

Szabó Sándor András

ORVOSBIOLÓGIAI MONITORIZÁLÁS JELENE ÉS JÖVŐJE A KATONAI REPÜLÉSBEN

**(különös tekintettel a stressz okozta
szívfrekvencia variabilitás és agyi vérátáramlás variancia jellemzésére)**

A katonai repülés dinamikus fejlődése, mely a hidegháború lezárásával és az aszimmetrikus hadviselés műveleti igényeinek figyelembevételével ma is töretlen, egyértelműen a humán faktort teszi a repülésbiztonság leggyengébb láncszemévé. A nagy manőverezőképeségű repülőeszközök a magassági és gyorsulási sebességi paraméterek széles tartárok közötti biztosítását is lehetővé teszik, ez viszont együtt jár az emberi cselekvőképesség és élettani tűrőképesség szélsőséges repülési viszonyok közötti fenntartásának követelményével. Ez viszont előre nem látható kockázatot és kihívást jelent még a legkorszerűbb vadászgépek pilótái számára is, ami fokozott stresszt és alkalmanként a stressz reakció okozta korlátozott szenzoros érzékelést, téves helyzetértékelést és hibás fizikai válaszreakciót eredményez, ami önmagában újra stresszt, akár pillanatnyi cselekvőképtelenséget okoz pszichés alapon. Ehhez járul a kifáradás ütemének és a hatékony regeneráció megítélésének fontossága, amely a hosszútávú munkaképesség megőrzése, a kiegész megelőzése céljából alapvető érdek. Célunk földi körülmények között, speciális VR (virtual reality) szimulációs berendezések alkalmazásával a hadműveleti körülmények között várható fizikai és mentális terhelés okozta stressz kapcsán az élettani stresszreakció mind teljesebb körű jellemzése és előrejelzése, elsősorban az agyi keringés változásának regisztrációjával INVOS NIRS cerebrális pulzoximetria révén és Firsbeat Bodyguard által biztosított pulzus variancia mérésekkel illetve a mérőműszerek lehetséges adaptációjával valós repülési körülmények között.

Kulcsszavak: repülésélettani stresszorok, EKG monitorizálás, hypoxia és gyorsulás-túlterhelés okozta pulzus variancia, térbeli dezorientációs stressz és pilótahiba, NIRS technológia INVOS, Firsbeat Bodyguard, VR (virtual reality) repülés

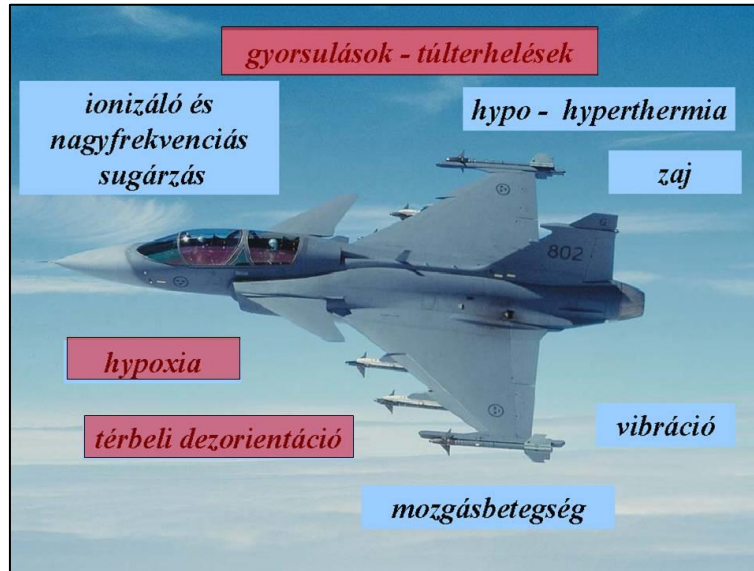
BEVEZETÉS

A repülés elmúlt száz évében érvényesülő alapvető repülésbiztonsági tendencia, hogy kibernetikai-rendszerelméleti oldalról nézve nőtt a repülés technikai biztonsága, a rendszerek megduplázásával, sőt triplázásával a biztonsági tartalék (redundancia) jelentősen fokozható. Ugyanakkor a pilóta, mint ember élettani esendősége, korlátozott cselekvőképessége előtérbe került. A II. világháborút követő évtizedekben a nagysebességű, nagymagasságú és nagy túlterhelésekkel járó repülések igénye miatt mind a kiképzés, mind a műveleti/harci bevetések során komoly repülésbiztonsági kockázatok jelentkeztek az oxigénhiány, túlterhelés, térbeli tájékozódó képesség elvesztése miatt (1. ábra).

Ezek a kockázatok maguk után vonták a – pilóták magas szintű képzésének részeként – a repülőorvosi demonstrációk, tréningek tökéletesítését is, azzal a céllal, hogy a pilóta felismerje élettani korlátozó tényezőit, cselekvőképességének határait. Ez folyamatosan megkövetelte a pilóta tényleges élettani (testi-fizikai) és szellemi (agyai kognitív, mentális) teljesítményéről tájékoztató orvosbiológiai információ folyamatos nyomon követését, felvetette a monitorizálás szükségességét.

A kapott adatok felhasználása kétirányú: egyrészt a földi, szélsőséges, de standardizált körülmények között egy repülésélettani stresszor vagy mentális funkció változását követjük nyomon meghatározott időtartamban és ennek eredményeit vetítjük ki a valós repülés sokkal

szélsőségesebb viszonyaira. A másik megközelítés, amikor – részben a földi repülést is szimuláló környezetben szerzett kezdeti adatokra, mérési elvekre, esetleges technikai hardver lehetőségekre támaszkodva – a valós repülés körülményei között teremtjük meg a hosszútávú orvosbiológiai adatgyűjtés lehetőségét és egyéb repülési technikai paraméterekkel együtt értékelve értékeljük a pilóta tényleges teljesítményét.



1. ábra Rövid és hosszútávon ható repülésélettani stresszorok

Annyi általánosságban előre bocsátható, hogy a földi szimuláció alapvetően standardizált, előíró jellegű, akár a mérési eszközökre, akár a mérés időtartamára, akár a mérési eredmények felhasználására vonatkozóan, egy adott longitudinális adatbázis felépíthető, és az újabb mérési eredmények ehhez viszonyíthatók, akár minősítési jelleggel. Reális repülés viszonyai között, inkább az őrzésen, a légiközlekedési esemény kapcsán a retrospektív értékelésen és a repülésbiztonsági jelentőség megítélésén van a hangsúly. A két mérési módszer összehasonlítását az 1. táblázat tartalmazza.

Az orvosbiológiai monitorizálás egy szegmense mindkét módszertanban megjelenik, a földi szimuláció *vagy* a valós repülés *után* a szervezet szintű regeneráció megítélése, a kifáradás-kimerülés lehetséges mérhető és kvantitatíve megítélhető paramétereinek azonosításával, melynek nagy szerepe lehet majd a harcászati objektív elbírálásában és a légibalesetek kivizsgálásában, a humán faktor teljesítményének, vészhelyzeti stressztűrő képességének értékelésében.

Az űrrepülés során szükséges élettani monitorizálás speciális, mind a munkaképesség fenntartása, mind értékelése szempontjából alapvetően kísérleti stádiumban van, jövőbeli (interplanetáris, vagy hosszú földkörűli) űrutazások kapcsán megvalósuló komplex terhelések (vagy éppen inaktivitás) során várható kóros szív-érrendszeri, csontváz és izomrendszeri eltérések (kondícióvesztés, csont- és izom leépülés) megelőzését célozza, speciális edzések alatti monitorizálással, mely meghaladja jelen publikáció kereteit.

A mai technikai fejlettség mellett természetes, hogy a repülőfedélzeti monitorizálás alapvetően digitális, magas transzferigényű információ szolgáltatással járó formája (telemedicina) jóval költségesebb, de pl. a nanotechnológia innovatív fejlesztésének hatalmas lökést adhat a korszerű technológiák eme mozgó platformokra telepítése.

VÁLTOZÓK	FÖLDI SZIMULÁCIÓ	FEDÉLZETI MONITORIZÁLÁS
HELY	<i>barokamra vagy centrifuga, vagy GYRO forgó kabin (esetleg Desdemona)</i>	<i>repülőfedélzet (kabinban vagy környékén elhelyezett szenzorokkal)</i>
IDŐ	<i>előírt (gyakran éves alkalmassági vizsgálat vagy rendszeres, NATO Egyezményben előírt repülőorvosi kiképzési program keretében)</i>	<i>folyamatosan, kiképzési vagy hadműveleti repülés közben, automatikusan</i>
VIZSGÁLT STRESSZOR	<i>előírt, egy kiemelt paraméter (hypoxia vagy gyorsulás, vagy dezorientáció, vagy értelmi jellemzők)</i>	<i>bármelyik (többféle kombinációban, akár provokáló jelleggel, szimultán és szinkronizált)</i>
TECHNIKA	<i>klinikumban használt, normál méretű, legfeljebb kalibrálást és validálást igénylő orvostechnikai eszközök (pl. EKG, EEG, pulzoximéter)</i>	<i>miniatürizált, speciálisan kalibrált és validált (légi alkalmassággal rendelkező) műszerek speciális kombinációja</i>
ADATKÖZLÉS/TÁROLÁS MÓDJA	<i>analog/digitális jelleggel, online biztosítható</i>	<i>digitális jelleg és telemedicina transzfer szükségessége</i>
Értékelés	<i>adott esetben buktató (pass-fail) NATO előírás szerint, kiértékelés szükséges</i>	<i>kiértékelés esetleges, repülésbiztonsági konzekvencia (légi közlekedési esemény) esetén</i>

1. táblázat a földi szimuláció és a fedélzeti monitorizálás alapelveinek összehasonlítása

A számítástechnika és a mobiltechnológia rendkívül dinamikus fejlődik, új infokommunikációs technológiák folyamatosan jelennek meg az egészségügy különböző szektoraiban. A trend eredményeként az egészségügyi fejlesztések nagy része mára már elképzelhetetlen az infokommunikációs technológiák széleskörű használata nélkül. Az American Telemedicine Association szerint a telemedicina „az orvosi információk egyik helyről a másikra továbbítása elektronikus hírközlés útján, melynek célja, hogy a páciens egészségével kapcsolatos szolgáltatásokat nyújtson.” [1]

Tágabb értelemben véve a *Telemedicina* olyan strukturált egészségügyi szolgáltatás, ahol az ellátásban részesülő és az ellátó személy közvetlenül nem találkozik, a kapcsolat valamilyen távoli adatátviteli rendszeren keresztül jön létre. Infó-kommunikációs eszközzel támogatott diagnosztikus vagy terápiás-, távfelügyeleti eljárás, amelyben az egészségügyi szakszemélyzet szükség-szerű beteg melletti jelenlétét online elektronikus kapcsolaton keresztül távolról pótolják. Tágabb definíció szerint olyan esetek is a telemedicina tárgykörébe tartoznak, amikor egymástól távol tevékenykedő egészségügyi szakemberek cserélnek egészségügyi adatot egy adott személy jobb ellátása érdekében (pl. táv-konzílium). Ennek alkalmazási lehetőségeit a Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatósága is folyamatosan keresi [2].

A katonai repülés feltételrendszerében csak a leggazdagabb országok légereje engedheti meg magának, hogy a földi szimulációs berendezések teljes tárháza (és zöldmezős beruházásban közel 100 millió dolláros költsége) mellett a fedélzeti monitorizálást is alkalmazza. Az amerikai repülőorvosi intézet külön ezredet tart fenn a Raptor (F-22) kapcsán felmerülő élettani problémák elemzésére¹. Az új kutatási eredmények bemutatásához a 2017-es AsMA repülőorvosi kongresszuson és az ICASM felhasználói konferencia legfrissebb előadásain elhangzott és megjelenített információkat is felhasználtam².

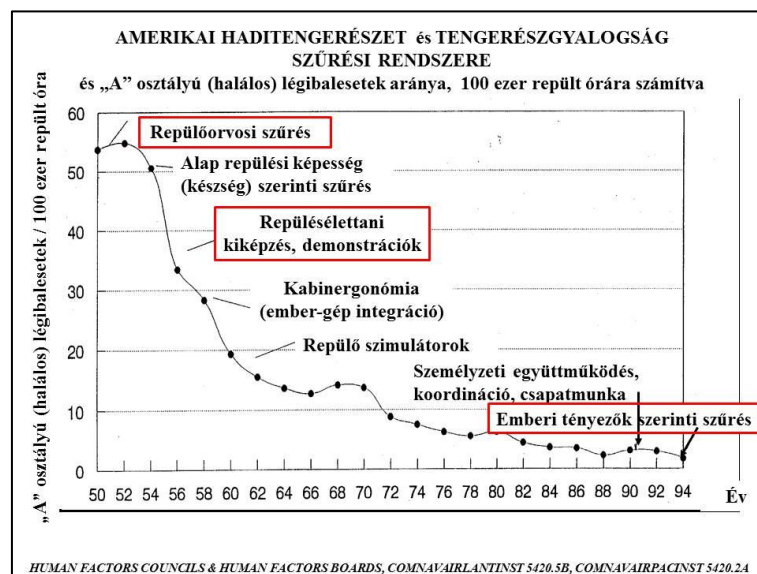
¹ Wright-Patterson AFB, Ohio; Department of Aeromedical Research, USAF School of Aerospace Medicine, Human Performance Wing, Raptor Data Library

² AsMA: Amerikai Repülőorvosi Társaság (Aerospace Medical Association éves kongresszusa 2017 Denver, US illetve 6th User Meeting of ICASM (International Congress of Aviation Medicine), Graz, Ausztria, 2017 szeptember)

REPÜLÉSÉLETTANI PARAMÉTEREK FÖLDI MONITORIZÁLÁSA

Az orvosbiológiai monitorizálás a klasszikus repülés-élettani kihívások okozta testi (elsősorban szív-érrendszeri) és mentális-kognitív (pszichológiai tesztekben mérhető) teljesítmény rögzítésével indult, földi, szimulált stressz helyzetben. Ennek elsődleges formái a barokamrai és centrifuga edzések voltak, ahol a rövidtávon ható, pillanatnyi cselekvőképtelenséget okozó környezeti stresszorok, mint az oxigénhiány és túlterhelés-gyorsulás tág határok között változtatható kontrollált körülmények között. A vizsgálatok elsődleges hozadéka a repülésbiztonság növekedése volt (a valós repülési paraméterekhez igazodó, akár gyorsütemű vagy robbanásszerű nyomásváltozással, akár a centrifuga gyors felpörgetésével), ami növelte a pilóta hypoxia tudatosságát, gyakoroltatta vele a túlterhelés kivédésére szükséges Valsalva (légzésvisszatartás haspréssel) és alsóvégtagi izomfeszítés manőverét, és ezzel együtt növelte önbizalmát a fenti stresszorok káros hatásának kivédésére vonatkozóan.

A javuló baleseti statisztika a legsúlyosabb „A” osztályú repülési katasztrófák területén látványos volt mind a repülőorvosi (élettani szűrés), mind a repülésélettani edzések (demonstrációk) bevezetésének köszönhetően, napjainkban pedig az emberi tényezők szerinti szűrés kapcsán a stressztűrő és regeneráció képesség megítélése került napirendre. (2. ábra) [3]



2. ábra Repülésbiztonsági mutatók a szűrési-kiképzési rendszerben [3]

Fenti repülésélettani tényezők ugyanis az élő szervezetben adaptív választ, alkalmazkodási reakciót, azaz stresszt okoznak. Ez a stressz reakció, mint reflexszintű tevékenység sokszor lassúbb és relatíve elégtelen, mint ami a háromdimenziós térben, időkénszerben végzett repülés okozta pillanatnyi szükséglet. A bekövetkező vérkeringés változás révén azonnal, akut hatásmechanizmussal olyan kóreltani válaszreakciót válthatnak ki, melynek következménye az agyi keringés, ill. oxigénkínálat (tágabb értelemben oxigénhasznosulás) gyors ütemű csökkenése (akár pillanatnyi megszűnése). Ennek következtében hirtelen cselekvőképtelenség alakul ki. Mivel e folyamatok az emberi szervezet számára váratlanok, az evolúció során sem alakult ki megfelelő adaptációs mechanizmus, akut szív-érrendszeri reflexek csak korlátozottan képesek kompenzálni a hatását. Ezért kritikus lehet a folyamatok bevezető, kezdeti jeleinek felismerése és a kompenzáló-elhárító aktív tevékenység (önmentés és hasprés+izomfeszítés)

együttes alkalmazása. (Ennek teljes, az orvosbiológiai hátteret és a fizikai teljesítőképességgel fennálló kapcsolatát elemző részletezése, a hypoxia tudatosság és a G-LOC³ megelőzési eszköztára más publikációkban rendelkezésre áll.) [4] [5].

Hypoxia orvosbiológiai monitorizálása

A monitorizálás elsődleges eszköze a szív-érrendszer vonatkozásában a vérnyomás, pulzus és a testfelszíni 12 elvezetéses EKG volt, amellyel a földi szimuláció során mind barokamrában, mind centrifugában rögzíthetők az esetleges keringési zavarra utaló repolarizációs és ritmuszavarok. Az előbbi a hypoxia okozta csökkent oxigén kínálat (és sejtszinten csökkent oxigénhasznosulás) kifejeződése a szívizomban, ill. annak elektromos aktivitását leképező EKG-n: ST szakasz meg-süllyedése és T hullám negativitása előfordulhat, kóros koszorúérszűkület nélkül is. Ez előre jelezheti a vegetatív (zsigeri) idegrendszer megingási fogékonyságát, a pulzus lassulásra és vérnyomás esésre való hajlamot. Korábbi barokamrai gyakorlatunkban 5500 m-es vizsgálat közben (0,5 atm össznyomáson, felére csökkent, kb. 80 Hgmm parciális oxigén tenzió és 70–80 % közötti verőeres oxigén telítettség (szaturáció) mellett) az esetek 2–3 %-ában észleltük a keringés összeomlását, ájulást (kollapszust), azaz pillanatnyi cselekvőképtelenséget. (3. ábra)

Ehhez esetleg pitvari-kamrai ritmuszavar (SVES/VES korai ütés), koszorúér átmeneti keringési zavar (ST eleváció és depresszió, emelkedés és süllyedés) társulhat az egyébként kivizsgált és egészségesnek bizonyult fiatal pilótaállománynál, súlyos (de csak a hypoxia miatt kialakuló, tehát reverzibilis) keringési és repolarizációs zavarral, koszorú érgörcs talaján. Ennek az oxigénfegyelem előírásában (3000 m fölött előírt szigorodó oxigén használat, főleg éjszakai repülés körülményei között) lehet repülésbiztonsági jelentősége (4. ábra). A legtöbb légierő saját barokamrai protokolljaiban alkalmazza az orvosbiológiai monitorizálás eszköztárát, mely időben előre jelezheti a keringés megingás veszélyes, beavatkozás nélkül visszafordíthatatlan formáját is.

HYPOXIA ÉS A REPÜLÉS BAROKAMRAI ROSSZULLÉTEK RÉGI PROTOKOLLALKALMAZÁSA MELLETT							
Vizsgálat éve	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Vizsg. személyek száma	622	786	768	929	840	735	650
Collapsusok száma	22	26	16	26	11	15	15
Collapsusok aránya (%)	3.5	3.3	2.1	2.8	1.3	2.0	2.3
	ST eleváció /depresszió		SVES/VES		Vizsgált személyek száma		
1991	1	7	2	5	622		
1992	-	1	2	11	786		
1993	-	4	2	21	768		
1994	1	3	2	10	929		
1995	6	2	3	6	840		
1996	2	10	1	9	735		
1997	-	1	2	8	650		
	Összesen: 5330						

3. ábra Barokamrai orvosbiológiai monitorizálás eredménye régi hypoxiás protokoll alkalmazása során

³ G induced loss of consciousness, azaz túlterhelés okozta eszméletvesztés



4. ábra Barokamrai orvosbiológiai monitorizálás eredménye: súlyos EKG eltérés koszorúérgörcs talaján fiatal pilótánál

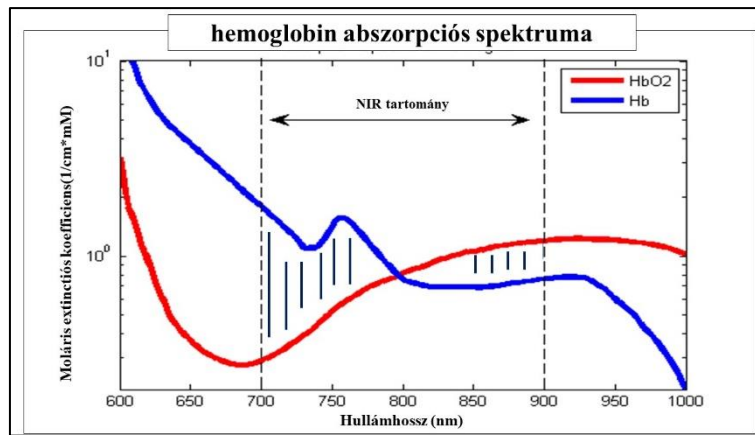
A Luftwaffe Német Légierő Repülőorvosi Központjában Dr. Wonhas orvos ezredes közölte tavaly egy 52 éves pilóta esetét, akinél barokamrai felszállás után, 7600 m-ről történő süllyedése közben, már javuló oxigén szint mellett következett be szívleállás, (csaknem normális 95%-os OxSat oxigén szaturáció, azaz telítettség!), mely teljes újraélesztést indokolt. A folyamatos EKG felvétel rögzítette a 30 mp-es szívleállást. A hypoxia mellett a hirtelen értágulat, a középfül barotraumája (nyomáskiegyenlítődés zavara miatti fájdalom) és a magassági meteorizmus (bélgáz képződés okozta hasi feszítő fájdalom) is felmerült hozzájáruló oki tényezőként. Harminc másodperces asystole (keringés leállás), megkezdett újraélesztés után a normális ingerképés és (sinus) ritmus visszaállt, a barokamra biztonságban földet ért, a pilótát kórházba szállították. Az eset hátterében neurocardiogén syncopét (X. bolygó agyideg közvetítette ájulást és szívleállást) vélelmezték. (Korábban 4 ilyen ájulás/syncope epizódja volt, ebből egy repülés közben!) [6].

Az MH Egészségügyi Központ Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet (MH EK RAVGYI) barokamrájában 1992-ben fordult elő a leghosszabb asystolia (teljes szívleállás), a 35 s-ig tartó korai hypoxiás rosszullét az 5500 m-es felszállás 5. min-ben alakult ki. A leghamarabb (legrövidebb hypoxiás időtartam után) az 5500 m-es felszállás 3. percében (éppen repülőorvostan szakvizsgára készülő kollégánál), a legkésőbb pedig a 12. min-ben jelentkezett (civil vitorlázógép pilótánál). Valamennyit a folyamatos EKG monitorizálás során időben észleltük, a megkezdett újraélesztés sikeres volt.

Ahogy a keringés esetében a kisiklás a perifériás oxigén telítettség széles tartományában bekövetkezhethet, úgy az agyi keringés direkt monitorizálásával, a cerebrális pulzoximetria (transzktután, tehát bőrön át mérő elektródák segítségével az INVOS készüléken történő) mérésével is jelentősen változó, homloklebebeny kevert vénás vérben akár 20%-kal is csökkenő oxigén szintet észleltünk. A mérés élettani alapját az oxigént kötő és szabad vérfesték molekula (HbO₂ és szabad Hb) eltérő aránya és spektrális adszorpciós képessége közötti különbség képezi. (5. ábra).

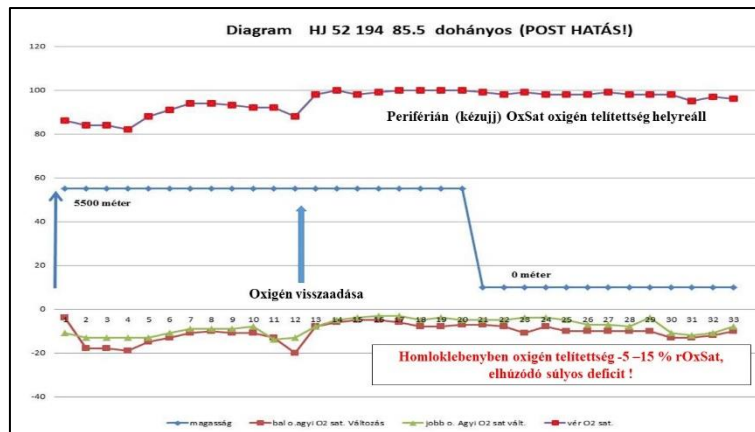
Megállapítottuk, hogy a hypobarikus hypoxia okozta tudatzavar mértékét a klinikumban általánosan használt perifériás vér O₂ telítettségének mérésével nem lehet korrekten megítélni, ugyanis a vér oxigén szintje mellett a vérben levő O₂ felhasználhatósága is jelentősen romlik. A Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló

és Gyógyító Intézetében NIRS technikával végrehajtott transcraniális agyi oximetria mérések⁴ kapcsán azt találtuk, hogy az agyi vérátáramlás a centrális, a keringési központok szabályozása alatt álló perifériás keringéstől szétválk. [7] (6. ábra).



5. ábra Oxigénkötő (HBO₂) és szabad hemoglobin (HB) vérfesték molekula abszorpciós spektruma

A mért változások jól korrelálnak az egyéb testrészeken (fülcimpa, ujj) elhelyezett illetve más módszerrel (ki/belélegzett gázkoncentráció érzékelése) oxigénmérő eszközök által mért értékekkel [8]. Ezek a módszerek is elsősorban földi standardizált vizsgálati körülmények között alkalmazhatók, a NIRS kísérleti körülmények között viszont már repülőfedélzeten is jól vizsgálható, a repülés különböző fázisaiban nyomon követhető az agyi keringés változása. Egy komplett repülés során a NIRS regisztrátum hű képet ad a helikopter pilótát érő szellemi/kognitív és a fizikai környezeti faktorok okozta kombinált stresszről, a repülés egyes fázisaiban [9]. A talált agyi oxigénszint csökkenés kórjelző, az intenzív therápiában prognosztikai értékű (20%-nál nagyobb műtét alatti esése rontja a műtét utáni túlélés esélyét.)



6. ábra 5500 m-es hypoxia barokamrában és kognitív feladat okozta elhúzódó agyi oxigénszint csökkenés

Természetesen a kognitív feladat végrehajtásának teljesítménye is mérhető pszichológiai, pszichometriai műszeres tesztekkel a barokamrában. A nagy magasság okozta individuális keringési eltérések mellett azonban a mentális teljesítmény romlása is nagy egyéni variációt mutat, utólag értékelhető csak az egyszerű és összetett reakcióidő hosszabbodása, a hibahajlam. Ezért a pszichológiai tesztek általában csak a hypoxia tudatosság fokozására, minősítési kötelezettség

⁴ NIRS: near infrared spectroscopy: közel infravörös tartományban (800 nm) bőrön keresztül mért kevert agyi homloklebeny vér oxigén telítettsége.

nélkül alkalmazzák barokamrában. Fontos lehet a kutatási szempont, a kognitív válaszadás hypoxia érzékeny részfolyamatainak elemzése, melyre a kecskeméti intézet barokamrájában végzett kísérleteket a Magyar Tudományos Akadémia Pszichológiai Intézetének kutatócsoportja [10]. Egyéb, az agyi aktivitást és ébrenléletet jellemző monitorizálás (eye tracking – szemmozgatás sebessége, élénksége, gyakorisága) a közúti közlekedésben résztvevők (pl. kamionosok) esetében már bevezetés előtt áll, repülőfedélzeti alkalmazása még nem megoldott.

Gyorsulás-túlterhelés orvosbiológiai monitorizálása

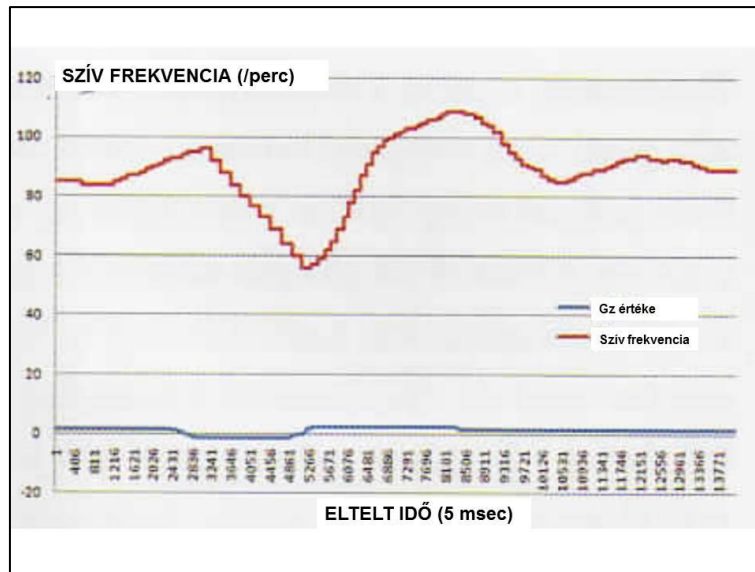
A centrifuga edzések során, a dinamikusan változó túlterhelés-mellett a standard EKG elvezetés rögzítése a folyamatos hasprés és izomfeszítési manőver miatt nagyon nehézkes volt a kezdetekben, az EKG „zajos” (műtermékkal, izomaktivitást jelző elváltozással) volt terhelt, kevésbé informatív, az RR távolságok (a szív kamrai összehúzódást kísérő elektromos főkilengések) alapján volt a szív frekvencia számítható. Inkább kísérleti jelleggel ütemről-ütemre (beat-to-beat) rögzíthető a vérnyomás alakulása, hasonlóképpen számítható a pillanatnyi pulzus. Ilyen mérések alapján értékelhető a gyorsulás fellépésének függvényében a G-LOC eszméletvesztés pillanatáig tartó időtartam, melybe beleszámít a bevezető szemtünetek (szürke- és feketefátyol) kialakulása. A perifériás látás ugyanis progresszíven esik az agyi vérnyomás csökkenésével: a feketefátyol (= blackout, amikor a perifériás látás 0-ra csökken) kb. 6 s-mal a legalacsonyabb vérnyomásérték után következik be. Utána a kompenzatorikus (vérnyomás stabilizáló) reakciók beindulnak és a vérnyomás és a látás helyreáll [11].

Fenti vérnyomás és pulzus reakció alakulását már viszonylag korán, telemetriás elven is megtudták mérni, a korai telemedicina eszközével, akár negatív ($-1 G_z$) túlterhelés közben, amikor a fenyegető pulzus lassulás repülés közben is detektálható volt [12]. A mai korszerű nagyteljesítményű centrifugákban az orvosi monitorizálás lehetősége már adott, a pillanatnyi pulzus szám az EKG alapján (milliszekundumos mintavételezés) számítható, ez alapján pl. a push-pull manőver (botkormány előre-hátra mozgatásával provokált pulzus lassulás, majd gyorsulás) is nyomon követhető [13] (7. ábra).

A korszerű EKG őrző rendszerek a túlterhelés-gyorsulás kapcsán gyakran fellépő egygócu kamrai korai extra-ütések (VES-ventricularis extrasystolia) számszerű jellemzésére is alkalmasak, közvetve hozzájárulhatnak a magassági és gyorsulás ellen védő technikai rendszerek élettani hatékonyságának jellemzéséhez. A Német és Svájci Légierőben tesztelt Libelle Plus folyadékmal telt magassági védőruha és a G-RAFFE cég által fejlesztett új típusú anti-G gyorsulás ellen védő ruha alacsonyabb pulzusszám mellett, tehát élettanilag komfortosabb és biztonságosabb zónában biztosítja a kellő vérnyomás és pulzus reakciót: nincs szükség folyamatos légzés-visszatartásra, izomfeszítésre, illetve túlnyomásos légzésre, kedvezőbb a szív-érrendszeri reakció, a hagyományos AEA⁵ magassági védőruhával összehasonlítva.

Kísérleti jelleggel valós repülés közben NIRS cerebrális pulzoximetria alkalmazására is sor került, a szemgolyók magasságában elhelyezett külső elektródák a túlterhelés-gyorsulás alatti szemfenéki vérátáramlást (és fenyegető eszméletvesztést) rögzítették, de a rendszer még nem integrált vadászrepülőgépfedélzetére, előrejelzésre nem képes [14].

⁵ AEA: Aircrew Equipment Assembly – pilóta teljes magassági védőfelszerelése



7. ábra Push-pull alatti orvosbiológiai (pulzus) monitorizálás

Térbeli dezorientáció orvosbiológiai monitorizálása

A térbeli dezorientáció esetében a pilóta hibásan érzékeli a helyzet- és a mozgásérzékelésben meghatározó látási (szemből eredő) és belsőfül egyensúlyozó szervből származó (esetleg izom és ízületi eredetű kiegészítő) információkat, és hamis képet alakít ki a test és a repülőgép térbeli mozgásáról, pozíciójáról, melyre alapozva hibás manővert hajt végre (pl. bedönti vagy dugóhúzóba viszi a gépet). Az ütköző szenzoros információk pedig dezorientációs stresszt is okozhatnak, mely miatt mentális zavar, „lefagyás” is bekövetkezhet, amely időkénszerben elégtelen válaszreakciót okoz. Kísérletes körülmények között földi alapú, GYRO forgó szimulált repülőkabinban a hirtelen cselekvőképtelenség veszélye elhanyagolható (legfeljebb mozgásbetegség jelentkezhet gyakorlatlan fiatal jelölteknél), a hangsúly az őrzés helyett a kísérő dezorientációs stressz reakció megítélésén lehet, mivel ez központi elem a térbeli tájékozódó képesség elvesztésének minden formájában, akár tudatosan a dezorientáció (I. típus), akár nem (II. típus), ami egyenesen vezet a repülőgép fölötti kontroll elvesztéséhez. A legújabb fejlesztésű, a Holland Királyi Légierő Soesterberg-i Repülőorvosi Intézetében található DESDEMONA platform egyesíti a rövid karú centrifuga és a forgó kabin által provokálható túlterhelési és dezorientációs ingereket és így új utat nyit a kombinált realiztikus repülési szimulátorok számára [11] [15].

A JÖVŐ TENDENCIÁI

Élettani paraméterek orvosbiológiai monitorizálása a fedélzeten

A harcmezőn, a szárazföldi hadműveletek során alapvető igény lenne arra, hogy a parancsnok információkkal rendelkezzen az alárendelt alegység-egység tagjainak szellemi-fizikai teljesítő képességéről, „fit” állapotáról. A szárazföldi műveletek során jelenleg az „okos ing” (smart T-shirt) fejlesztése folyik, beépített EKG elektródák segítségével (esetleg a légzés és a verejtékezés monitorizálásával kiegészítve), hogy a parancsnok tudjon a katonák pillanatnyi egészségi állapotáról.

A katonai repülésben a jelenleg földi körülmények között végzett, standardizált stresszhelyzetben (centrifuga, barokamra) folytatott, validált, élettani paraméterekre vonatkozó orvosbiológiai

monitorizálás célja a fenti áttekintés szerint az „örzés” (veszélyes szív-érrendszeri és mentális teljesítmény megingás korai jelzése, és a repülőorvosi tréning félbeszakítása) és a szelekciós eljárás segítése (az abszolút „rossz tűrőképességet” mutató jelöltek „alkalmatlan” minősítése). A levegőben, a valós repülés viszonyai között a fenti szinguláris (kitüntetetten egy élettani paraméterre szűkülő) megítélés nem célszerű, az individuális összteljesítményre és a tartós cselekvőképességre, a stressztűrő képességre kell koncentrálni.

A MiG-29 repülőgépre, majd JAS 39 GRIPEN-re történő átképzés során minden pilóta reális repülés alatti HOLTER EKG (24 órás longitudinális Holter EKG felvétel 2 csatornás elvezetéssel) vizsgálaton esett át, a valós repülés körülményei között vetették össze a pulzus reakciót, lehetséges ritmuszavart az objektív kontroll által biztosított grafikus megjelenítésű, a repülés technikai paramétereit demonstráló műszaki adatokkal. Később a Haditechnikai Intézettel és Aviatronics Kft-vel közös fejlesztésünkben megvalósult a fedélzeti technikai adatok („műszaki feketedoboz”) és a szív-érrendszeri paraméterek szinkron rögzítése. A MEDICINA majd TAGUÁN néven futó projekt során helikopter és kiképző repülőgép fedélzetén került elhelyezésre a műszer, melynek segítségével az orvosbiológiai adatok (EKG alapján számított pulzus és esetleges ritmuszavar, korai ütések QT diszperzió értékelése kapcsolási idő szórása szerint) valamint a technikai jellemzők által leírt repülési stressz szimultán elemezhetővé váltak. (8. ábra).

Élettani paraméterek orvosbiológiai monitorizálása VE-ben

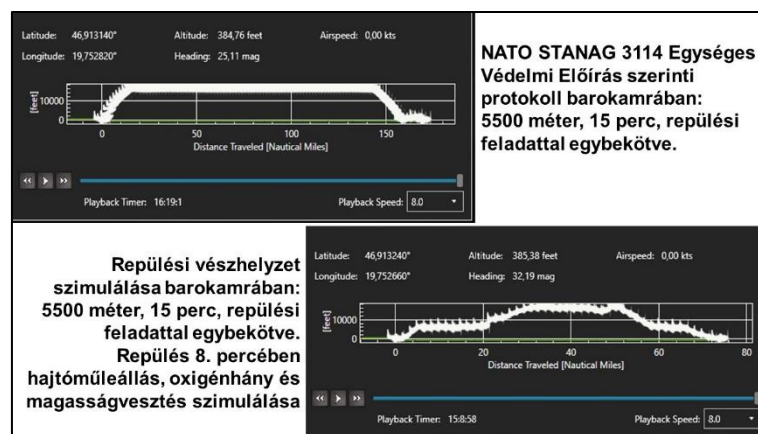
Virtuális környezet (VE virtual environment vagy VR virtual reality) kialakításával olyan összetett, realiztikus környezetet hozunk létre a földön, biztonságos körülmények között, ahol egyrészt a repülési feladat valóságként, a teljes pilótafülke műszerezettségével és a külső környezettel megjeleníthető, másrészt a VR szemüveg révén a vizuális kép realiztikusan összekapcsolható egy (vagy több) élettani paraméter (pl. magasságfüggő hypoxia) barokamrában történő teljeskörű monitorizálásával. Így a repülés élménye (mentális teljesítmény), a kísérő pszichés stressz és az élettani stressz (hypoxia) összekapcsolható, az agyi keringés monitorizálásával és a szívfrekvencia variabilitás elemzésével.



8. ábra Real Holter alatti VES (kamrai korai ütések) orvosi értékelése a repülési műszaki adatok (gyorsulás, magasság, sebesség) függvényében

Barokamrában NATO STANAG 3114 Egységes Védelmi Előírás szerinti magassági protokollban 5500 m-es vizsgálat közben hajtható végre a repülés „élethűen” vagy szimulálható a repülési vészhelyzet, a magasságvesztés és hypoxia együttes fennállásával. Ez a valóságban is könnyen előfordulhat, a hajtóművön átáramló lerekesztett légáram ilyenkor nem táplálja a fedélzeti oxigén generátor OBOGS⁶ rendszeren átjutó hevített légáramot, nincs oxigén ellátás. Az OBOGS megbízhatatlansága miatt az utóbbi 5 évben megnégyszereződött az oxigénlégző rendszer hibájával kapcsolatos jelentések száma [16]. A repülési terv és a szoftveres fejlesztés kialakítása informatikus kolléga munkája, aki már megtörtént légibaleset modellezésére és sikeres elemzésére is hatékonyan alkalmazta a fedélzeti adatrögzítők és baleseti jegyzőkönyv adatait, két repülőgép repülési útvonalainak és légi összeütközésének rekonstruálására és vizuális megjelenítésére [17] (9. ábra).

A sisakra felhelyezett oxigén maszkot, a maszk fölé elhelyezett VR (Oculus Rift) szemüveget, az INVOS homloklebeny kevert vénás vértartalmát mérő NIRS spektroszkóp homlok elektródáit, valamint a kilélegzett levegő szén-dioxid tartalmát mérő kapnográf maszkba illesztett kanüljét (orrszondát) optimális helyzetben kellett rögzíteni, hogy a VR szemüvegen torzításmentesen jelenjen meg a kabinfülke (a szem fókuszáló elemeire merőleges síkban). Fenti mérő és szimulációs eszközöket szinkronban kellett futtatni a szívfrekvencia variabilitást mérő „Firstbeat” testszenzoros rendszerrel, előzetes időkalibráció alapján (10. ábra).



9. ábra Barokamrai normál felszállás és vészhelyzet magassági profilja

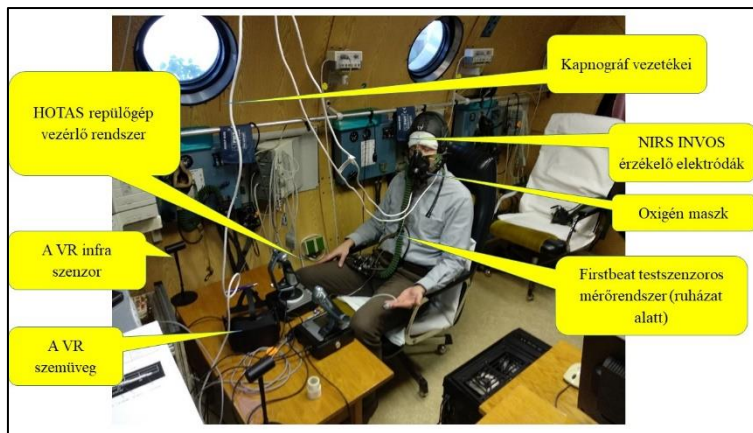
A Bodyguard 2 készülék a Firstbeat cég által fejlesztett testszenzoros pulzus variancia mérő rendszer a klinikai Holter (24-48 órás felvételre képes) EKG készülékhez viszonyítva is miniaturizált, ultrakönnyű, szinte észrevehetetlen testfelszíni elektródákkal rendelkezik, a kamrai elektromos aktivitást jelző fő kilengések, azaz az RR hullámok közötti távolságot elemzi, akár több napon keresztül (mintavételezés sebességétől függő bit tartalom mellett 5–6 napig). Ennek folyamatos változása (azaz a pulzus variancia, klinikai gyakorlatban HRV⁷) különböző frekvencia tartományokban a vegetatív dystonia, azaz a vegetatív idegrendszer gátló (paraszimpatikus, nervus vagus, azaz X. bolygó agyideg által közvetített direkt) és a szimpatikus idegrendszer diffúzabb, (nor)adrenalin által közvetített) stimuláló, izgalmi állapotára vonatkozó

⁶ OBOGS: on-board oxygen generating system – fedélzeti szilárd fázisú (szilikát tartalmú) oxigén előállító rendszer, amely az oxigén és nitrogén eltérő átjutása és adszorpciója miatt közel 100%-os oxigén tartalmú gáznemű végterméket jelent.

⁷ HRV: Heart Rate Variability – szív frekvencia változékonyság (variancia)

egyensúlyának elvesztésére, megingására utal. Ez a fajta dinamikus oszcilláció a vegetatív idegrendszer két ága között a homeosztázis (belső egyensúly) fenntartásának eszköze, mellyel a non-lineáris orvosbiológia foglalkozik (11. ábra).

A fokozott HRV (paraszimpatikus túlsúly) jelzi a kellő regeneratív képességet, amely csökkent szív-érrendszeri halálozással és megbetegedési mutatókkal párosul. A komplett rendszer Firstbeat által alkalmazott szoftvere (automatikusan tovább lépő idő és frekvencia keretek mellett, például Fourier analízis alkalmazásával idő és frekvencia domén szerint) elemzi a nyers adatok internetes honlapra történő feltöltése után az egész napi aktivitást. A Kanadai Fegyveres Erők keretében most kezdődött Fitness (edzettségi állapot felmérését célzó) Program tudományos elemzése pl. a haditengerészet katonáinak aktivitását követi 6 napon keresztül, összehasonlítva a stresszes munkanapok és a pihenőnap alatti pulzus varianciát, ebből következtetve a stressz reakció okozta eltérésekre és a regeneráció hatékonyságára [18].



10. ábra HRV és NIRS komplex alkalmazása barokamrában telepített VR/VE repülési szimulációhoz

SZÍV FREKVENCIA VARIABILITÁS (HRV) ÉS AZ AUTONÓM IDEGRENSZER KAPCSOLATA		
<i>frekvencia tartomány (erő komponens)</i>	<i>efferens vegetatív ideg</i>	<i>életlani szabályozó</i>
Ultra low frequency ULF : < 0,003 Hz	vagus, szimpatikus	renin-angiotenzin (RAS) rendszer
Very low frequency VLF: 0,003-0,04 Hz	?	?
Low frequency LF: 0,04-0,15 Hz	vagus, szimpatikus	baroreceptorok
High frequency HF 0,15-0,4 Hz	vagus	légzés
LF / HF	vagus, szimpatikus	baroreceptorok

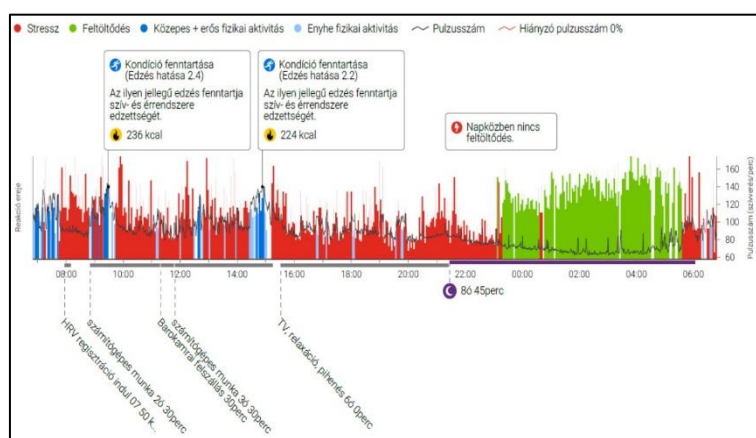
11. ábra HRV és a zsigeri autonóm vegetatív idegrendszer szabályozási kapcsolata

A közepes frekvenciás komponens (0,1 Hz körül, irodalomban gyakran ez az alacsony frekvenciás tartomány) az, ami a vazomotor rendszer vezérelte vérnyomás változásokkal, a baroreceptorok aktivitásával hozható összefüggésbe. Ebben a tartományban az oszcillációk mind a szimpatikus, mind a paraszimpatikus (X. bolygó agyideg, nervus vagus) rendszer által mediáltak.

Sayers vizsgálata alapján ez a frekvencia tartomány érzékenyen reagál szellemi munkára, valamint szenzitívebb erre a teljes spektrum varianciához képest [19]. A szellemi terhelés elnyomja az oszcillációt ebben a tartományban, továbbá a terhelés megszűntével egyféle visszacsapás jelenség figyelhető meg, utóbbi mértéke arányos a megelőző terhelés nagyságával. Másrészt, Izsó szerint, hosszabb ideig tartó, folyamatos terhelés során a középső frekvencia tartomány elnyomásának ingadozása az idő vetületében (szórás) arányos lehet a munkaterheléssel, amit egy adott feladat okoz az alanyban [20] [21].

A gyári program széleskörű elemzési lehetőséget kínál a beállított napszakokra és aktivitási-pihenési periódusokra is, ez a funkció egyfajta életmód felmérésre és az életmód objektivizált adatokon alapuló megváltoztatására szolgáló komplex tanácsadásra (fizikai aktivitás, napközbeni stressz periódusok, önsorsrontó abúzusok – alkohol – okozta kóros eltérések kiküszöbölése, alvás mennyiségi-minőségi javítása stb.) nyújt lehetőséget. [22]

Saját vizsgálati protokollunkban a standard barokamrai vizsgálat által megszabott időkeret között oxigén használat mellett és vészhelyzeti oxigén hiányt szimulálva, passzív (előre beprogramozott repülési terv) és aktív repülés (vészhelyzetben manuális újraindítási manőver előírt protokoll szerint a VE pilótafülkéjében) körülményei között, egyúttal a kognitív teljesítményt és agyi keringést agyi pulzoximetria⁸ módszerével monitorizálva kerestük a HRV trendekben megjelenő esetleges elhúzódo stressz reakció jeleit. A Firstbeat Bodyguard 2 készülék minimum 2 nap-(2 éjszaka) volt felhelyezve, így biztosítottuk a „repülésmentes” napi aktivitással történő összehasonlíthatóságot (12. ábra).



12. ábra szerző saját HRV monitorizálási eredményei első napon barokamrai passzív VR repülés, hypoxiás vészhelyzettel)

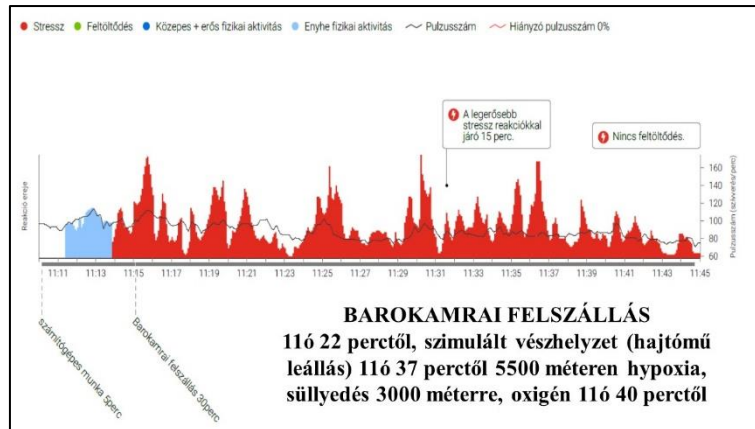
A barokamrai stressz helyzet kiemelése a nyers adatok feltöltése után, a szoftver által kínált plusz osztóvonalak (split) behelyezésével, speciális időtartamok kijelölésével válik lehetségessé. Így a barokamrai felszállás és hypoxia okozta stresszhelyzet pulzus görbéje „külön ki-nagyítva” is ábrázolható, mérhetők a szélsőséges pulzus reakciók. (13. ábra).

A módszer alkalmas lehet a hypoxia elhúzódo hatásainak elemzésére, a hypoxia és a „postexpozíciós” *után hatást* tükröző 1–2 órás felvétel szeparált elemzésére is, az agyi keringés és oxigén hasznosulás elhúzódo helyreállításának objektivizálásával, agyi pulzoximetria szimultán,

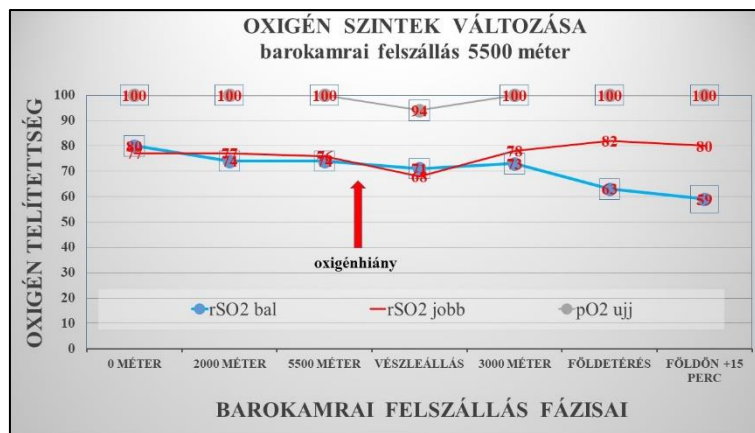
⁸ MEDTRONIC Hungary Kft által forgalmazott, NIRS elvén működő INVOS cerebrális (agyai) pulzoxymeter készülék és kapnográf

szinkron értékelésével. A hypoxia hangover („másnaposság), mint elhúzódó mentális teljesítmény csökkenés lehetséges oka a közelmúltban merült fel [23]. erre vonatkozó kísérleteink még folyamatban vannak.

Esettanulmány szintjén szerző saját szinkronizált HRV és rOxSat agyi homloklebeny kevert vénás vér és perifériás (ujjon mért) oxigén telítettségi értékei hypoxiás demonstráció után rendelkezésre állnak. Feltűnő, hogy a korábban közölt (de csak kognitív feladat végrehajtása során, **hypoxiás expozíció nélkül** jelentkező) helyzethez hasonlóan a bal agyfélteke frontális keringésében elhúzódó hypoxaemia (kevert vénás vér csökkent oxigén telítettsége) észlelhető, még a folyamatos oxigénlégzés és tengerszinti nyomásra történő visszatérés után is [7] (14. ábra).



13. ábra szerző saját HRV monitorizálási eredményei barokamrai passzív VR repülés, hypoxiás vészhelyzettel



14. ábra szerző saját pulzoximetria monitorizálási eredményei barokamrai passzív VR repülés, hypoxiás vészhelyzettel

A HRV mérése (közepes frekvencia tartomány spektrál analízise) során a vazomotor („érszabályozó”) tónus ingadozása az autonóm idegrendszer egyensúlyi állapotának változását tükrözi. A kapcsolatot az autonóm idegrendszer, a központi idegrendszer valamint szellemi erőfeszítés (stressz) között Boucsein és Backs integrált modellje írja le, mely szerint az „erőfeszítés rendszer” az input-output össze- és szétkapcsolásáért felelős a kontrollált információ feldolgozás folyamata során, elősegíti az analízist (időt nyer szükség esetén szétkapcsolással) az agykérgi (és néhány fontos kéreg alatti) szinten és központokban. A hippocampus a fő idegrendszeri struktúra ahol ez megvalósul, és innen kerülhetnek ki az autonóm idegrendszert befolyásoló

ingerek is (a homloklebény és a hipotalamusz egyes vegetatív magjai a hippocampusszal együtt a magasabb szintű szimpatikus központok közé tartoznak) [24].

A hypobáriás (magasságfüggő) hypoxia és a szívfrekvencia variabilitás összefüggése alacsonyabb magasságon, akklimatizáció után már ismert [25] [26] [27]. Ugyanakkor nem találtunk szakirodalmi forrást a stressz (szellemi munka), az akut gyors ütemű hypobáriás hypoxia és a pillanatnyi szívfrekvencia variabilitás kapcsolatáról. Több vizsgálat irányult a fizikai terhelés hatásaira, a szívfrekvencia variabilitásra hosszántható (10–30 napos) hypoxiás környezetben és akklimatizáció után [28] [29] [30]. Általánosságban elmondható a korábbi eredmények alapján, hogy a hypobáriás hypoxia deprimálja mind a középső, mind a magas frekvenciájú komponenseket, továbbá ezek aránya (LF/HF azaz közepes/magas) eltolódik a közepes felé. Ennek oka a hypoxia okozta szimpatikus aktiváció és a kompenzáló légzési aktivitás. Az akklimatizáció megszünteti a hypoxiának ezt a hatását. Jelen kutatásunk célja viszont olyan komplex szimuláció, ahol az akut hypoxia és a komplex szimulációs repülési stressz reakció együttes hatását tudjuk mérni a szívfrekvencia variabilitás középső komponensének spektrális változásaival, és az agyi keringés oxigénszintjének regionális csökkenésével.

ÖSSZEFOGLALÁS

A Magyar Honvédség nagyléptékű átfogó modernizációját célzó **Zrínyi 2026** programban nagy hangsúlyt kap a pilótaképzés teljes önálló, nemzeti spektrumának megteremtése. A Nemzeti Közszolgálat Egyetem Honvédtisztképző és Hadtudományi Karán a Katonai Repülő Intézetben a Légiközlekedési Szak beindítása kapcsán szükség van a XXI. század katonai repülésében jelentkező repülésélettani kihívásoknak és információs stressz terhelésnek megfelelni képes jelöltekre.

A szelekció során a változatlanul magas szintű szenzoros képességek követelménye mellett a térbeli látás és tájékozódó képesség, a visuomotoros, kéz-szem koordinációs feladatok végrehajtási képessége és a multitasking (párhuzamos feladatok koordinált végrehajtása), a vészhelyzeti menedzselés hatékonysága, mindezek háttérében a **stressztűrő képesség megítélése** lehet fontos a jelöltek rangsorolásában.

A kiképzett pilótáknál pedig a fenti képességek terén a teljesítmény longitudinális követése (éves vizsgálatok során az adatbázis összehasonlítása) nyújt információt és visszajelzést a pilóta aktuális szellemi munkavégző képességéről és **stressztűrő képességéről**. Barokamrában hypoxiás felszállás során a kognitív teljesítmény kényszere szimulátoron végrehajtott repülési feladattal egybekötve még informatívabb lehet a tényleges szellemi teljesítőképességről

A repülésélettani kihívások hatását a stressztűrő képességre, a humán teljesítő képességre jelenleg kutatási projektben is vizsgáljuk, a GINOP-2.3.2-15-2016-00007 számú, „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen (VOLARE)” projekt keretében. A kutatási projekt során megvalósuló, a pilóták éves repülőegészségügyi alkalmassági vizsgálataiba integrálódó funkcionális teljesítmény diagnosztikai vizsgálatok és a stressz monitorozást biztosító HRV készülék (Fusion Vital cég Firsbeat Bodyguard 2 szívfrekvencia varianciát mérő készüléke) együtt alkalmas lehet a pilótát érő repülés-élettani kihívások során a vegetatív idegrendszert érő akut hatások jellemzésére, a szív-érrendszeri

rezerv kapacitás és regeneráció megítélésére. A beállított mérési módszerek alkalmasak lehetnek a pulzuslabilitás mérésével a stressz reakció jellemzésére.

Ezt a vizsgálati területet kiegészítettük a MEDTRONIC Hungary Kft INVOS készülékének alkalmazásával, amely az agyi vérátáramlás változásának (az agy homloklebenyében a kevert vénás vér oxigén tartalmának) együttes mérésével objektívizálhatja a repülés-élettani kihívás okozta tudatállapot romlást és repülésbiztonsági veszélyt.

Köszönetnyilvánítás

Külön köszönetünket fejezzük ki Dr. Végh Tamásnak, a Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centrum (DEOEC) docensének, aneszteziológusnak, valamint Tusor Bernadettnek, az Inco-Med Kft. operatív igazgatójának és Makk László úrnak, a Covidien ECE, S.R.O. cég piacfejlesztési menedzserének *korábban nyújtott* szakmai segítségükért. *Jelenleg* pedig a hivatalos jogutód **MEDTRONIC HUNGÁRIA KFT** önzetlen támogatásáért tartozunk köszönettel, Dinóczkiné Kázmér Katalin és Hegyközi Bálint segítségéért, az **INVOS gyártmányú** NIRS készülék és a kapnográf rendelkezésre bocsátásáért a barokamrai kísérleti elrendezéshez. Hálás köszönetünket fejezzük ki Vada Gergely címzetes egyetemi docensnek, a Fusion Vital cég képviselőjének a **Firsbeat Bodyguard 2** készülék rendelkezésre bocsátásáért és szakmai tanácsaiért.

PRESENT AND FUTURE OF BIOMEDICAL MONITORING IN MILITARY AVIATION

(with special regard to the heart rate variability and cerebral blood perfusion variance caused by stress)

The dynamic and unbroken development of military aviation after closing the Cold War era, even in the age of asymmetric warfare render the human factor to the most vulnerable link of the chain in flight safety. Highly agile manoeuvrable aircrafts showing broad range of altitude and acceleration parameters, requiring the sustained support for human working capability and physiological tolerance in extreme environmental settings. Nevertheless, it can provoke unforeseeable risks and challenges even for the pilots of latest generation of combat aircrafts. resulting in augmented stress and occasionally limited sensorial perception, false situational orientation and erroneous physical response activity which can repeatedly lead to stress, even to momentary incapacitation with psychological background. The evaluation of fatigue (rate of exhaustion process) and assessment of efficient regeneration is also essential from the aspect of long-term working ability maintenance and prevention of „burn-out” syndrome. Analyzing the physical and mental burden provoked by military missions we are going to characterize the physiological stress responses in ground based VR (virtual reality) simulation environment in order to forecast them in real deployment settings. We are going to focus on registration of the altered perfusion of brain by means of NIRS (near-infrared spectroscopy) cerebral pulsoxymetry by INVOS and heart rate variance measurements by Firstbeat Bodyguard, considering their possible adaptation to real flight missions.

Keywords: *aeromedical physiological stressors, monitoring ECG, pulse variance related to hypoxia and G tolerance, spatial disorientation stress and pilot error, NIRS INVOS technology in cerebral pulsoxymetry, Firstbeat Bodyguard heart rate variability, VR (virtual reality) flights*

Dr. habil. Szabó Sándor András, PhD
mb. tanszékvezető, egyetemi docens
Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Repülő-és Űrorvosi Tanszék
Katonai Műszaki Doktori Iskola oktatója
Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
sasi19620@gmail.com
orcid.org/0000-0002-1362-4723

Dr. habil. Sándor (Alex) András (Andrew) Szabó, PhD
Associate Professor, assigned head of Department
University Szeged Faculty of Medicine Department of Aviation and Space Medicine
Lecturer of Doctoral School of Military Engineering
National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training
sasi19620@gmail.com
orcid.org/0000-0002-1362-4723

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatás a fenti projekt „AVIATION_HUMAN” nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] "What is Telemedicine?". Washington, D.C.: American Telemedicine Association. url.: <http://www.americantelemed.org/main/about/about-telemedicine>
- [2] Fejes Zsolt: Új lehetőség a védelem-egészségügyi ellátásban: TELEMEDICINA Hadmérnök, XI. évf. 1. sz. p. 233-239
- [3] Human Factors Councils & Human Factors Boards: Comnavairlantinst 5420.5b, Comnavairpacinst 5420.2a <https://www.netc.navy.mil/nascweb/sas/files/54202.pdf>
- [4] Szabó Sándor András: A katonai repülő-hajózó állomány repülőorvosi minősítése és kiképzése a NATO standardizációs egyezmények szellemében. (Különös tekintettel a szív-érrendszeri adaptáció és readaptáció vizsgálatára komplex és szimulált repülési stressz környezetben) PhD dolgozat 2009 Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, p. 84-85
- [5] Szabó Sándor András: A fizikai állóképesség és egészség-tudatosság repülésbiztonsági jelentősége. http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-12-0379_Szabo_Sandor_Andras.pdf
- [6] Nehring, M.: Cardiac Arrest During Hypobaric Chamber Training. előadás a 2017. évi AsMA amerikai repülőorvosi kongresszuson. Königsbruck Repülőorvosi Élettani Kiképző Központ, Luftwaffe, Németország. https://www.asma.org/asma/media/AsMA/pdf-meetings/2017%20Annual%20Meeting/posters-2017/201705_282_Nehring.pdf
- [7] Szabó Sándor András: Repülésélettani kihívások a hadműveleti tapasztalatok tükrében. Repüléstudományi Szemelvények 2017., pp. 159-196, ISBN 978-615-5764-80-6
- [8] Phillips, J.B., Horning, D.S., Dory, R.E.: A Comparison Of Pulse-Oximetry, Near-Infrared Spectroscopy (NIRS), And Gas Sensors For In-Cockpit Hypoxia Detection. Technical Memorandum Report Number 12-60. Naval Medical Research Unit– Dayton
- [9] Azusa Kikukawa, Asao Kobayashi,, Yoshinori Miyamoto: Monitoring Of Pre-Frontal Oxygen Status In Helicopter Pilots Using Near-Infrared Spectrophotometers. Dynamic Medicine 2008, 7:10 doi:10.1186/1476-5918-7-10 , Research url.: <https://dynamic-med.biomedcentral.com/articles/10.../1476-5918-7-1>
- [10] Takács E, Czigler I, Pató LG, Balázs L.: Dissociated Components Of Executive Control In Acute Hypobaric Hypoxia. Aersp Med Hu Perform. 2017; 88(12):1081–1087.
- [11] Gradwell, D.P., Rainford, D.J.: Ernsting's Aviation Medicine, London: Hodder Arnold, cop. 2006. 4. kiadás (145., 436 o.) ISBN 978 0340 81319 5
- [12] Banks r.d, Gray g.: "Bunt Bradycardia": Two Cases Of Slowing Of Heart Rate Inflight During Negative Gz. Aviat Space Environ Med. 1994 apr; 65(4):330-1.

- [13] Binu Sekhar, M., Sharma, S.K., Agarwal, A., Nataraja, M.S., Renjhen, P.; Indian Journal Aerospace Med. 55(1), 2011, 1-7.o. url: <http://medind.nic.in/iab/t11/i1/iabt11i1p1.pdf>
- [14] Ryoo HC, Hrebien L, Shender BS: Noninvasive Monitoring Of Human Consciousness By Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) During High +Gz Stress. Biomed Sci Instrum., 2002;38:1-7. url.: <http://euro-pepmc.org/abstract/med/12085583>
- [15] NOOIS.: SD-Training In Desdemona In Royal Netherlands Air Force, TNO Human Factors, Soesterberg, 2nd Flight Physiology User Meeting Zágráb, 2009. szeptember 04-06
- [16] Tomlinson, L.: Navy-Instructor-Pilots-Refusing-To-Fly-Over-Safety-Concerns., April 04, 2017 <http://www.foxnews.com/politics/2017/04/04/navy-instructor-pilots-refusing-to-fly-over-safety-concerns-pences-son-affected.html>
- [17] Domján, Károly: A légierő számára kialakítható moduláris szimulációs környezet kialakításának lehetőségei, képességek megszerzéséhez, fenntartásához és eljárások tökéletesítéséhez. Repüléstudományi Közlemények, 2017 (XXIX évfolyam 2. szám), p. 401-413, http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_2/2017-2-27-0375_Domjan_Karoly.pdf
- [18] Martin, J., Spivock, M: Firsbeat Brings Scientific Perspective To Canadian Armed Forces Fitness Study. <https://www.Firsbeat.com/en/news/caf/>
- [19] Sayers, B (1973): Analysis Of Heart Rate Variability. Ergonomics, 16, 17-32.
- [20] Láng E. (2001). Szívperiódus variabilitás. Oktatási segédanyag. Munka- és szervezetpszichológia. Budapesti Műszaki Egyetem. Retrieved from url: <http://www.erg.bme.hu/szakkepzes/fiziolgia/001szpv.pdf>
- [21] Izsó, L Developing Evaluation Methodologies For Human-Computer Interaction Ch 3 p: 11-43., Ch 4. p 88 Delft University Press, Delft, The Netherlands. (2001)
- [22] Fusion Vital SCIENCE, <https://www.Firsbeat.com/en/blog/beyond-heart-rate-heart-rate-variability/>, és Life Style Assessment
- [23] Tuomo Leino; Normobaric Hypoxia Training In Tactical F/A-18C Hornet Simulator. 2017. szeptember 17. előadás, Graz 6th User Meeting
- [24] Bocsein, W, Backs RW (2000): Engineering Psychophysiology As A Discipline: Historical And Theoretical Aspects. In Engineering psychophysiology: issues and applications Backs, RW, Boucsein, W (Eds). Publisher: Lawrence Erlbaum Associates. Place of Publication: Mahwah, NJ. Publication Year: 2000. pp: 6-7. le-töltve: <http://www.questia.com/PM.qst?a=o&d=97191094>
- [25] Trimmel, K.: Sensitivity Of HRV Parameters Including Pnxx Proven By Short-Term Exposure To 2700 M Altitude. Physiol. Meas. 2011. 32: 275
- [26] Zuzewicz, K at al.: Heart Rate Variability In Exposure To High Altitude Hypoxia Of Short Duration. Int J Occup Saf Ergon. 1999. 5(3):337-46.
- [27] Luciano, at al: Breathing Patterns And Cardiovascular Autonomic Modulation During Hypoxia Induced By Simulated Altitude. Journal of Hypertension, 2001, 19: 5:947-958
- [28] Perini, R at al: Effects Of High Altitude Acclimatization On Heart Rate Variability In Resting Humans. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 1996. 73: 6:521-528.
- [29] Yamamoto, Y at al: Effects Of Acute Exposure To Simulated Altitude On Heart Rate Variability During Exercise. Journal of Applied Physiology 1996. 81: 3:1223-1229
- [30] Povea, C at al: Effects Of Intermittent Hypoxia On Heart Rate Variability During Rest And Exercise. High Altitude Medicine & Biology. 2005. 6(3): pp. 215-225.



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_2/2018-2-14-0457_Szabo_Sandor_Andras.pdf