

Halmi Lajos

A pilóták és a légiutas-kísérők fiziológiai monitorozása valós időben

Kihívások és lehetőségek

Az utóbbi évtized technológiai fejlődése új lehetőségeket teremtett a pilóták, a légiutas-kísérők, valamint a fedélzeten szakszolgálati tevékenységet ellátó személyzet fiziológiai kondíciójának valós idejű monitorozására. A hordható szenzorok és biometrikus adatelemző berendezések nem kizárólag a személyzet egészségi állapotának nyomon követésében játszanak fundamentális szerepet, hanem a repülésbiztonság növelésében is jelentős potenciállal rendelkeznek. A tanulmány az időben és térben egyaránt hosszú munkavégzés, a repülőgépen fellépő rendkívüli behatások, valamint az oxigénhiányos környezet emberi szervezetre gyakorolt hatásait vizsgálja. A szerző elemzi az intelligens egészségügyi struktúrák repülőgépek fedélzetén történő alkalmazásának lehetőségeit, továbbá az ehhez kapcsolódó kihívásokat. A korszerű infokommunikációs technológiák által generált fiziológiai adatok integrációja javíthatja a döntéshozatali folyamatokat, és hozzájárulhat a repülésbiztonság növeléséhez.

Kulcsszavak: fiziológiai teljesítmény, hordható szenzor, rendkívüli munkakörülmények, repülésbiztonság, biometria

Bevezetés

Az olyan összetett feladatok és küldetések során, amelyek nagy mennyiségű információ időérzékeny körülmények közötti feldolgozását igénylik – például a repülésben részt vevő személyzet, a légi forgalom irányítása (*air traffic management*, ATM), valamint műszaki munkák esetén – az adott feladatot végrehajtó operátoroknak magas szintű automatizációs támogatás nyújtható a működési teljesítmény javítása érdekében. A dinamikusan adaptálható ember-gép interfészek és interakciók (*human-machine interface*, HMI) potenciálisan képesek modulálni a kognitív terhelést, növelve ezzel a döntéstámogató rendszerek autonómiáját (SULISTYAWATI–WICKENS–CHUI 2011). Ennek tudatában érdemes számításba venni a neurofiziológiai monitorozási rendszerek alkalmazását mint az ember-gép interfész adaptációjának katalizátorát.

A leginkább vizsgálható fiziológiai jellemzők az emberi szervezet egészén a következők: agyi aktivitás (például EEG), szív- és légzőrendszeri működés (például EKG, légzésmonitorozás), a szemmozgás és a pupillaméret változása. Emellett az arckifejezések és a hangminták elemzése is értékes információval szolgálhat a repülésben részt vevők kognitív állapotának becslése érdekében. Minden egyes technológia eltérő szintű és minőségű betekintést enged a humán teljesítmény területére, legyen az fizikai vagy mentális státusz, ezáltal különböző mértékben képes befolyásolni, illetve figyelmeztetni a szakembereket (GARDI et al. 2019).

A külső környezet szempontjából egyaránt releváns a különféle berendezések vizsgálata, hiszen egyes érzékelők érzékenyebbek lehetnek például az elektromágneses interferenciára (*electromagnetic interference*, EMI), míg mások a zajra és a rezgésre reagálnak negatívan. Ezek a tények vezettek oda, hogy jelentős kutatási érdeklődés mutatkozik a különböző neurofiziológiai jellemzők és az érzékelőtechnológiák iránt a repülésipari szektorban, többek között a multimodális monitorozás technológiájára, amely több érzékelő kombinálását jelenti a megbízhatóság növelésére. A repülés és a kutatás ezen területe folyamatosan fejlődik, és a jövőben még pontosabb, a repülést kevésbé befolyásoló monitorozási rendszereket vezetnek be a repülés, a repülésirányítás és más kritikus feladatkörökben dolgozók számára (PONGSAKORNSATHIEN et al. 2022).

A pilóták és a légiutas-kísérők fiziológiai terhelése

Számos egészségügyi tényező és fiziológiai hatás tulajdonítható a repülésnek, amelyek közül némelyek jelentéktelennek mondhatók, míg mások olyan fontosak, hogy különös figyelmet igényelnek a repülésbiztonság érdekében. Adott esetekben a fiziológiai tényezők akár vészhelyzeteket is generálhatnak a repülési feladat során, amelyek veszélybe sodorhatják a feladat biztonságos végrehajtását. Azoknak, akik a repülésben és az ahhoz kapcsolódó feladatokban részt vesznek, ismerniük kell az alábbi kulcsfontosságú, biztonságot befolyásoló tényezőket: hypoxia (oxigénhiány), hiperventiláció (túllégzés), középfül- és arcüreggyulladások, térorientációs zavar, szén-monoxid (CO) -mérgezés, stressz és kimerültség, dehidratáció (vízhiány), hőmérséklet okozta terhelés, valamint sugárzás. A felsorolt egészségügyi tényezők közül néhányat bontok ki részletesen, amelyek a fedélzeti munkahelytől függetlenül azonos szinten érintik a repülésben részt vevő teljes állományt (*Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge* 2023).

Középfül- és arcüregproblémák

A repüléssel együtt járó emelkedések és süllyedések során a testüregekben lévő gázok a külső és a belső légnyomás különbsége következtében tágulnak. Abban az esetben, ha a táguló gáz kiáramlása akadályoztatva van, nyomásnövekedés jön létre az érintett területen, amely erős, sok esetben elviselhetetlen fájdalmat okoz. Ezek a következők lehetnek: fülfájás, arcüregi fájdalom, fogfájás, valamint átmeneti halláscsökkenés.

A középfül, ahol gyakran fellépnek nyomáskülönbség okozta rendellenességek, egy kis üreg a koponyacsontban, amelyet a dobhártya választ el a külső fülcsatornától. A külső és a belső környezet közötti nyomáskülönbséget sok esetben az Eustach-kürt egyenlíti ki – más néven fülkürt –, amely egy cső, és az orrüreget a középfüllel köti össze. Fő funkciója a dobüregben lévő nyomáskiegyenlítés, amely lehetővé teszi, hogy a dobhártya két oldalán a nyomás egyenlő legyen. Ezek a csövek általában zárva vannak, de rágás, ásítás vagy nyelés során nyílnak, ezáltal lehetővé válik a nyomáskülönbség kiegyenlítése (SUMMERFIELD et al. 2018).

Hőstressz

A repülőgép fedélzetén dolgozók számára további fiziológiai kihívást jelent a hőstressz. Az emberi szervezet számára a 15–30 °C érték közötti környezeti hőmérséklet a legkényelmesebb, azonban a pilótafülke egyes repülőgéptípusokon jelentősen meghaladhatja ezt a tartományt. Az 1960-as években pilóták arról számoltak be, hogy forró napokon, a kifutón várakozva, a kabin hőmérséklete közel 60 °C-ig emelkedett, jóllehet a korszerű technikai eszközökön a sokféle légcsereelő berendezésnek köszönhetően ez a probléma orvosolható (DORR 2006).

Az izzadságkiválasztás okozta jelenségek tovább ronthatják a helyzetet, mivel növelik a páratartalmat, és üvegházhatás-szerű jelenséget idéznek elő. A legújabb hűtőrendszerek már a páratartalom szabályozásának figyelembevételére is alkalmasak, ezáltal növelve a munkakörnyezet kényelmét. A hőstressz mindamellett nem csupán kényelmetlenséget okoz, a személyzet tagjai nagyobb fáradtságot és csökkent munkateljesítményt tapasztalhatnak szélsőségesen változó hőmérséklet hatására. Ez csökkentheti a teljesítményt, és jelentős biztonsági kockázatot jelent. Bár a technológiai fejlődés csökkentette a hőstressz hatásait, a probléma továbbra is jelen van, és érdemes foglalkozni az ezáltal okozott lehetséges hatások összességével (SHETTY–LAWSON–SHAHNEH 2015).

Sugárzás: természetes és mesterséges forrásokból

A sugárzásnak való kitettség – annak ellenére, hogy nem szembesülünk vele közvetlenül, és nem is érzékeljük – hasonlóképpen ártalmas hatással van az emberi szervezetre. A légkör általában bizonyos szintű védelmet biztosít a Nap és egyéb források, például a kozmikus sugárzás káros behatásaitól, azonban ez a védelem a földfelszínen fejt ki a leghatékonyabb hatást, nem azokban a magasságokban, ahol a repülések zajlanak.

Nagy magasságban lényegében kevesebb légkör védi a legénységet, így a védelem egy része a repülőeszköz struktúrájára hárul, különösen a kabin üvegezése és a sárkányszerkezet rétegei határozzák meg, milyen mértékben képes kiszűrni a sugárzást – ami nem minden esetben kielégítő. Egy tanulmány becslése szerint egy 30 000 láb magasságban 56 percig repülő pilóta ugyanakkora UVA-sugárzásnak van kitéve, mint aki 20 percet tölt szoláriumban (SANLORENZO et al. 2015).

Közismert, hogy a nagy magasságban dolgozók jelentősebb kockázatnak vannak kitéve egyes daganatos betegségekkel szemben, azonban folyamatos egyeztetések folynak arról, hogy ezen megnövekedett kockázat mögött kizárólag a kozmikus sugárzás áll-e. További kérdéseket vet fel, hogy bizonyos esetekben a betegség kialakulásának kockázata növekszik, ugyanakkor a halálozással járó betegség kockázata stagnál (RASLAU et al. 2016). Ez újabb kutatási irányok megnyitásához vezet, azzal a kérdésfelvetéssel, hogy milyen mechanizmuson keresztül idézhet elő klinikai elváltozásokat, ha ilyenek kialakulnak, milyen vizsgálati módszerekkel lehet azokat feltárni, valamint hogy a repülésbiztonsági kockázatok szempontjából milyen mélységű elemzés indokolt a jelenség kapcsán.

Az eszközök tervezésénél a mérnökök teljesen nem képesek kiküszöbölni a kozmikus sugárzásnak való kitettséget a repülési feladatok során, mindazonáltal a nyugdíjkorhatár már magasabb, ami növeli az életpálya során összesített sugárterhelést. Emiatt fontos továbbra is figyelmet fordítani a sugárzás okozta veszélyekre és azok egészségügyi hatásaira, továbbá megoldásokat találni a lehetséges káros hatások enyhítésére (SUMMERFIELD et al. 2018).

A korszerű diagnosztikai eszközök integrációja

A pilóták és a légiutas-kísérők átfogó fiziológiai állapotának nyomon követéséhez olyan komplex, hordozható és feltehetően érintésmentes érzékelőkből álló rendszer



5.1. ábra. A szenzorok lehetséges felhelyezési pontjai az emberi testen

Forrás: a szerző szerkesztése

jelentheti a megoldást, amelyet részben a repülőgép rendszereibe lehet integrálni, részben pedig közvetlenül a repülőszemélyzet számára kell kialakítani. Az érzékelők adatait és információit a dinamikus repülési környezet szélsőséges feltételei mellett is validálni kell, amit olyan többretegű rendszer részeként kell megvalósítani, amely a repülőgép és az életfenntartó rendszerek teljesítményét szimultán figyeli.

Az eszközöknek működniük kell a légnyomás-ingadozások, a G-erők, a rezgések, a hőmérséklet- és páratartalom-változások, az egyéb rendkívüli hatások, valamint a személyzet többretegű felszerelése alatt is. A fiziológiai reakciók bizonyos specifikus stresszorokra laboratóriumi körülmények között – például barokamrában vagy centrifugában – jól vizsgálhatók, ugyanakkor a repülés során jelentkező környezeti, fizikai és pszichológiai hatások teljes spektruma ilyen kontrollált környezetben nem állítható elő.

A legrelevánsabb mérési paraméterek közé tartozik a véroxigénszint, a szöveti oxigenizáció, a hemoglobin, a hemodinamika (véráramlás), a kardiorespiratorikus funkció (az oxigénszállító képesség a vázizomzatba tartós fizikai aktivitás során), az autonóm idegrendszeri aktivitás és az elektrofiziológiai válaszok. Ezek és további fiziológiai mutatók vizsgálatának kombinálásával válunk képessé pontosabban meghatározni a pilóták, a légiutas-kísérők, illetve egyéb szakszolgálati személyek kognitív és funkcionális állapotát. Az 5.1. ábra bemutatja a szenzorok lehetséges felhelyezési pontjait az emberi testen, amelyek optimális elhelyezése kulcsfontosságú a pontos mérések biztosításához.

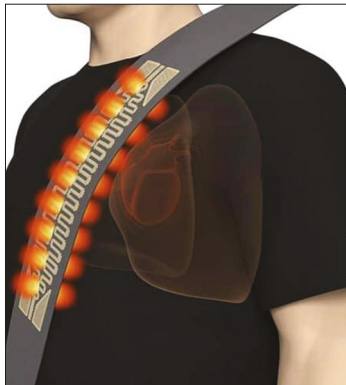
A légi közlekedésben alkalmazható legígéretesebb hordozható érzékelők közé tartozik a pulzoximetria (a vér oxigénszintje mellett a pulzust is méri), a funkcionális közeli infravörös spektroszkópia (*functional near-infrared spectroscopy*, fNIRS – az agyi aktivitást vizsgálja), a légzési gázcseré monitorozása, az elektrokardiogram (EKG) és az elektroencefalogram (EEG). Történtek már szenzoros megfigyelések repülési körülmények között – például az fNIRS segítségével, amellyel egy esetben igazolták az agyi szöveti oxigenizáció csökkenését komplex légi manőverek során (KOBAYASHI–TONG–KIKUKAWA 2002).

Ezek az eszközök azonban alkalmanként hibás adatokat generálnak, ennek eredményeképpen további vizsgálatuk és a mérések lehetséges átgondolása finomhangolhatja a kutatások eredményeit. További kutatások szükségesek annak meghatározásához is, hogy pontosan mely szenzorok kombinációjából állhat össze az optimális, többmódusú fiziológiai monitorozó rendszer, amely minimalizálja a külső zavaró hatásokat, maximalizálja a viselési komfortot, nem akadályozza a vészhelyzeti vagy más eljárások végrehajtását, és a lehető legtöbb releváns adatot biztosítja (SHAW–HARRELL 2023).

A viszonylag újnak számító érintésmentes fiziológiai monitorozórendszerek szintén integrálhatók a katonai és a civil repülésbe, azonban ezek pontossága elmaradhat a hordozható érzékelőkéitől, és speciálisabb felhasználási területtel rendelkeznek. Valószínűsíthető, hogy ezek a berendezések inkább kiegészítik a hordozható érzékelők által gyűjtött adatokat, mintsem helyettesítik azokat. Mivel egyes hordozható érzékelők diszkomfortosak lehetnek a repülőszemélyzet számára, nagy igény várható olyan passzív és diszkrét rendszerekre, amelyek képesek detektálni a személyzet fiziológiájában bekövetkező finom változásokat.

Az érintésmentes rendszerek jellemzően a kardiopulmonális (a szív és a tüdő együttes működése) és a légzési válaszokra koncentrálnak, különösen az öt alapvető életfunkcióra: pulzus, légzési gyakoriság, testhőmérséklet, vérnyomás és oxigénszaturáció (LEONHARDT–LEICHT–TEICHMANN 2018). Emellett egyre gyakrabban integrálnak a meglévő egységekbe videóalapú elemzést (például fej- és testmozgás, arckifejezés), hangvizsgálatot, okulometriát (szemmozgás-nyomonkövetés), ballisztokardiográfiát (a szívverés által előidézett apró mozgások) és hőmérsékleti képelemzést.

Többek között a személyzet megjelenésében és bőrszínében bekövetkező apró változások alapján következtetni lehet a vérkeringésre, a tekintet és a pislogás gyakoriságából pedig a terhelés és a fáradtság mértékére. Az érintésmentes rendszerek integrációjának mértéke függhet a repülőgép kialakításától, a repülési feladat természetétől, valamint a repülésben részt vevők ruházatától és felszerelésétől. Az életfunkciók mérésének pontossága egyénenként is eltérő lehet: szakállal,



5.2. ábra. Övbe épített érintésmentes szenzor

Forrás: a szerző szerkesztése

különböző bőrszínnel vagy fejtakaróval rendelkező személyzetek esetén egyéni kalibrálásra lehet szükség, mivel az általánosított struktúrák nem minden esetben biztosítanak stabil kompatibilitást.

Ezen túlmenően az érintésmentes módszerek sok esetben megnövekedett adatfeldolgozási kapacitást igényelnek, ami növelheti az elemzés idejét – különösen olyan esetekben, amikor a változások minimálisak, és a jel-zaj arány javítása érdekében erősítésre is szükség van (SHAW–HARRELL 2023).

Példa az érintésmentes rendszerekre egy nemrég fejlesztett bioszenzor, amelyet repülőgépek üléseinek biztonsági övébe integráltak, és képes érintés nélkül mérni a légzést és a szívverést. Ez az egység vezetékek vagy közvetlen bőrfelület érintése nélkül, rádióhullámok segítségével érzékeli a kardiopulmonális jeleket. Ezenfelül a repülőgép kabinjának szimulált környezetében is stabil működést figyeltek meg a berendezésen. Ez a technológia különösen hasznos a pilóták, a légiutas-kísérők vagy az utasok egészségügyi állapotának és éberségének folyamatos monitorozására (JAMWAL 2024). Az 5.2. ábra az övbe épített érintésmentes szenzor felépítését mutatja be.

Bioszenzorok alkalmazása a katonai műveletekben

Az aktuális földi támogatóegységek lehetővé teszik összetett tervezési tevékenységek végrehajtását valamennyi bevetés előtt, az egyes repülőeszközöktől

a kötelékig akár kiterjedt földrajzi területeket lefedve. Ennek eredményeként valószínűsíthető, hogy a jövőbeni repülőgéprendszerekben – és általában a jövő védelmi rendszereiben – a földi támogató rendszerek figyelembe veszik az emberi tényezőt, azon belül is az egészségi és stresszszintet az egyén szintjén. Ez lehetővé teszi a fedélzeten dolgozók aktuális kondíciójának értékelését és validálását pszichofizikai állapotuk alapján.

A biometrikus szenzorok képezhetik ennek az előremutató területnek az alapját, jöllehet ezeket szükséges kiegészíteni olyan szintű földi támogatási réteggel, amely a bevetésen részt vevő személyzet egészségügyi adatainak gyűjtését és értelmezését szolgálja ki. Ez a szint jelentheti azt a hiányzó láncszemet, amely lehetővé teszi a földi támogatóstruktúrák számára, hogy az összes olyan tényezőt figyelembe vegyék a bevetés megtervezése során, amely hozzájárul a katonai tevékenység sikeréhez. Ezek a következők: a repülőszemélyzet testéről származó bioszenzor-adatok, a katonai járművek szenzorainak információi, valamint az egészségügyi és az általános stresszre vonatkozó adatok.

Mindezen információk és a berendezések által képzett rendszer segítségével képessé válunk észlelni, amikor egy pilóta vagy földi kezelő a veszélyes szintű túlterhelés, stressz, kimerültség, fizikai vagy mentális kimerülés, illetve alvás-megvonás állapotába kerül, így lehetőség nyílik a parancsnokoknak korrekciós lépéseket tenni, lehetővé téve ezzel a korai beavatkozást. A bioszenzor fedélzeti integrációja a repülő- és egyéb rendszerekben főleg taktikai (egyéni harci eszköz) és operatív (magasabb szervezeti egység) szinten jelentős, míg stratégiai szinten a hangsúly az információs és a felhőrendszerekből származó adatok kezelésén van. A légi alkalmazások esetében kritikus szempont a költség, a méret, a tömeg és az energiafogyasztás, különösen katonai repülőgépek esetén.

A bioszenzor-hálózatok új koncepcióként jelentek meg a tudományban: hordozható és implantálható érzékelőkből álló hálózati struktúrák, amelyek képesek biológiai, pszichológiai és kémiai információkat mérni, digitális adatokká alakítani – és ami fundamentális, valós idejű visszajelzést nyújtani a katonák egészségi állapotáról és teljesítményéről. Ezek a hálózatok folyamatos monitorozást tesznek lehetővé a fedélzeti és egyéb rendszerekben, elősegítve a katona vészhelyzetének korai felismerését és egészségvédelmét.

Egy példa az intelligens sisakoké, amelyek valós időben képesek EEG-jeleket mérni, ezzel a pilóták kimerültségének felismerésében segíthetnek. A 2010-es évek közepétől láthatunk példákat ezekre a technológiákra, amelyek hordozható bioszenzor beépítését teszik lehetővé a pilótasisakba, valós időben jelentve az oxigénszintet, a véráramlást és a pulzust. A rendszer riaszt, ha a pilótát az

eszméletvesztés veszélye fenyegeti, akár nagy G-erő-hatású manőverek során, továbbá hypoxia vagy egyéb egészségügyi krízis jeleinél a sisak kijelzőjén és a repülőgép fedélzeti műszerein figyelmeztetés jelenik meg.

Ha a repülőgép-vezető nem reagál, vagy eszméletét veszti, a fedélzeti számítógép átvesszi az irányítást, és robotpilóta-üzemmódba kapcsol. Ez a technológia különösen fontos a korszerű és számítógép-alapú manőverezőrendszerek korában, ahol a pilótának nem mindig van ideje reagálni. A bioszenzor-hálózatok nemcsak konvencionális platformokhoz, hanem parancsnoki-irányítási hálózatokhoz is csatlakoztathatók – légi és tengeri műveletek esetében internetes felhőalapú kommunikációval, szárazföldi hadműveletek esetében pedig további vezeték nélküli rendszerek kapcsolatával. Ezeknek a rendszereknek teherbírónak, széles körben alkalmazhatónak, hibatűrőnek és költséghatékonynak kell lenniük (ALBERTONI–SORVILLO 2024).

Összegzés

A tanulmány központi kérdése, hogy a korszerű neurofiziológiai és biometrikus eszközök hogyan alkalmazhatók a pilóták, a légiutas-kísérők és a fedélzeti szakszolgálati személyzet valós idejű fiziológiai állapotának monitorozására a repülésbiztonság javítása érdekében. Rávilágítottam, hogy a fejlett hordozható és érintésmentes szenzorok – például EEG, EKG, pulzoximetria, infravörös spektroszkópia – milyen információkat képesek szolgáltatni a humán teljesítményről és kognitív állapotról. Választ kaptunk arra is, hogy az ember-gép interfészek (HMI) dinamikus adaptációja és a multimodális megfigyelés növelheti a döntéshozatali folyamatok megbízhatóságát.

Látható volt, hogy a repülés közben fellépő jelentős fiziológiai kihívások – a hypoxia, a hiperventiláció, a középfül- és arcüregproblémák, a stressz, a kimerültség, a hőstressz és a sugárzás hatásai – mind fontos tényezők, amelyek ronthatják a személyzet teljesítményét. E tényezők korai detektálása alapvető a repülésbiztonság fenntartása szempontjából, hiszen a megelőző intézkedések lehetővé teszik a személyzet aktuális kognitív és fizikai állapotának optimalizálását.

A kutatás kiemelte a korszerű diagnosztikai eszközök integrációjának technikai és gyakorlati kihívásait. A repülési környezet extrém paraméterei – mint a G-erők, a rezgések, a hőmérséklet-ingadozások és az elektromágneses interferencia – jelentős hatással lehetnek a szenzorok megbízhatóságára, éppen ezért az ideális monitorozórendszernek egyszerre kell pontosnak, diszkrétnek és kényelmesnek

lennie, miközben nem akadályozza a repülési tevékenységet. Ezen célok elérése érdekében további kutatások szükségesek a szenzorok és az adatfeldolgozó algoritmusok optimalizálásában.

A katonai alkalmazások szempontjából a bioszenzor-hálózatok fejlesztésére külön figyelmet kell fordítani, például az intelligens sisakok vizsgálatával, amelyekben a beépített szenzorok lehetőséget kínálnak a pilóták állapotának valós idejű követésére és az automatikus beavatkozásra vészhelyzetek esetén. Ezek a technológiák nemcsak a személyzet egyéni védelmét szolgálják, hanem hozzájárulnak a missziók sikerességéhez és a parancsnoki döntéshozatali folyamatok megalapozásához is.

Összegezve: a tanulmány rámutat arra, hogy a fiziológiai és neurofiziológiai állapot valós idejű követése elengedhetetlen elemévé válik a jövő repülési rendszereinek – mind a polgári, mind a katonai alkalmazások területén. A folyamatos technológiai fejlődés révén egyre pontosabb és szélesebb körben alkalmazható rendszerek jelennek meg, amelyek hozzájárulnak a repülésbiztonság további növeléséhez, miközben csökkentik a humán tényezők által okozott kockázatokat.

REAL-TIME PHYSIOLOGICAL MONITORING OF PILOTS AND CABIN CREW: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Recent technological advancements have created new opportunities for real-time monitoring of the physiological condition of pilots, cabin crew, and other personnel performing operational duties on board aircraft. Wearable sensors and biometric data analysis devices play a fundamental role not only in tracking crew health status but also possess significant potential for enhancing flight safety. This study examines the effects of prolonged duty periods in both temporal and spatial dimensions, extraordinary in-flight stressors, and hypoxic environments on the human body. The potential applications of intelligent health monitoring systems on board aircraft are analyzed, along with the associated challenges. The integration of physiological data generated by modern infocommunications technologies can improve decision-making processes and contribute to enhanced flight safety.

Keywords: *physiological performance, wearable sensors, extraordinary working conditions, flight safety, biometrics*

Felhasznált irodalom

- ALBERTONI, Alessandro – SORVILLO, Riccardo (2024): Sensors and Cognitive Support for Pilot Health and Performance Assessment. In *2024 IEEE International Humanitarian Technologies Conference (IHTC)*. Bari: IEEE, 1–5. Online: <https://doi.org/10.1109/IHTC61819.2024.10855007>
- DORR, Robert F. (2006): *Air Combat. An Oral History of Fighter Pilots*. New York: Berkley Books.
- JAMWAL, Tanya (2024): Contactless Biosensor For Instant Physiological Monitoring. *Electronics For You*, 2024. november 18. Online: <https://www.electronicsforu.com/news/contactless-bio-sensor-for-instant-physiological-monitoring>
- KOBAYASHI, A. – TONG, Andrew – KIKUKAWA, Azusa (2002): Pilot Cerebral Oxygen Status During Air-to-Air Combat Maneuvering. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 73(9), 919–924.
- LEONHARDT, Steffen – LEICHT, Lennart – TEICHMANN, Daniel (2018): Unobtrusive Vital Sign Monitoring in Automotive Environments—A Review. *Sensors*, 18(19), 3080. Online: <https://doi.org/10.3390/s18093080>
- Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge* (2023). U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration.
- PONGSAKORNSATHIEN, Nichakorn et al. (2019): Sensor Networks for Aerospace Human-Machine Systems. *Sensors*, 19(16), 3465. Online: <https://doi.org/10.3390/s19163465>
- PONGSAKORNSATHIEN, Nichakorn et al. (2022): Wearable Cardiorespiratory Sensors for Aerospace Applications. *Sensors*, 22(13), 4673. Online: <https://doi.org/10.3390/s22134673>
- RASLAU, David et al. (2016): Prostate Cancer in Pilots. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(6), 565–570. Online: <https://doi.org/10.3357/AMHP.4453.2016>
- SANLORENZO, Martina et al. (2015): The Risk of Melanoma in Airline Pilots and Cabin Crew. *JAMA Dermatology*, 151(1), 51–58. Online: <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2014.1077>
- SHAW, David M. – HARRELL, John W. (2023): Integrating Physiological Monitoring Systems in Military Aviation: A Brief Narrative Review of Its Importance, Opportunities, and Risks. *Ergonomics*, 66(12), 2242–2254. Online: <https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2194592>
- SHETTY, Janardhana – LAWSON, Craig P. – SHAHNEH, Amir Z. (2015): Simulation for Temperature Control of a Military Aircraft Cockpit to Avoid Pilot's Thermal Stress. *CEAS Aeronautical Journal*, 6, 319–333. Online: <https://doi.org/10.1007/s13272-015-0149-0>
- SULISTYAWATI, Ketut – WICKENS, Christopher D. – CHUI, Yoon Ping (2011): Prediction in Situation Awareness: Confidence Bias and Underlying Cognitive Abilities. *The International Journal of Aviation Psychology*, 21(2), 153–174. Online: <https://doi.org/10.1080/10508414.2011.556492>
- SUMMERFIELD, Douglas et al. (2018): Physiologic Challenges to Pilots of Modern High Performance Aircraft. In KUŞHAN, Melih Cemal (szerk.): *Aircraft Technology*. London: IntechOpen, 43–73. Online: <https://doi.org/10.5772/intechopen.75982>

