogy kellő ismereteket szerezzünk a covid-19 fertőzésen átesett személyeknél a poszt-covid időszakban nagyon gyakran jelentkező fokozott fáradtság

okozta teljesítményromlás és hibaforrás kockázatáról, valamint megállapíthatjuk annak repülésbiztosági jelentőségét, objektív mérésének lehetőségét a rizikó csökkentése érdekében.

## **2. Ki támogatja a vizsgálatot?**

A kutatás a vizsgálatvezető tudományos doktori képzésének (PhD) része, a Nemzetvédelmi Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola és az MH Egészségügyi Központ felügyeletével.

## **3. Miért eshet rám a választás?**

Az előzetesen kiküldött kérdőív adatai szerint Ön a vizsgálati kritériumok szerint megfelel a covid-19 fertőzésen átesett poszt-covid csoport – vagy a nem poszt-covidos kontroll-csoport feltételeinek jelen kutatás céljainak vizsgálatához.

## **4. Mennyi ideig fogok részt venni a vizsgálatban?**

A vizsgálat 3 részből áll, az első a jelen tájékoztatóval együtt megküldött beválogatási kérdőívek kitöltése, kb 15 percet vesz igénybe.

Amennyiben Ön beválogatásra kerül a kutatásba, akkor egy személyes találkozót beszélünk meg, ahol megbeszéljük a vizsgálatok menetét és elvégzünk egy 30 perces EEG vizsgálatot egy számítógép képernyőjét futtatott éberségi vizsgálatra használt reakcióidőt és hibaszázalékot mérő ún. Pszichomotoros Vigiliencia Teszttel (PVT) párhuzamosan (a képernyőn random felvillanó jeleket kell észlelni és gombnyomással jelezni). Ez a találkozó a PVT program használatának begyakorlása és az EEG eszköz felhelyezésével együtt kb 60 percet vesz igénybe.

Ezt követően egy normál munkavégzés közben végzett hosszabb idejű EEG vizsgálat következik annak céljából, hogy Önnél munkavégzés közben kimutathatóak-e a fáradtság jeleként az akaratlanul és sokszor észrevétlenül az agyhullámokban megjelenő ún. mikromegálgások. Ez kb. 8 órányi EEG felvételt jelent.

## **5. Hány személy vesz részt a vizsgálatban?**

A fenti vizsgálaton csupán Ön és a vizsgálatvezető vesz részt, valamint a hosszabb idejű munkavégzés közbeni felvételnél Ön saját munkakörnyezetében tevékenykedik. A vizsgálatba 20 fő poszt-covid csoport és szintén 20 fő kontroll-csoport bevonását tervezzük.

## **6. Mi a vizsgálat menete?**

Amennyiben Ön megfelel a vizsgálat által támasztott bevonási és kizárási feltételeknek, és önként részt kíván venni a vizsgálatban, akkor annak menete a következő:

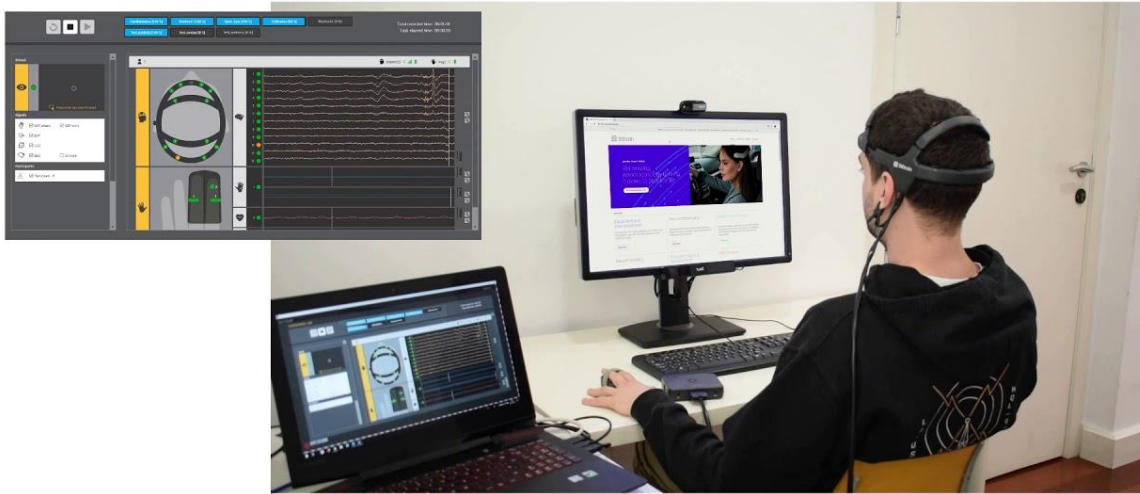
- Egy előre megbeszélte időpontban és helyen találkozunk, kb 60 perc alatt megismerkedhet az EEG eszközzel és a számítógépen futtatott PVT éberségi teszttel valamint az EEG eszköz felhelyezését követően elvégzünk egy 30 perces PVT vizsgálatot EEG méréssel párhuzamosan és a vizsgálat után Ön kitölt egy kb 3 perces fáradtság-tesztet.

A fáradtság, éberségi állapot mesterséges befolyásolásának csökkentése érdekében:

- A vizsgálatot megelőző napon és a vizsgálat napján energiatartalék és alkohol fogyasztása kerülendő
  - A vizsgálat napján a reggeli 1 kávénál, vagy teánál több koffein tartalmú ital fogyasztása kerülendő
  - A vizsgálat napja előtti este egy átlagos, legalább 6-7 órás megfelelő minőségű alvás szükséges, ezt a személyes találkozás elején tisztázzuk és amennyiben Ön a vizsgálat előtti este nem tudott kellően jól pihenni, akkor a vizsgálatot egy másik időpontra kell halasztani, amikor a megfelelő alvás is biztosítva volt.
- Ezt követően Ön a felhelyezett könnyű, fej-vagy fülhallgató viselését nem akadályozó EEG eszközzel elmegy és normál napi munkakörülményei között tevékenykedik kb 8 órán át, miközben az EEG eszköz folyamatosan felveszi az agyi tevékenységet, majd munka végén (vagy az eszköz akkumulátorának lemerülésekor) a személyes találkozásunkon megbeszéltek szerint egyszerűen leveszi és a tárolódobozába helyezi az EEG eszközt.
  - Egy Önnel előre egyeztetett helyen és időben találkozunk és Ön visszaadja az EEG eszközt a vizsgálatvezetőnek.

Az EEG eszköz, a BitBrain Diadem, egy modern, mobil EEG eszköz, rugalmasan méretre igazítható fejpánt száraz érzékelőkkel, melyek az Ön fejbőrével érintkezve a 12 fő agyrégióinak megfelelően érzékelik és rögzítik az agyhullámokat, egy zsebben hordható kis méretű és kis súlyú jelerősítő és rögzítő dobozzal, amit 1db kb 1méteres vezeték köt össze a fejére felhelyezett fejpánttal.





Ezt követően a vizsgálati eredmények utólagos elemzését a vizsgálatvezető hajtja végre, az eredmények tudományos elemzését követően publikálásra kerülnek (összesített eredmények, anonim módon) hazai tudományos folyóiratokban, amennyiben szeretné, az Ön vizsgálati eredményei egyénileg csak Önnek megküldésre kerülnek.

### 7. Mit kell egyedül megtennem?

Önnek az előzetesen elektronikus formában kiküldött kérdőíveket és önkéntes részvételi szándékának igazolására a beleegyező nyilatkozatot kell visszaküldenie a vizsgálatvezetőnek elektronikusan, aki azokat kiértékeli és értesíti Önt, hogy részt vehet-e a kutatásban. Amennyiben bevalogatásra kerül, akkor egy Önnel egyeztetett helyen és időben egy személyes találkozón megismerkedik az EEG eszközzel, a vizsgálatvezető segítségével végrehajtott 30 perces EEG és PVT tesztek után Ön a viziten felhelyezett EEG készülékkel együtt elmegy és önállóan tevékenykedik normál munkakörnyezetben kb 8 órán át, majd a vizsgálat végén önállóan leveszi, kikapcsolja és elteszi az EEG eszközt a tároló dobozába a viziten megmutatottak szerint. Végül egy szintén Önnel egyeztetett helyen és időben visszaadja az EEG eszközt a vizsgálatvezetőnek. Önnek más dolga nincsen a vizsgálatban.

### 8. Előfordulhatnak-e mellékhatások, kellemetlenségek a vizsgálat során?

Mellékhatások nem fordulhatnak elő, az EEG eszköz viselése hosszabb távon sem kellemetlen, az érzékelők fejbőrrel való jó minőségű kontakja érdekében szükséges lehet az Ön haját az érzékelők alól eltolni, ezt a személyes találkozón az EEG eszköz felhejezésekor vizsgálatvezető segítségével teszik meg. Hosszabb idejű vizsgálat során amennyiben bármi kellemetlenséget okoznának az érzékelők a fejbőrén önállóan képes a rugalams rögzítéseken igazítani- azonban a jó jelminőség fenntartása érdekében szükség lehet a haj újbóli eligazítására az érzékelők alól (önállóan végrehajtható). Amennyiben bármi kellemetlenséget észlel, amit

nem tud megoldani. Ön bármikor megszakíthatja a vizsgálatot az eszköz személyes találkozáson megbeszélte módon történő levételével, kikapcsolásával és tároló dobozba helyezésével. Az eszköz kikapcsolását követően újabb felvétel indítása azonban önállóan nem lehetséges, ahhoz a vizsgálatvezető részvétele és az EEG eszközt irányító programja szükséges.

### **9. Milyen hasznom származhat a vizsgálatból?**

Az Ön általános teljesítményére, éberségére, hibaszázalékára és fáradtságának mértékére vonatkozó adatokat és általános képet kaphat az vizsgálat során keletkező egyéni mérési eredményekkel, melyek objektíven tükrözhetik az Önre személy szerint jellemző éberségi szintet különböző napszakokban, különböző feladatok során és jelezhetik azokat az időszakokat a munkavégzés során, amikor ébersége csökken és fokozottan kell figyelnie a munka közben elkövetett hibák elkerülésére, vagy a munkaszervezésre. Így a kutatásban való részvétele nagyban hozzájárul a poszt-covid szindróma repülésbiztonsági kockázatának tudományos értékeléséhez, hozzájárul egy a fáradtság objektív mérésére alkalmas bioszenzor módszer kidolgozásához és a vizsgálati eredmények Önnek közvetlenül is hasznot jelenthetnek mind munkahelyi teljesítményére, mind egészségi állapotára (fáradtság szintjének objektív szintjére) vonatkozóan.

### **10. Kapok fizetséget a vizsgálatban való részvételért?**

Ön nem kap fizetséget, vagy bárminemű költségtérítést, juttatást a vizsgálatban való részvételért.

### **11. Kell-e fizetnem a részvételért?**

Önnek nem kell fizetnie a vizsgálatban való részvételért, a vizsgálatok az Ön számára ingyenesek.

### **12. Bizalmasan fogják kezelni az adataimat?**

Amennyiben Ön önként és minden befolyástól mentesen úgy dönt, hogy részt kíván venni a vizsgálatban, akkor a Beleegyező Nyilatkozat aláírásával Ön ahhoz is hozzájárul, hogy egyes személyes és egészségügyi adatait (pl. születési dátum, nem, iskolai végzettségre, egészségére, illetve betegségeire vonatkozó adatok, laboratóriumi vizsgálatok eredményei) a vizsgálat orvosai, a kutatásban résztvevő személyzet, a független etikai bizottságok megismerjék. Adatainak kezelésével kapcsolatban a GDPR (EU 216/679 Rendelet) előírásait betartjuk. A hatályos magyar törvények értelmében ezen adatait csak a vizsgálat lebonyolításához és anonimizált formában tudományos feldolgozásához használják fel. A vizsgálati dokumentációban és a jelentésekben az Ön neve, címe és egyéb személyes adatai nem szerepelnek, személyét kizárólag szám és betűkóddal azonosítják, a tudományos közleményekben legfeljebb kódszám azonosítja. Az Ön neve csak az kutatást végző vizsgálatvezetőnél marad, ott az egészségügyben szokásos módon tárolt dokumentumokon szerepel. Minden adatát bizalmasan kezeljük. Amennyiben Ön a vizsgálat során, a vizsgálatban való részvételre vonatkozó beleegyezését akár szóban, akár írásban visszavonja, akkor a vizsgálat kizárólag az addig keletkezett vizsgálati adatait kezelhetik.

### **13. Hová fordulhatok, ha a személyes adataim védelme sérülne?**

Tájékoztatjuk, hogy az Ön adatvédelemmel kapcsolatos jogainak megsértése esetén bírósághoz fordulhat az információs önrendelkezési jogról és az információszabadságról szóló törvény (2011. évi CXII. törvény) 22. és 52. §-a alapján, és jogosult továbbá vizsgálatot kezdeményezni a Nemzeti Adatvédelmi és Információszabadság Hatóságnál (postai cím: NAIH, 1363 Budapest, Pf. 9.; e-mail: [ugyfelszolgalat@naih.hu](mailto:ugyfelszolgalat@naih.hu)) arra való hivatkozással, hogy az Ön személyes adatainak kezelésével kapcsolatban jogsérelem következett be, vagy annak közvetlen veszélye fennáll.

### **14. Lehetséges, hogy a vizsgálat hamarabb befejeződik a számomra?**

Ön bármikor úgy dönthet, hogy a kutatásban nem kíván tovább részt venni. Ugyanakkor a vizsgálatot végző vizsgálatvezető is felfüggesztheti- vagy átütemezheti az Ön részvételét az Ön egészsége érdekében, illetve, ha úgy látja, hogy Ön a kutatási tervben meghatározott vizsgálati kritériumainak nem felel meg.

### **15. Ki engedélyezte a vizsgálatot? Kivel vehetem fel a kapcsolatot probléma esetén?**

A vizsgálatot illető bármilyen kérdésére a vizsgálat során a vizsgálatvezető köteles válaszolni. Az Ön rendelkezésére áll a Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Intézményi Kutatásetikai Bizottság (MH EK IKEB) egyik tagjaként kijelölt független orvos, Dr. Vásárhelyi-Tóth Sándor alezredes (e-mail: [vasarhelyi.toth.sandor@hm.gov.hu](mailto:vasarhelyi.toth.sandor@hm.gov.hu)) is. Ön jogosult a független orvost kérdéseivel és problémáival bármikor felkeresni. A jelen vizsgálat végzésére a Helsinkai Nyilatkozat etikai irányelveinek, továbbá a magyar törvényeknek és rendelkezéseknek megfelelően kerül sor.

A vizsgálati tervet az MH EK IKEB elfogadta, a vizsgálat befogadását az MH EK parancsnoka engedélyezte, jóváhagyta.

A vizsgálat vezetője: Dr. Guth-Orji Ágnes orvos alezredes, (tel.: +36-30/58-60-429; e-mail: [guthorji.agnes@hm.gov.hu](mailto:guthorji.agnes@hm.gov.hu) , [agnesguth@hotmail.com](mailto:agnesguth@hotmail.com) ).

## 1. TÁJÉKOZTATÁSON ALAPULÓ BELEEGYEZŐ NYILATKOZAT

Részletes szóbeli tájékoztatás után elolvastam a fenti kutatáshoz tartozó betegtájékoztatót és megismertem annak menetét, céljait. Tudomásul vettem, hogy szóban vagy írásban jelezve, indoklás nélkül bármikor kiléphetek a vizsgálatból. Részletesen tájékoztattak a vizsgálatról, minden kérdésemre kielégítő választ kaptam. Önkéntesen vállalkozom a fenti vizsgálatban való részvételre. Megértettem a vizsgálatra vonatkozó információkat és a vizsgálat kockázatát.

A vizsgálat során keletkezett adataim kezeléséhez önként hozzájárulok, tudomásul veszem, hogy a vizsgálat adatait- személyemet nem azonosítható formában – a vizsgálatvezetőnek tudományos feldolgozás céljából rendelkezésére bocsátják. A vizsgálat eredményei bemutathatók szakmai találkozók, értekezleteken vagy publikálhatók orvosi, katonai, műszaki vagy egészségtudományi folyóiratokban személyazonosságom feltárása nélkül. Részletes adatvédelmi tájékoztatást kaptam személyes adataim kezeléséről.

Tájékoztattak arról is, hogy a vizsgálat menete során kérdéseimmel a vizsgálatokat végzőhöz, etikai bizottsághoz illetőleg a független orvoshoz fordulhatok.

Beleegyezem abba, hogy a vizsgálatok során az agyi tevékenységem elemzéséhez EEG vizsgálatot végezzenek. Kijelentem, hogy a Betegtájékoztató és Tájékoztatáson alapuló Belegyező Nyilatkozat egy példányát átvettem.

Kelt.: ..... (helység, év, hó, nap)

.....  
beteg aláírása

Kijelentem, hogy a beteget a fenti vizsgálatról világos és érthető módon felvilágosítottam.

A tájékoztatást végző orvos

neve:.....

A tájékoztatást végző orvos

aláírása:.....

Kelt.:..... (helység, év, hó, nap)

## Beválasztási kérdőív

Kedves Résztvevő!

Köszönjük, hogy időt szán erre a kérdőívre, amely a "A poszt-covid szindróma repülésbiztonsági jelentősége és a fáradtság objektív mérésének lehetőségei bioszenzorokkal" című vizsgálat része.

Jelen kérdőív célja annak eldöntése, hogy Ön bevonható-e a vizsgálat következő szakaszába, melynek során kísérleti helyzetben, illetve munkavégzés közben vezeték nélküli EEG eszközzel vizsgáljuk a fáradtság jeleként megjelenő mikromegálgásokat az agyi aktivitásban.

A kérdőív kitöltése önkéntes. Az Ön által megadott adatokat bizalmasan kezeljük, és kizárólag a kutatás céljaira használjuk fel. Az Ön személyes adatait (név, e-mail cím, stb.) csak az eredmények kiértékeléséhez rögzítjük, az adatokat anonim módon kezeljük, csak a kutatás végéig tároljuk és kezeljük a hatályos adatvédelmi jogszabályoknak megfelelően. A vizsgálat eredményeit tudományos publikációkban és konferenciákon is közzétehetjük, de az Ön személyazonossága semmilyen formában nem lesz felfedve. A kérdőív kitöltése körülbelül 5-10 percet vesz igénybe. Kérjük, válaszoljon a kérdésekre a lehető legpontosabban és őszintén.

**Köszönjük együttműködését!**

1. **Az Ön életkora:**            év
2. **Az Ön neme:** -Kérjük válasszon-
3. **Legmagasabb befejezett iskolai végzettsége:** -Kérjük válasszon-
4. **Volt-e 6 hónapon belül diagnosztikai vizsgálatral igazolt COVID-19 fertőzése?**  
-Kérjük válasszon-
  - a) **Amennyiben igen, eltelt-e a fertőzés óta minimum 4 hét?** -Kérjük válasszon-
  - b) **Szerepelt-e a poszt-covid tünetei között fokozott fáradtság?**  
-Kérjük válasszon-
5. **Szenved-e Ön diagnosztizált pszichiátriai vagy neurológiai betegségben, beleértve az alvászavarokat is?** -Kérjük válasszon-
  - a. **Amennyiben igen, kérjük nevezze meg:**
6. **Használ-e Ön rendszeresen altatószereket/benzodiazepineket (pl. Frontin, Xanax)?**  
-Kérjük válasszon-
7. **Kérjük, hogy a kérdésekre adott válaszokat, a megadott pontozóskála segítségével értékelje.** Ha egyik, vagy másik helyzet nem is fordult elő Önnel, próbálja meg elképzelni, milyen hatással lenne éberségére az adott szituáció! **Érez-e (és milyen mértékben) álmoságot, vagy alvászavarokat az alább felsorolt helyzetekben?**

Olvadás, pihenés közben	-Kérjük válasszon-
TV nézés közben	-Kérjük válasszon-
Színházban, moziban, társaságban, találkozón passzív résztvevőként	-Kérjük válasszon-
Autóban utasként, közel egy órás megszakítás nélküli út után	-Kérjük válasszon-
Ha lefekszik délután pihenni megfelelő csendes környezetben	-Kérjük válasszon-
Társalgás, csevegés közben:	-Kérjük válasszon-
Ebéd utáni pihenés közben, alkoholfogyasztás nélkül!	-Kérjük válasszon-
Autóvezetés közben, ha meg kell állnia néhány percig forgalmi dugó miatt	-Kérjük válasszon-

3. Melléklet

### Vizsgálati nap kérdőíve

Kedves Résztvevő!

Köszönjük, hogy időt szán erre a kérdőívre, amely a "A poszt-covid szindróma repülésbiztonsági jelentősége és a fáradtság objektív mérésének lehetőségei bioszenzorokkal" című vizsgálat része.

Jelen kérdőív célja egyrészt az Ön vizsgálat előtti alvásminőségének, másrészt a vizsgálat során tapasztalt éberség/álmoság mértékének felmérése.

Az Ön által megadott adatokat bizalmasan kezeljük, és kizárólag a kutatás céljaira használjuk fel. Az Ön személyes adatait (név, e-mail cím, stb.) csak az eredmények kiértékeléséhez rögzítjük, az adatokat anonim módon kezeljük, csak a kutatás végéig tároljuk és kezeljük a hatályos adatvédelmi jogszabályoknak megfelelően. A vizsgálat eredményeit tudományos publikációkban és konferenciákon is közzétehetjük, de az Ön személyazonossága semmilyen formában nem lesz felfedve. A kérdőív kitöltése körülbelül 5 percet vesz igénybe. Kérjük, válaszoljon a kérdésekre a lehető legpontosabban és őszintén.

**Köszönjük együttműködését!**

### Vizsgálat előtt kitöltendő

1. Általában hány órát szokott aludni? \_\_\_\_\_ óra
2. Kérem becsülje meg, hogy hány órát aludt a tegnapi napon! \_\_\_\_\_ óra
3. Fogyasztott-e a mai napon egynél több koffein tartalmú italt (pl. kávé, tea)?  
Igen                      Nem
4. Fogyasztott-e a tegnapi illetve a mai napon alkoholt vagy energiatalt?  
Igen    Nem
5. Gondoljon vissza a tegnapi alvására és jelölje X-el, hogy az adott állítás igaz vagy nem igaz az Ön tegnapi alvására.

	Igaz	Nem igaz
Az éjjel mélyen aludtam		
Úgy érzem, rosszul aludtam az éjjel.		
Több, mint fél órába telt, amíg este el tudtam aludni.		
Többször is felébredtem az éjjel.		
Ma reggel fáradtan ébredtem.		
Úgy érzem nem aludtam eleget az éjjel.		
Felébredtem az éjszaka közepén.		
Ma reggel kipihenten ébredtem.		
Azt hiszem, csak néhány órát aludtam az éjjel		
Egy szemhunyásnyit sem aludtam az éjjel.		
Tegnap este könnyen elaludtam		
Amikor éjjel felébredtem, nehezen aludtam vissza		
Egész éjjel ide-oda forgolódtam az ágyban		
Az éjjel nem alhattam többet 5 óránál		

### Vizsgálat után kitöltendő

#### Karolinska álmoság skála

Kérjük jelölje meg az alábbi skálán, hogy a feladat elvégzése során milyen mértékű éberséget/álmoságot érzett!

- 1- Rendkívül éber
- 2- Nagyon éber
- 3- Éber
- 4- Viszonylag éber
- 5- Nem éber, de nem álmos
- 6- Néhány álmoságra utaló jel
- 7- Álmos, de nincs szüksége erőfeszítésre, hogy ébren maradjon
- 8- Álmos és erőfeszítésbe kerül ébren maradni
- 9- Nagyon álmos, komoly erőfeszítést tesz rá, hogy ébren maradjon, harcoljon az álmosággal