

Dr. Guth-Orji Ágnes*

A Covid19-fertőzés repülésbiztonsági aspektusai **II. rész**

A bioszenzorok alkalmazásának lehetőségei a fáradtságmérésben

A Covid19-pandémia jelentős hatással volt életünk minden területére, a légi közlekedésre is, bár a Covid19 repülésbiztonsági aspektusait eddig kevesen vizsgálták. A tanulmányorozat felhívja a figyelmet arra, hogy a Covid19 leggyakoribb szövődményei közül számos tünet jelentősen befolyásolja az emberi munkavégző képességet, fokozhatja a humán faktor miatt bekövetkező hiba esélyét, így repülésbiztonsági kockázatot jelenthet. A szerző, a sorozat első részében a humán faktor szerepét vizsgálta a repülésbiztonságban, illetve a Covid19-fertőzés és a poszt-Covid-szindróma kapcsolatát a humán faktor miatt bekövetkező hibával. A második rész a bioszenzorok fáradtságméréssel kapcsolatos szerepét, valamint az EEG-bioszenzorok felhasználásának lehetőségeit mutatja be a repülésbiztonságban.

A FÁRADTSÁG REPÜLSÉBIZTONSÁGI JELENTŐSÉGE

A tanulmány első részében tárgyalt fáradtság az egyik legismertebb repülésbiztonsági rizikót jelentő humánfaktor-hibaforrás, mivel ez a tényező élettani hatásában az alkoholos befolyásoltsághoz hasonló munkaképesség- és teljesítménycsökkenést okoz. [26] Jelentőségét igazolja, hogy az ENSZ Nemzetközi Polgári Repülési Szervezete (International Civil Aviation Organisation – ICAO) előírja a repülésben résztvevő szervezetek számára a repülésbiztonsági menedzsment rendszer (Aviation Safety Management System – ASMS) működtetését [27], amely rendszer részeként önálló szabályzó

6. ábra. A NASA Ames Kutatóközpont (Szilícium-völgy, Kalifornia) szakemberei a fáradtságnak a hajózásszemélyzetre gyakorolt hatásait vizsgálják egy Boeing 747-400 szimulátorban [38]



dokumentum jelent meg a fáradtságmenedzsment (Fatigue Management) biztosítása érdekében [28], hogy csökkentsék a fáradtság okozta humán faktor hibarizikóját. A fáradtságmenedzsment tehát az ASMS szerves része.

A fáradtság repülésbiztonsági rizikóját jól demonstrálta a NASA 1994-ben végrehajtott kísérlete [29], amely során – többek között – az agyhullámok érzékelésére alkalmas EEG-eszköz segítségével, transzkontinentális hosszú távú repülőúton vizsgálták a teherszállító repülőgépek pilótáinak éberségét. Az emberi agy az éber állapottól jól elkülöníthető agyhullám-tevékenységet mutat alvásakor. Minél aktívabb az agytevékenység, annál gyorsabb, nagyobb frekvenciájú agyhullám-tevékenység mutatható ki. A figyelem csökkenésekor, fáradtsáskor az agyhullámok lelassulnak, általában lassú szemhéjzáródás jelentkezik.

Mikro-megalvásnak (micro sleep) nevezzük a rövid idejű Rechtschaffen és Kales által 1. alvásfázisként leírt epizód, és/vagy egy rövid idejű szinkron alfa (8–12 Hz) / théta (4,5–7 Hz) aktivitás megjelenését [33]. Ez az agyi tevékenység lassulásával – az EEG-n alfa és théta hullámok megjelenésével – járó rövid, 5–15 másodperces epizód, általában – de nem mindig – elnehezülő, lassan lecsukódó szemhéjakkal, nem tudatos folyamat. Az alanyok a legtöbb esetben nem is érzékelik a figyelmükben, munkavégző képességükben megjelenő csökkenést. A repülésbiztonsági veszélyét pontosan ez a tény adja, hogy az egyén nem veszi észre a munkavégző képességének hanyatlását.

Nem alakul ki a klasszikus alvás, nem jelennek meg a mély alváásra jellemző delta agyhullámok, azonban kimutatható az alvás előtti állapotra jellemző alfa, és a felületes alváásra jellemző théta hullámtevékenység. A mindennapokban, olvasás, tanulás vagy munka közben is előfordulnak ilyen mikro-megalvások, amelyeknek komolyabb következményei nincsenek, de ha például autózás közben a fáradtság és a monotonia kapcsán védekezik így az agyunk a túlterhelés ellen, az már komoly balesetveszélyhez vezethet. A repülésben, ahol egy apró figyelmetlenség is okozhat katasztrofális károkat, az ilyen tudattalan mikro-megalvások különösen nagy repülésbiztonsági rizikót jelentenek. A fent említett NASA Nap study-ban (szunyókálás-tanulmány) az volt a cél, hogy bebizonyítsák: a hosszú távú repülőúton során repülésbiztonsági szempontból biztonságosabb megengedni a pilótáknak a rövid idejű szunyókálásokat, elkerülve ezzel a kifáradást és az ebből következő humánfaktor-hibaforrásokat. A pilótákat 2 csoportra osztották, az egyik csoportnak engedélyezett volt a szunyókálás, míg a másik csoportnak nem volt szabad pihennie repülés közben. Az EEG-vizsgálattal, az alfa hullámok kimutatásával figyelték a mikro-megalvások számát a repülés utolsó 90 percében, és a repülés legkritikusabb

* Orvos alezredes, NKE, HHK, Katonai Műszaki Doktori Iskola; Repülőorvosi Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet (RAVGYI), Katonai Alkalmasságvizsgáló Osztály, osztályvezető főorvos ORCID: 0000-0003-0138-9807

fázisában, leszállás közben. Azok a pilóták akik nem szunyókálhattak, tehát fáradtabbak voltak, sokkal több mikro-megalvást produkáltak (összesen átlagosan 120 mikro-megalvási epizód történt az utolsó 90 percben, ebből 22 alkalommal a leszállási manőver közben is előfordult mikro-megalvás), mint azok a pilóták, akik pihenhettek – stratégiai 40 perces szunyókálások repülés közben – (ebben a csoportban átlagosan 34 mikro-megalvás fordult elő az utolsó 90 percben, és egyetlen egy alkalommal sem fordult elő mikro-megalvás a leszállási fázisban).

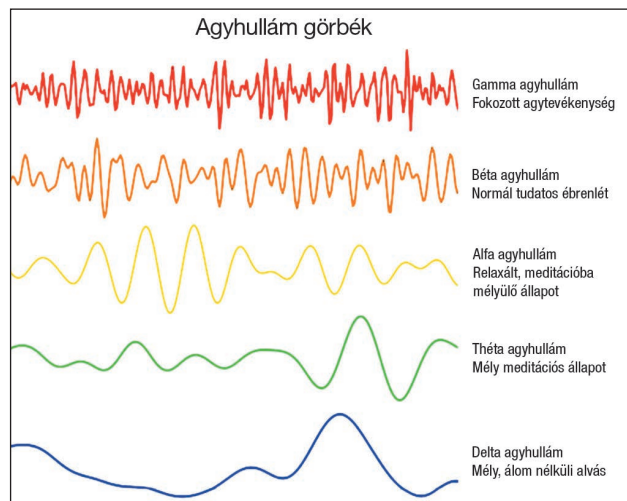
Mint láttuk, a Covid19-fertőzés és a poszt-Covid-szindróma a felgyógyulást és a munkába való visszaállást követően is az esetek mintegy 60%-ában 3 hónappal később, és az esetek 34%-ában még 6 hónappal később is krónikus fáradtságot; valamint kb. 30,8%-ban [30] 3 hónap után, és 21,1%-ban [22] még 6 hónap után is alvászavarokat okozhat, amely a krónikus fáradtságot még tovább ronthatja, így komoly kihívást jelent a repülésbiztonságban kiemelten fontos fáradtságmenedzsment rendszer számára.

A fáradtság régóta ismert és félt humánfaktor-hibaforrás a repülésbiztonságban, amelynek az előfordulását a Covid19 fertőzés jelentősen megnövelheti, azonban ennek mérésére a fáradtságmenedzsment dokumentációjában is többnyire csak önbevallás alapján, szubjektív megítélés szerinti fáradtságskálák és kérdőívek szerepelnek. Ennek a szubjektív megítélésen alapuló rendszernek több buktatója is van, az egyik az, hogy csak igazán ideálisan jól működő, nem büntető jellegű „just-culture” mellett képzelhető el, hogy egy pilóta vagy légi forgalmi irányító, esetleg egy repülőműszaki szakember kijelenti, hogy ő túl fáradt a biztonságos munkavégzéshez. A másik buktatója az, hogy az egyének gyakran nem értékelik reálisan a saját munkavégző képességüket, jellemzően nem érzékelik a fáradtság első jeleit. A mikro-megalvások nem tudatosuló jelei a fáradtságnak. Az egyének legtöbbször nem veszik észre, nem élik meg ezeket a munkavégzőképesség-csökkenéseket, bár rövid ideig tartanak, a repülés különösen veszélyes körülményei között ezek a rövid időszakok is komoly veszéllyel járhatnak anélkül, hogy azt maga a személy észrevenné, és jelenthetné.

Repülésbiztonsági szempontból sokkal biztonságosabb lenne a fáradtság mérése az emberi teljesítőképesség objektív méréseként, érdemes tehát a fáradtság jelenlétének igazolására és mértékének objektív mérésére alkalmas módszert kutatni a Covid19-fertőzés repülésbiztonsági rizikójának csökkentése érdekében.

A BIOSZENZOROK SZEREPE A FÁRADTSÁG MÉRÉSÉNEK LEHETŐSÉGEIBEN

Az agy éberségét, alvás és mikroalvás jelenlétét, legpontosabban a NASA Nap study során is alkalmazott agyhullámdetektálással, EEG (elektroencephalogram) vizsgálattal lehet megállapítani. Az agysejtek működése az elektromos feszültség ingadozásával jár. Az EEG egy noninvaszív vizsgálat, alapja a sok millió agyi idegsejt működése során mérhető feszültség-ingadozás detektálása, az agysejtek aktivitásának vizsgálata. Ehhez olyan elektródák szükségesek, amelyek a hajás fejbőrön is képesek az agyi neuronok elektromos tevékenységét érzékelni, hiszen a 2 elektróda közötti feszültségváltozás képezi az EEG-görbe alapját. Ezek a feszültség-ingadozások jellemezhetők frekvenciával, és ezeknek a frekvenciaváltozásoknak az időbeni regisztrálása és vizuális megjelenítése eredményezi az úgynevezett agyhullámok képét (7. ábra). Minél több elvezetést alkalmazunk, annál pontosabban mérhető fel egy-egy agyte-



7. ábra. Az agyhullámok típusai [31]

rület aktivitása. Éber tudatállapotra a béta tevékenység jellemző (13–30 Hz), a legaktívabb agytevékenység, erős mentális munkavégzés alatt gamma hullám mutatható ki (30–50 Hz), pihenés, elalvás, mélyalvás fázisában pedig fokozatosan csökken az agyhullámok frekvenciája. Az alvás-ébrenlét határát képező alfa hullámok (8–12 Hz) után a gyors szemmozgásokkal járó álmódási szakaszra a théta (4–7,5 Hz) tevékenység, míg a legmélyebb alvási fázisra a delta tevékenység (0,1–3 Hz) jellemző [32] (7. ábra). Az alvás bevezető fázisában, azaz közvetlen elalvás előtt alfa (8–12 Hz) hullámtevékenység jelenik meg az agyműködésben, mondhatni az alfa hullámok az alvás-ébrenlét határát jelzik, így az alfa hullámok detektálása alkalmas az éberségiállapot-csökkenést, az emberi teljesítőképesség elalvás előtti legsérülékenyebb szakaszát kimutatni. Alfa-hullám-tevékenység a relaxált, elcsendesült, nyugodt elmeállapotot tükrözi, éppen azelőtt, amikor az egyén elalszik, tehát az alfa hullámok megjelenése várható minden olyan állapotban is, ahol az emberi agy „kikapcsolni készül”, mert kifáradt és pihenésre van szüksége. Alvásmegvonás, túlterhelés, kifáradás esetén kialakulhatnak az előző fejezetben leírt nem tudatos mikro-megalvások.

Több tanulmány vizsgálta a mikro-megalvások szerepét az autóbalesetekben hosszabb, monoton útszakaszokon, vagy alvásmegvonás után. Mivel nem minden esetben jár együtt a szemhéjak lecsukódásával – akár nyitott szemmel is előfordulhat –, így egyes újabb autók, kamionok biztonsági rendszereként pl. a visszapillantó tükörbe épített szemmozgás-szenzorok nem biztos, hogy minden alkalommal érzékelik a fáradtságnak ezt a kezdeti jelét. Sokkal biztonságosabb az éberségi állapot csökkenését agyhullámok detektálásával (EEG) monitorozni.

A korábban említett NASA Nap study 1994-ben történt. Az akkori EEG-készülékek még robusztus, sok és hosszú vezetékrendszerekkel felszerelt elektródákat használtak, a viszonylag nagy helyigényű jelfeldolgozó egységek miatt a fedélzeten csak a jeleket rögzítették, a jelfeldolgozás utólag valósult meg. Ma már sokkal fejlettebb szenzortechnológiák léteznek, a jelfeldolgozó rendszerek is modernebb, kisebb helyigényű és nagyobb kapacitású eszközök. Napjainkban egyre elterjedtebbek az emberi szervezet számos funkcióját észlelni képes, méretükben egyre kisebb bioszenzorok, és az adattárolás, jeltovábbítás, jelfeldolgozás technológiájában és képességeiben is rohamos fejlődés látható. Számos a mindennapokban is hordható „wearables” bioszenzor-technológia jelent meg, elsősor-

ban a fogyasztói piacot célozva, kiváltképp sporttevékenység, relaxációs módszerhatékonyság, vagy alvásminőség ellenőrzése céljából.

Számos példa látható a bioszenzor technológiák katonai-, taktikai felhasználására is [34], mind a klasszikus wearable (óra, fül dugó stb.) kivételben, mind a bioszenzorok egyik legmodernebb technológiájaként, a smart cloth (okos ruha) technológia formájában. Repülési környezetben a teljesítmőképesség mérésére alkalmas bioszenzorok felhasználására hazai kutatásban és eszközfejlesztésben is volt már példa (lásd: a TAGUÁN élettani paramétereket és környezeti tényezőket mérő műszer [36], illetve a Nemzeti Közszolgálati Egyetem és a RAVGYI közös kutatása az Aviation Human alprojekt keretében: barokamrában, virtuális valóság technológiával egybekötött, szimulált repülés közben mért szívfrekvencia variabilitás, agyi vérátáramlás-, perifériás oxigén- és kilélegzett széndioxid-szintmérés [37]). Ezeket a kutatásokat az alanyra erősített szenzorokkal végezték. Az ennél praktikusabb, és a valós repülésben is jobban alkalmazható smart cloth technológia lényege, hogy a bioszenzorokat a méretbeli csökkenésnek és a vezeték nélküli adattovábbítási képességnek köszönhetően textilbe – a megfelelő kontakt érdekében jellemzően alsóruházatba, alöltözők anyagába – integrálják, amelyek ily módon képesek többek között a katonai szenzorok által mért életjelenségei alapján információt szolgáltatni a katonára stressz-szintjéről és egészségi állapotának stabilitásáról. Egyes beépíthető bioszenzorok képesek lehetnek akár a környezeti veszélyforrásokat (pl. vegyi, biológiai, nukleáris veszélyt), vírusokat, extrém külső hőmérsékletet vagy légnomást is detektálni. Sérülés esetén például a szívritmus, a vérnyomás, a légzésszám alapján pontosabb adatokat biztosíthatnak a sérült egészségi állapotáról – ezek az adatok jól korrelálnak a sérülés súlyosságával, és akár pontos GPS-koordinátákat is szolgáltathatnak. A bioszenzor-technológiák a szokásos katonai jelentések tartalmán túl, akár távolabbi elhelyezkedésű egészségügyi kiűrtő központokkal is kommunikálhatnak, amely nagyban segítheti, gyorsíthatja és hatékonyabbá teheti az életmentésre helyszínre küldött erők megszervezését.

A piacon elérhető wearable bioszenzor eszközök, típusától függően általában alkalmasak a sportteljesítmény mérésre mellett (lépésszám, megtett táv, elégetett kalória stb.), az alapvető életjelenségek (pulzus, vérnyomás, perifériás oxigénszint, légzésszám, testhőmérséklet, bizonyos modellek esetében EKG-jelek) észlelésére is, azonban mindegyik gyártó kiemeli, hogy orvosi diagnosztikus célokra az eszköz nem felel meg, az eszközt viselő számára mutatott jelfeldolgozás (elemzés) eredménye nem orvosi diagnózis, csak tájékoztató jellegű adat.

Ma már létezik bioszenzor technológia az agyhullámok észlelésére is, szintén főképp a konzumer piacot célozva, alapvetően a jobb életminőséget segítve a relaxációs, stresszoldó módszerek hatékonyságának növeléséhez, illetve ehhez kapcsolódóan az alvásminőség monitorizálásához. Ezeket az EEG-szenzorokat természetesen a mindennapi kényelmes használatra tervezték, így már messze nem olyan robusztus apparátussal működnek, mint az orvostudományban használt klasszikus EEG-gépek, bár a könnyítések miatt az információ-értékük is korlátozottabb. Jellemzően korlátozott számú elvezetéssel rendelkeznek, és a kialakítás korlátai miatt legtöbbször csak bizonyos agyterületekről biztosít elvezetést. Az EEG-elektrodák kihívása, hogy a hajás fejbőrön is helyben maradjanak, és megfelelő minőségű jelet detektáljanak (ehhez eleinte jelátvivő közegre, géltre, majd vizes alapú elektrodára volt szükség, napjainkban már elterjedt a száraz elektroda használata is,

bár ez esetben érdemes figyelni a jel minőségére, amely gyengülhet a transzmitter közeg hiányában). A mindennapi tevékenységek közötti aktív felhasználás miatt egyrészt fontos, hogy az elektrodák a helyükön maradjanak, de fontos a jelek zajszintjének csökkentése is és annak technikai megoldása, hogy akár alváshoz is kényelmesek legyenek. Az EEG-jelek tárolására létezik beépített adattároló kapacitás utólagos jelfeldolgozást biztosítva, és létezik vezeték nélküli adattovábbítás is, egy különálló (már jóval kisebb) adattároló és jelfeldolgozó apparátushoz. A legmodernebb EEG-bioszenzorok már nemcsak száraz elektrodákkal dolgoznak (nincs szükség kellemetlen és kényelmetlen nedves közegre az elektrodák alatt), de Bluetooth-technológiával, vezeték nélküli kapcsolaton keresztül is képesek adatot továbbítani, a jelfeldolgozó szoftver pedig már egyszerű mobil applikáció formájában is létezik. Ez utóbbi installáció az alvásminőség ellenőrzésre és stresszoldás, relaxációs módszer hatékonyságának javítását célzó EEG-szenzor technológiában jelent meg annak érdekében, hogy az EEG-hullámok jeleinek értékelését egy felhasználóbarát, egyszerű, közérthető és könnyen elérhető platformra tegye. A jelfeldolgozó és kiértékelő szoftver figyeli az agyhullám tevékenységben beálló változásokat, észleli többek között az alfa és/vagy théta hullámok megjelenését, és ezáltal ad visszajelzést a felhasználónak, hogy az alkalmazott relaxációs módszerrel valóban sikerült-e pihennie. Az alvásminőséget értékelő EEG-szenzoroszközök az agyhullámok változásaiból a felületes alváásra jellemző alfa hullámot, a REM-mozgások (rapid eye movement – gyors szemmozgás) alvászajására jellemző théta hullámot és a mélyalváásra jellemző delta hullámok előfordulását, ezek ciklikus változásainak az alvási ciklusoknak a számát és hosszát mérve adnak visszajelzést az alvás minőségéről.

Az EEG-BIOSZENZOROK FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A REPÜLÉSBIZTONSÁGBAN

Ahogy az előzőekben bemutatott vizsgálatokból kiderült, a fáradtság jól ismert, komoly repülésbiztonsági kockázatot jelent. A Covid19 fertőzésen átesett személyek döntő többségénél kialakul a fáradtság, amely az esetek nagy részében krónikus fáradtsággá, fáradékonysággá alakulva akár 3 hónappal (az esetek kb. 60%-ában), vagy akár 6 hónappal a fertőzés után is (az esetek kb. 34%-ában) jelen van [19], jelentősen fokozva a humánfaktor hibalehetőségét. A legobjektívabb mérési módja a fáradtság okozta

8. ábra. Emotiv EPOC X EEG-szenzor [39]



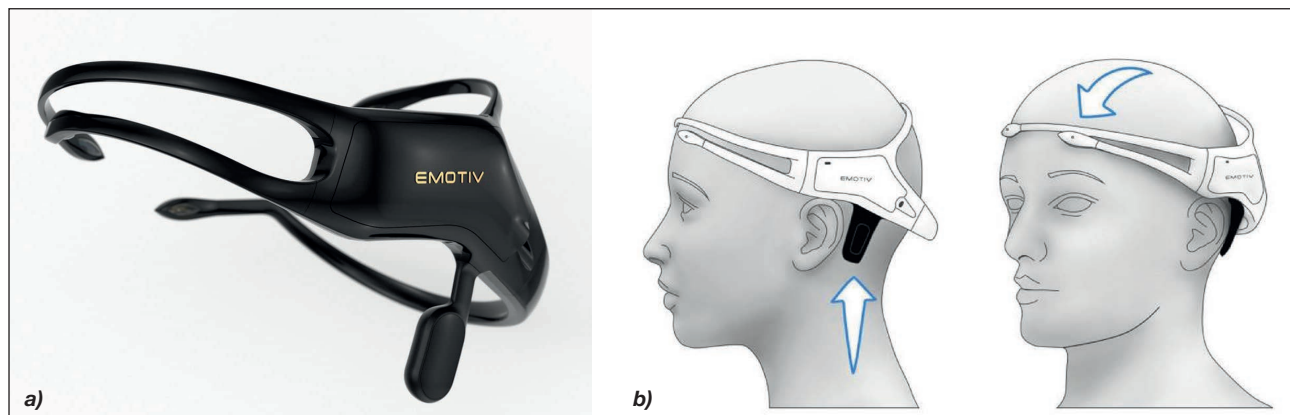
2. táblázat. A jelenleg elérhető EEG-bioszenzorok összehasonlítása (A szerző szerkesztése)

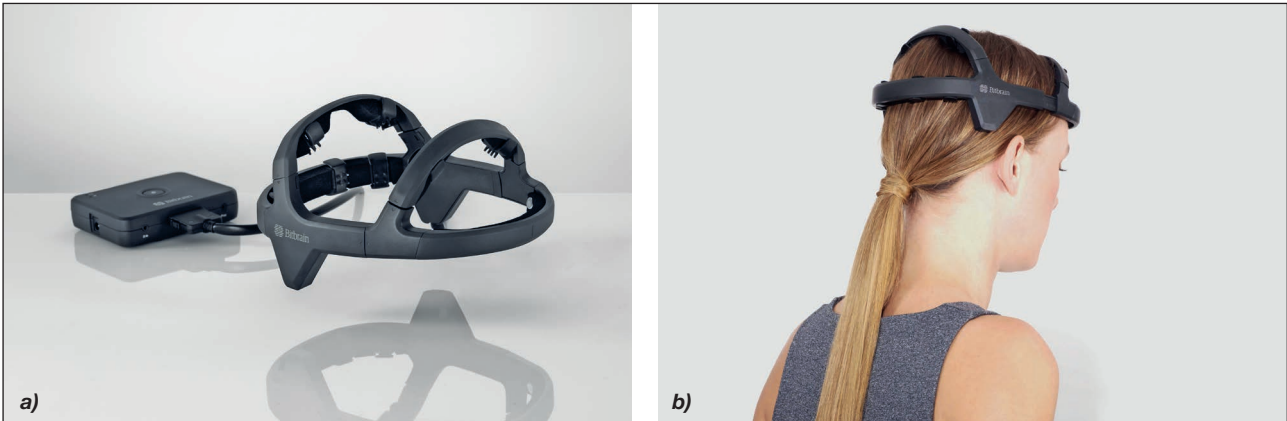
| Típus | Elvezetések száma, iránya | Kialakítás | Szoftver és adatkapcsolat | Üzemidő (óra) | Megjegyzés |
|---|--------------------------------------|--|--|---------------|--|
| Mindwave headset 2, NeuroSky EEG | 1 | Fejpánt | Szoftver | 6-8 | Kevés elvezetésszám |
| iMotion EEG | Több elvezetés, de csak homlok | Fejpánt + vezeték | Szoftver | nincs adat | Kényelmetlen |
| Emotiv EPOC X | 14 | Fejhallgató jellegű + rugalmas elektróda karok | Szoftver / Bluetooth | 9 | Nedves elektróda, drága |
| Emotiv Insight 2 | 5 | Fejpánt | Szoftver / Bluetooth | 20 | Félszáraz elektróda, drága |
| Emotiv earbuds MN8 | 2 | Füldugó-kialakítás | Szoftver / Bluetooth | 6 | Stressz és figyelemcsökkenés monitorozásra, de alfa hullám elemzésére nem jó |
| MUSE 2 fejpánt MUSE S rugalmas fejpánt | Nincs adat (frontális és parietális) | Fejpánt | Szoftver / Bluetooth | 5 | Alvás és relaxáció megfigyelésére, drága, EEG-analízisre nem alkalmas |
| Diadem EEG BitBrain | 12 (4 régió) | Fejpánt + keresztpántok | Szoftver / 10 m hatótávú Bluetooth és Micro SD | 8 | Száraz elektróda |
| AIR Bitbrain | 8 (frontális és nyakszirti) | Fejpánt | Szoftver / Bluetooth | 8 | |
| HERO BitBrain | 9 (nincs nyakszirti) | Fejpánt + keresztpántok | Szoftver / Bluetooth | 3 | |

munkavégzőképesség-csökkenésnek az éberség mérésére alkalmas EEG-hullámok (agyi tevékenység) detektálása, a fáradtság miatt az éberség csökkenésekor megjelenő alfa és/vagy théta agyhullámok detektálása. Erre jelenleg nincs a repülési környezettel kompatibilis bioszenzor-technológia, mivel a napjainkban elérhető EEG-bioszenzor műszerek lakossági piacra szánt (konzumer) eszközök, amelyek jelen kivételükben nem felelnek meg a repülési környezetben történő alkalmazásra. A katonai (repülési) környezetben leginkább alkalmas smart cloth technológiában EEG-szenzor még nem létezik, a felkutatott EEG-bioszenzor eszközök nem kompatibilisek a repülésben használt ergonómiai, informatikai és információbiztonsági feltételekkel (2. táblázat).

A manapság elérhető EEG-bioszenzorok között is akad olyan – pl. az Emotiv EPOC X (8. ábra), az Emotiv Insight 2 (9. ábra), vagy a BitBrain Diadem (10. ábra) –, amely akár kutatásban való felhasználásra is alkalmas lehet a repülésben dolgozók munkakörnyezetének figyelembevételével, bizonyos csoportok körében. Leginkább a légiforgalmi irányítók vagy a földi műszaki kiszolgáló személyek esetében (8–12 órás műszak, jelentős monotóniaveszély és fokozott sérülékenység a fáradtság okozta teljesítmény-romlás miatt bekövetkező humánfaktor-hibára), azonban e műszerek maximum a kutatási hipotézisek vizsgálatához használhatók, és semmiképp sem a kutatás egyik céljaként kitűzött, a repülési környezettel kompatibilis EEG-bioszenzor-technológia kialakításához. Ezek az eszközök

9. ábra. Emotiv Insight 2 EEG-szenzor a), az eszköz felhelyezése b) [39]





10. ábra. BitBrain Diadem EEG-szenzor [40]

rendszeres használatra nem megfelelőek, sem repülés közbeni alkalmazásra, mivel egyik modell mérete sem elég kicsi, nem elég kényelmes, és nem kompatibilis sem a repülési környezet ergonómiájával, sem a repülőtechnikákban jelenleg használt adattovábbítási rendszerekkel.

A repülési környezetben is alkalmazható EEG-bioszenzor-technológiával szemben támasztott alapkövetelmények:

- minimum 3 (frontalis, parietalis, occipitalis régió), de ideálisabb esetben 4 elvezetés (a felsoroltakon túl temporális régió);
- száraz elektródák használata;
- minőségi EEG-jel (kiemelten fontos a zajszűrés a repülési környezetre jellemző zaj és vibráció, valamint a dinamikus mozgások mellett);
- stabilan a helyén marad az elektróda a hajás fejbőrön is (fontos, hogy a nagy gravitációs hatások, gyorsulások közben is a helyén maradjon);
- ergonómiailag megfelelően a jelenleg használt eszközök mellett, további terhelés nélkül (sisak, illetve rádiókommunikációs eszközök, látásjavító eszközök használata mellett is kényelmes legyen hosszabb viselés mellett is);
- megfelelő energiaforrás (repülésben történő használatra is megfelelő, hőmérsékleti és légnyomásváltozásoknak ellenálló, öngyulladásra nem hajlamos, nem tűzveszélyes);
- vezeték nélküli adattovábbítási lehetőség a repülőtechnikával kompatibilis, vagy annak hiányában megfelelő adattárolási kapacitás utólagos jelfeldolgozás esetén;
- adattovábbítás esetén az egészségügyi adatok védelmének biztosítása;
- megfelelő szoftver az EEG-jelek elemzésére, az alfa és/vagy theta hullámok (mikro-megalvások) kiszűrésére, azok gyakoriságának detektálására, így az éberségi szint csökkenésének észlelésére és ideális esetben jelzésére (figyelmeztetés az éberségi szint kritikus csökkenése előtt, megelőzni a cselekvőképtelen állapot kialakulását).

Ezeknek a követelményeknek leginkább egy sisakba építhető, vagy sisak alatt hordható smart cloth technológia felelhet meg a repülésben, megfelelő szoftver és adattovábbítás, feldolgozás mellett, jelenleg azonban nem található smart cloth technológiában EEG-bioszenzor.

ÖSSZEZÉS

A Covid19-fertőzés szövdményei hosszabb távon is befolyásolhatják az emberi teljesítőképességet, jelentős humánfaktor-hibaforrás rizikót jelenthetnek a repülésben is.

A jelen kutatás eddigi eredményei igazolták, hogy a poszt-Covid-fáradtság jelentősen rontja a fizikai erőnlétet még 2 hónappal a fertőzés után is a repülőorvosi alkalmasságvizsgálatra kötelezett – a polgári repülésben dolgozókhöz képest egészségesebb és szigorúbban szűrt – populációban is. A fertőzést követően hosszabb távon fennálló long-Covid szindróma repülőorvosi jelentőségét vizsgáló tanulmányokban a szerzők kiemelik a fáradtság, a gyengeség, a légzésfunkció, valamint az idegrendszer érintő esetleges szövdmények (depresszió, szorongásos zavarok) kedvezőtlen hatását a pilóták repülés közbeni teljesítőképességére, amelyek kapcsán – a Covid fertőzésen átesett pilóták repülőorvosi alkalmasságvizsgálata során – fokozott figyelmet, és szükség esetén kiegészítő vizsgálatok elvégzését javasolják [35]. A kutatásomban vizsgált repülésbiztonsági rizikót jelentő poszt-Covid-tünetek okozta kockázat csökkenése érdekében, kiemelten a fáradtság tekintetében, szükség lenne egy objektív mérési módszer, illetve eszköz kifejlesztésére, mivel jelenleg erre alkalmas bioszenzor-technológia nem elérhető. Az ember élettani jelenségeit monitorizáló bioszenzorok katonai, sőt katonai repülésben történő felhasználására létezik példa hazai fejlesztésű eszköz és kutatás terén is. 2005-ben publikálták a magyar fejlesztésű TAGUAN mérőműszer használatát valós repülés közben is, ami EKG, galvanikus bőrellenállás, bőrhőmérséklet, légzésszám, valamint környezeti faktorok – úgymint kabinyomás, kabinhőmérséklet, gyorsulási és gravitációs terhelések, sebesség, repülési magasság, a bedöntési és a bólintási szög rögzítés – segítségével vizsgálni képes a pilótára ható erők élettani hatását az emberi teljesítőképességre [36]. Hazai bioszenzorokkal végzett kutatási projektek terén jó példa a 2020-ban, a Haditechnika folyóiratban közzétett NKE GINOP pályázat keretében, az Aviation Human alprojekt kutatása, amelynek célja az ember fizikai és mentális teljesítőképességének monitorizálása és tanulmányozása hypobáriás hypoxia (barokamrai) körülmények között virtuális valóság (VR) technikával egybekötött repülési szimuláció, és valós repülés során. Ez a kutatás a bioszenzorok köréből a stressz mérésére alkalmas szívfrekvencia-variabilitás (Heart Rate Variability, HRV), perifériás oxigénszint, kilélegzett széndioxid szint és agyi vérkeringés mérésére alkalmas közel infravörös szenzorral (near infrared sensor – NIRS) dolgozott. [37] Ezekben a hazai fejlesztésekben és a tanulmányban áttekintett nemzetközi projektekben sem szerepel EEG-bioszenzor használata az emberi teljesítőképesség, éberség vizsgálatára, azonban a bioszenzorok miniatürizálásának és minőségének tendenciáit figyelembe véve lehetségesnek tartom akár a sisakba épített, akár a smart



cloth technológiának a megvalósítását EEG-jelek érzékelésében is, megfelelő kutatás-fejlesztési források és ipari partnerek bevonásával. További kihívást jelent majd sikeres fejlesztés esetén annak légi alkalmazhatóságát minősíteni, és tömeggyártásra alkalmas áron történő előállításí módját biztosítani. Ez a célkitűzés jól illeszkedhet a Magyar Honvédség egyik kiemelt kutatás-fejlesztési iránya, a Digitális Katona program témakörébe. A bioszenzor-technológia jelentőségét nem csupán a Covid19-fertőzés és a poszt-Covid-szövődmények kapcsán érdemes megfontolni a repülésbiztonság javítása érdekében, hanem a fáradtságmenedzsment szerves részeként, minden egyéb humánfaktor-hibára hajlamos munkakörben a fáradtság okozta rizikó csökkentése érdekében, nem csupán a repülésben, hanem minden más, fokozott munkaterheléssel járó és fokozott figyelmet igénylő munkakörben is.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [26] Dawson, D., Reid, K. Fatigue, alcohol and performance impairment, *Nature* (1997) pp. 388–235.;
- [27] ICAO Doc 9859 Safety Management Manual, fourth Edition, 2018 <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/5863.pdf> (Letöltés: 2022.11.18.);
- [28] ICAO Doc 9966 Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches, Second Edition, version 2 (revised) 2020 <https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/Pages/Resources.aspx> (Letöltés: 2022.11.16.);
- [29] Rosenkind et al: The NASA NAP study, NASA Technical Memorandum 108839, July 1994. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19950006379/downloads/19950006379.pdf> (Letöltés 2022.11.17.);
- [30] Garrigues, E., Janvier, P., Kherabi, Y., et al. Post-discharge persistent symptoms and health-related quality of life after hospitalization for COVID-19. *J Infect.* 81(6) (2020):e4–e6. doi:10.1016/j.jinf.2020.08.029;
- [31] Az agyhullámok típusai (forrás: <https://agytantura.health.blog/2018/03/09/adhd-es-a-neurofeedback/>) (Letöltés 2022.11.17.);
- [32] Kéri Sz., Gulyás B. Elektrofiziológiai módszerek a kognitív idegtudományban, In Pléh Cs., Kovács Gy., Gulyás B. (szerk.) *Kognitív idegtudomány*, Osiris Budapest, 2003., pp. 81–98.;
- [33] Guillemainault, Christian, Billiard, Michel, Montplaisir, Jacques, Dement, William C. Altered states of consciousness in disorders of daytime sleepiness, *Journal of the Neurological Sciences, Volume 26, Issue 3*, (1975) pp. 377–393, ISSN 0022-510X, https://docksci.com/altered-states-of-consciousness-in-disorders-of-daytime-sleepiness_5e5ce5eb097c4765508b45a2.html (Letöltés: 2022.11.17.);
- [34] Irad: The future of smart tactical clothing forrás: <https://xmetix.com/the-future-of-smart-tactical-clothing/> (Letöltés: 2022.11.16.);
- [35] Ko, S.Y., Nguyen, N.K., Lee, C.L., Lee, L.A., Nguyen, K.U.T., Lee, E.C. Aeromedical Implications of Long-Term COVID-19 Sequelae. *Aerosp Med Hum Perform.* 2021 Nov 1;92(11):898-907. doi: 10.3357/AMHP.5928.2021. PMID: 34819216.
- [36] Grósz A., Szabó S. A., Vigh Z., „Adatfeldolgozó rendszer a pilóták fiziológiai állapotának vizsgálatára”, *Haditechnika XXXIX. évf. január-február* (2005): 2–6;
- [37] Domján K., Vada G., „Katonai pilóták élettani paramétereinek monitorozása szimulált repülési körülmények között”, *Haditechnika LIV. évf. 3.* (2020): 2–7. DOI:10.23713/HT.54.3.01;
- [38] Forrás: NASA Ames Research Center - Human Systems Integration Division, Public domain, via Wikimedia Commons https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bf/Human_fatigue_study.jpg (Letöltés: 2023.1.18.);
- [39] Forrás: <https://www.emotiv.com> (Letöltés: 2023.1.18.);
- [40] Forrás: <https://www.bitbrain.com/neurotechnology-products/dry-eeeg> (Letöltés: 2023.1.18.).

HM ZRÍNYI TÉRKÉPÉSZETI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS SZOLGÁLTATÓ KÖZHASZNÚ NKFT.

1024 Budapest II., Szilágyi Erzsébet fasor 7–9. • ✉ Postacím: 1276 Budapest 22, Pf. 85 • www.hmzrinyi.hu



- Topográfiai térképek
- Faksimile térképek
- Atlaszok, város- és autótérképek
- Falitérképek
- Szabadidőtérképek
- Légiforgalmi térképek
- Munkatérképek
- Dombortérképek
- Digitális térképészeti adatbázisok
- Légifilmtári szolgáltatások

• PrePress – Nyomdai előkészítés

- szöveg-, grafika- és képfeldolgozás, kiadványszerkesztés
- ellenőrző nyomatok, digitális proofok előállítása
- bel- és kültéri tablók, bannerek nyomtatása
- hagyományos és elektronikus montírozás, színrebotás
- nyomóformák előállítása nyomdai filmről, illetve CTP-technológiával

• Gyorsokszorosítás

- színes és fekete-fehér másolás/nyomtatás 330 x 487 mm méretig

• Press – Nyomtatás

- ofszetnyomtatás négy-, illetve hatszínnyomó gépeken, 89 x 126 cm méretig

• PostPress – Kötészeti feldolgozás

- felületnemesítés fóliázással, laminálással 167 cm szélességig
- hajtogatás, spirálozás, sorszámozás
- összehordás, irkakészítés, ragasztókötés
- kasírozás, táblakészítés, aranyozás
- szortiment könyvkötészet
- vákuumformázás
- vákuumformázó szerszámok, terepszaltek előállítása CNC technológiával

KÖNYV- ÉS TÉRKÉPBOLT:

1024 Budapest II., Filler u. 14.

☎ +36 30 388 4034 • E-mail: ugyfelszolgalat@hmzrinyi.hu

<https://shop.hmzrinyi.hu/>

Nyitvatartás: hétfő–péntek 9:00–16:30