

*Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság,  
Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet*

## **Sport és a repülés: Teljesítmény-diagnosztika alkalmazása a repülőalkalmasság elbírálásában és a repüléstudományi kutatásokban**

**Dr. habil. Szabó Sándor András orvos ezredes, PhD**

*Kulcsszavak: repülésélettani stresszorok (gyorsulás-túlterhelés, hypoxia tudatosság, magassági adaptáció), hirtelen cselekvőképtelenség és fizikai állóképesség*

**Ahhoz, hogy a pilóta (legyen szó akár katonai vagy sportrepülésről) alkalmazkodóképessége, munkaképessége maximumát nyújthassa, mind a fizikai, testi teljesítőképesség, mind a pszichés/lelki stressztűrő-képesség, mind az információ feldolgozó képesség szempontjából kiváló teljesítményt kell nyújtania. A fizikai képességek nagy hármásában (erő-gyorsaság-állóképesség) gyakran túlhangsúlyozzuk a repülés extrém munkakörülményei között az állóképesség stamina jelentőségét, pedig a pillanatnyi – reflexszinten megvalósuló szív-érrendszeri reakciók, koordinált izommozgások (Valsalva és anti-G feszítési manőver) – a gyorsaság és erő komponensek adaptív fejlesztését is megkövetelik. Fentiek edzése-javítása a teljesítmény diagnosztika komplex rendszerének alkalmazását indokolja, a szimulált repülésélettani stresszor tényezők (hypoxia, túlterhelés) expozíciója mellett, ahol valósidejű orvosbiológiai monitorizálás közben lehet a még elfogadható élettani reakciót elválasztani a kóros, mindenképpen előzetesen kizárandó és kerülendő kórélettani reakcióktól.**

A Zrínyi 2026 keretében folyik a Magyar Honvédség nagyarányú technikai modernizációja, ennek során a legkorszerűbb haditechnikai eszközök – köztük különböző repülőgépek és helikopterek – kerülnek rendszeresítésre. A harcászati elvek és

a stratégia feladatok tükrében egyértelmű, hogy a légiereő vonatkozásában a beszerzés alatt álló repülőeszközök a jövő hadviselésében is megőrzik kiemelt szerepüket. A manőverezőképesség fenntartása akár nagy magasságban ezért ma is fontos

szempont, amely a magassági és gyorsulási sebességi paraméterek széles határok közötti biztosítását követeli meg nemcsak a harci repülők esetében: a technikai fejlődés a forgószárnyas repülőeszközök esetében is a manőverező-képesség növelésének alapjait teremti meg [12]. A repülőtechnika teljesítmény növelésére irányuló törekvéssel azonban nem mindig tartott lépést a biztonság oldaláról a pilóta személyi védőfelszerelésének fejlesztése: a fejlett életfenntartó rendszerek relatív, funkcionális elégtelensége miatt a pilóta pillanatnyi cselekvőképességét sokszor még mindig a saját „nyers” fizikai állóképessége, reflex szintű szív-érrendszeri válaszképessége és agyi keringést fenntartó reagálóképessége határozza meg, sok esetben korlátozza.

Repülésbiztonsági szempontból ennek következménye, hogy az embergép-környezet dinamikus viszonyában az ember a legsérülékenyebb, a leggyengébb láncszem, amely pillanatnyi szellemi-mentális és fizikai teljesítményével meg tudja akadályozni (vagy felgyorsítja) a hibaláncolat végigfutását a katasztrófáig [20]. A „*hiányos tréning*” fogalmába ebben az értelmezésben a nem megfelelő fizikai felkészítés és edzetlenség is beleértendő.

Valamennyi légierő nagy erőfeszítéseket tesz annak érdekében, hogy már a kiválasztás során a repülésre legalkalmasabb, a legjobban teljesítő, a kombinált stressz szituációkat legjobban elviselő jelölteket válasszák ki, a kiképzés a lehető leggazdaságosabb legyen. A szintén a Zrínyi 2026 program hosszútávú stratégiai koncepciójába illeszkedő, az önálló és teljeskörű pilóta utánpótlási képességet biztosító egyetemi Légiközlekedési szak beindítása a Nemzeti Közszerződési Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Karán ezt a célt szolgálja.

## Fizikai állóképesség repülésélettani szempontjai

A fizikai állóképesség beilleszthető a szélesebb értelemben vett kondicionális képességek közé, amelyek az izületi (aktív és passzív) mozgékonyással, rugalmassággal és a koordinációs (mozgás szabályozó, alkalmazkodó-átállító és tanulási) képességekkel együtt holisztikusan és evolúciós szempontból is hosszútávra meghatározzák háromdimenziós mozgásainkat. *Állóképesség nélkül nincs tartós munkavégzési képesség a katonai repülésben sem, így ennek fenntartása, fokozási lehetőségeinek tudományos igényű kutatása nélkülözhetetlen*, természetesen figyelembe véve az edzettség másik két sarokpillérét, az erő és gyorsaság (bizonyos esetekben a rugalmasság) jellemzőit is [13].

Tágabb értelemben a fizikai állóképesség (stamina, köznapi értelemben vett „szívósság”) a szervezet energianyelési folyamataira épülő fizikai képesség, amely lehetővé teszi egy adott pszichomotoros tevékenység jellemző intenzitásának minél hosszabb ideig történő fenntartását. Oxigén jelenlétében (aerob viszonyok) az alapfolyamat az oxidatív foszforiláció ATP termelése, anaerob körülmények között az energiadási tápanyagok lebontása azonban elakad a piroszőlősav szintjén, amiből tejsav képződik. Leghosszabb távon, tartósan csak az aerob folyamatok tudják kellő intenzitással fenntartani a mitokondriumban a légzési lánc (oxidatív foszforiláció) energiatermelését. Ez mind egyszeri fizikai munkavégzés, mind az ismétlődő fizikai terhelés kapcsán igaz tengerszinti nyomáson (oxigén parciális nyomása kb. 160 Hgmm), figyelembe véve, hogy az edzettség kialakulásával a tejsav termelés későbbre (nagyobb munka intenzitás

felé) tolódik ki, a kifáradás jelei később jelentkeznek. A maximális oxigénfelvételt ( $VO_2\max$ ) a nyugalmi értékhez viszonyítva egészséges fiatalnál az edzettség függvényében 10-18-MET értéket is kaphatunk a maximális aerob kapacitás jellemzésekor, bajnok sportolók 20 MET értéket is elérhetnek.

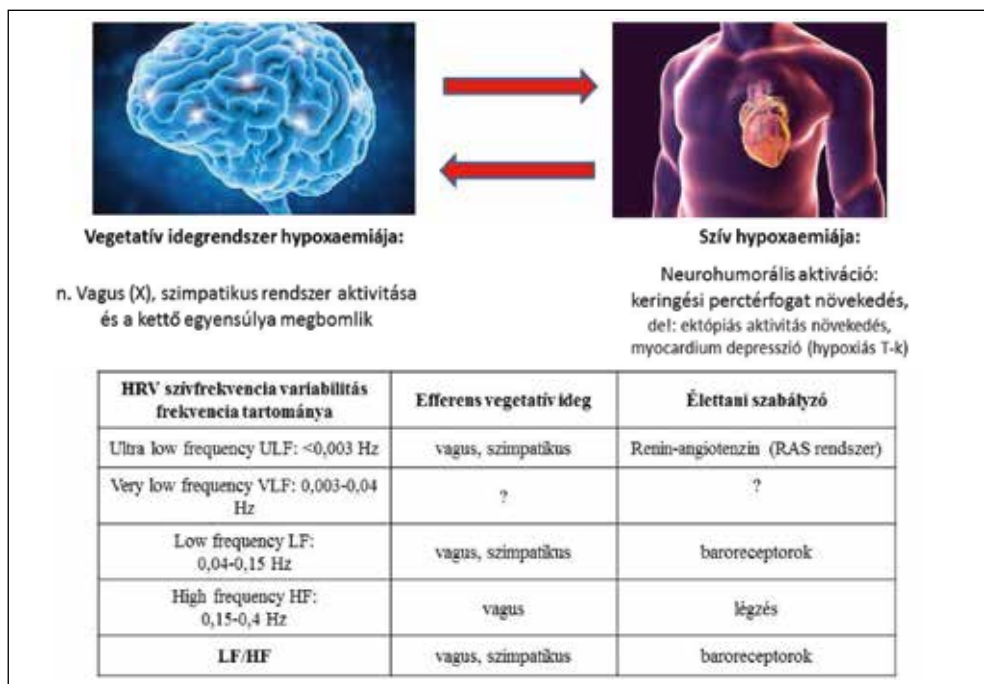
### **HYPOXIA – „még mindig csendes gyilkos”**

A normális (tengerszinthez közeli) sportolás és a repülés közbeni akut (illetve a tartós magashegyi edzés, hegymászás okozta) oxigénhiány **viszont alapvetően eltér**, mind az oxigén kínálat, mind a széndioxid légzést és agyi keringést vezérlő hatása, mind a bekövetkező akut vér pH eltérések, következésképpen az aktuális energiatermelő képesség tekintetében is. Nincs lehetőség sem mikroszinten a kellő oxigénszint folyamatos biztosítására az izmok aerob munkavégzéséhez (töredékére esik vissza az ATP képzés), sem a légzés-keringés szintjén nem következik be olyan adaptív válasz, ami a *Wassermann*-ciklusok (sejt szintű – keringési – légzési szervrendszeri adaptáció) harmonikus és akadálytalan felpörgetését lehetővé tenné [1]. Az agy szintjén a vegetatív idegrendszer speciális tónusvesztése miatt minimális a terheléses válaszreakció, a légzés szintjén pedig kiesik a kisvérkői tüdőkeringés fokozódása és a passzív széndioxid kimosás miatt a légzési perctérfogat (légzési frekvencia és mélysége által meghatározott légzésintenzitás) sem lesz kellő mértékű. Az előbbi az *Euler-Liljenstrand*-reflex miatt – a hypoxia szűkíti a tüdőkeringésben az ereket, miközben a nagyvérkörben értágító hatású –, az utóbbi pedig a tüdőben lecsökkenő széndioxid parciálisnyomás miatt: a jó diffúziós kapacitással rendelkező  $CO_2$  szabadon

eliminálódik, a vér akut pH emelkedését és ezzel az agyi erekben vazokonstriktiót váltva ki. Utóbbit a NIRS technikával közvetlenül mérhetjük és bizonyíthatjuk a magassági hypoxia elhúzódó, agyi keringést rontó hatását.

Vagyis mind az agyi légzés-keringés vezérlés, mind az oxigén transzport rendszer, mind a fizikai teljesítménnyel jellemzett vázizomzat fokozottan szenzitív az oxigén hiányra és a széndioxid kimosásra, komplex adaptációs zavar alakul ki. Ennek következménye, hogy a magasság függvényében az oxigénhiány és széndioxid vesztesé miatti agyi érszűkület együtt érezteti hatását, a mentális teljesítménycsökkenés sokkal kritikusabb, mintha csak az oxigén kínálat csökkenne le, de a széndioxid szint változatlan marad [24] [18]. A szív-agy tengely együttes hypoxia érzékenysége, vagyis az autonóm vegetatív idegrendszer hypoxia okozta egyensúlyvesztése és a szívizom, ingerképző rendszer hypoxaemiája együtt további változásokat provokál a pulzus variancia (HRV) paraméterekben (annak különböző frekvencia tartományaiban), ill. az EKG-n. Ilyen értelemben a klasszikus Shakespeare idézet: „My brain has no heart. My heart has no brain” (vagyis a szívemnek nincs agya, az agyamnak nincs szíve) nem igaz, sőt kölcsönös egymásra hatásuk igazolt (1. ábra).

Az aerob terhelhetőségnek sajnos nincs egyértelmű, biztos prediktív értéke a jó hypoxia tűrő képességre. Barokamrában (földi körülmények között szimulált magasságban) az éves repülőalkalmassági minősítő vizsgálat során az 5500 méteres magasságon hypobárikus hypoxiában nyújtott teljesítmény nem korrelál egyértelműen a fizikai (szív-érrendszeri) teljesítőképesség klinikai megítélésére alkalmazott kerékpár ergometriás teljesítménnyel.

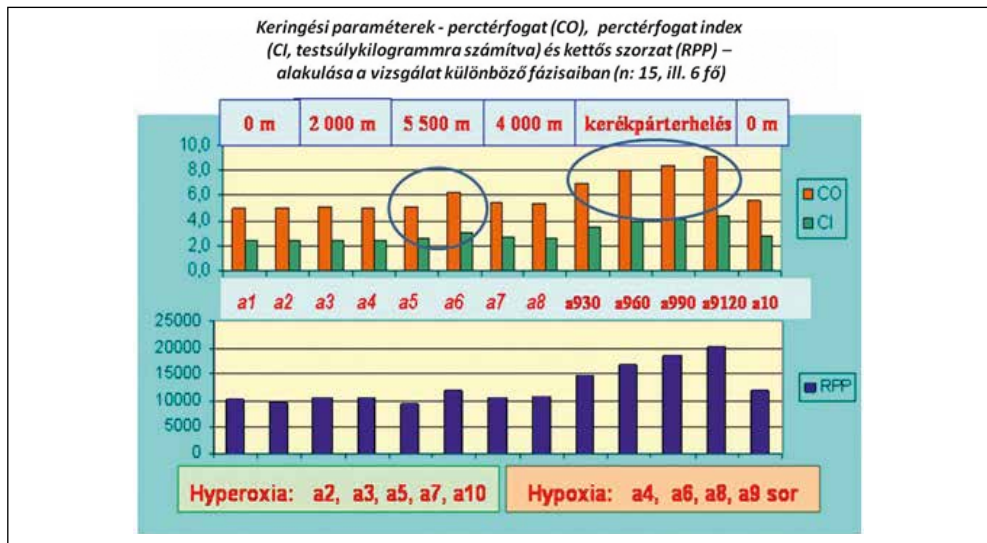


1. ábra. Oxigénhiány okozta egyensúlyvesztés a vegetatív idegrendszerben [24]

A klinikailag kivizsgált, „egészséges” és a kerékpár terhelésen az elvárt minimum 2,2 Watt/testsúlykg teljesítményt nyújtó, tehát kielégítő vagy jó tűrőképességű pilótáknál, a repült típustól függetlenül éves szinten 1,3–3,5%-ban tapasztaltunk beavatkozást igénylő állapotromlást a barokamrában, az 5500 méteres vizsgálat 15 perce alatt: vérnyomás-csökkenést, pulzus lassulást és a szellemi teljesítmény jelentős csökkenését, az önműködésre való képtelenséget. Ezt az ájulás közeli vagy a keringés tényleges összeomlását jelentő ájulásos rosszullétet a megelőző klinikai vizsgálatok eredményei nem jelezték előre, amelynek oka a hypoxia és a hyperventilláció, azaz az oxigénhiány és széndioxid kimosás szokatlan együttállása miatt kialakuló egyedi megterhelés, amely az agytörzsi légzés és keringés szabályozó központok, továbbá a szív-érrendszeri reakciók gyors alkalmazkodását igénylik [25].

Ezért a hypoxia „még mindig csendes gyilkos”, ami hadműveleti körülmények között is érezteti hatását: már tízezer láb alatt is hypoxia okozta kognitív zavarról számolnak be helikopter pilóták (számlási nehézség, dezorientáció, szédülés), 10-14 ezer láb (3000-4200 méter) közötti magasságon pedig Apache 64-D pilóták 70%-a egyértelműen teljesítmény csökkenést tapasztalt [21]!

A hypoxia tehát már „nyugalmi helyzetben” is rontja a keringés-légzés stabilitását és a szellemi teljesítőképeséget. Ha a magassági hypoxiás epizódra ráakadik bármilyen jelentősebb fizikai aktivitás is, akkor a helyzet gyors ütemben tovább romlik: a keringés gyorsulásával lecsökken a tüdőkeringésben a tranzitidő, vagyis az a diffúziós időtartam, ami a hemoglobin számára rendelkezésre áll, hogy az amúgyis csökkent parciális oxigénnyomás gradiens mellett az oxigén felvétel (szaturáció) megtörténjen.



**2. ábra.** Keringési teljesítmény jellemzők alakulása a hypoxiás terhelés fázisaiban. (n: 6 fő) 4000 méteren végrehajtott kerékpár terhelés és 5500 méteres nyugalmi hypoxia hatása az IKG paraméterekre

A magasságban végzett terhelés alacsonyabb maximális keringési és légzési perctérfogatot eredményez, csökkent szívműködésű pumpafunkcióval és elérhető maximális teljesítménnyel. Beteg emberen már 3000 méteres magasságban mintegy 10%-kal csökken a fizikai teljesítmény MET egységekben kifejezve. Az angina, illetve az EKG-n az ST szakasz depressziója kisebb munkaterhelés, illetve rövidebb idő után jelentkezik [10]. Fentiek vonatkoztathatók a szélsőséges, magaslati körülmények között bevetésre kerülő egészséges katonákra is (pl. Afganisztánban). A magasság- és terhelésfüggő akut hegyi betegség veszélyét a NATO Szövetségi publikáció is részletesen ismerteti. Felhívja a parancsnok figyelmét az akklimatizáció, a magassághoz és oxigénhiányhoz történő fokozatos hozzászokás – akklimatizáció – fontosságára, az akut hegyi betegség kialakulásának veszélyére [22].

Saját kísérleti elrendezésünkben korábban Impedancia Kardiográf segítségével vizsgáltuk barokamrában a

nyugalmi és kerékpár terheléses – maximális terheléses kapacitás alakulását. A 4000 m-es kerékpár terhelés alatt tapasztaltuk az élettani adaptáció jeleit, a perctérfogat és a frekvencia progresszív, fokozatos emelkedését a terhelési watt szám függvényében, de alacsonyabb terhelhetőséget mutató watt számig: 180-210 W helyett 90-120 W összteljesítményig. A terhelés nélküli nyugalmi hypoxia és a hypoxiás terhelés összevetése azt bizonyította, hogy az akut hypoxia még nagyobb magasságban is kisebb adaptációt igényel önmagában (pihenő ülőhelyzetben), mint alacsonyabb magasságban a terheléssel való kombinációja (2. ábra) [25].

A terhelési kapacitás még sportolóknál, hegymászóknál is jelentősen beszűkül: a maximális oxigénfogyasztás ( $VO_2max$ ) és pulzusszám csökken (a tüdő korlátozott oxigén felvétele és a tüdőerek szimultán szűkülete mellett). Tengerszinten a  $VO_2max$  46 l/perc, P: 180/perc normális értéke 6310 méteren

$VO_2$ max 1 liter/perc értékre, a maximális pulzus 130/perc szintre csökken. Mexikóvárosban (tengerszint fölötti magasság 2240 méter) az 1968-as olimpián a futószámok eredménye 5-10 %-kal rosszabb volt [10]! Normobáriás hypoxiában (tengerszinti össznyomáson, de az oxigén százalékos arányának csökkentésével) nemcsak barokamrában, de ROBD készüléken is mérhető a hypoxiás terhelhetőség csökkenése: itt 1/3-1/3 arányban a belélegzett levegő oxigén szintjének csökkenése, a tüdőkeringés romlása és a perifériás (láb) keringés visszaesése okozza a  $VO_2$ max vesztesést [3].

### GYORSULÁS – „eszméletvesztés álomképekkel”

A földi evolúció során az élő szervezetek a stabil 1 G gravitációs erőterhez alkalmazkodtak, a másodpercek alatt fellépő 5-9 G-s túlterhelés a harci repülések során szinte megoldhatatlan feladatot jelent a keringési és vérnyomás fenntartó reflexek, elsősorban a carotis reflex számára. Fej-far irányú túlterhelésnél az agy szintjén a vérnyomás (hidrosztatikai nyomás) hirtelen leesik, az agyi vérátáramlás megszűnik, G-LOC alakul ki. A periférián (elsősorban az alsó végtag visszer rendszerében) megrekedő jelentős vérmennyiség akutan hiányzik a keringésből, csökken az effektív keringő vérmennyiség, amit a szervezet csak a pulzusszám emelkedésével és az időfüggő vérnyomás emelő reflexek beindításával tud ellensúlyozni: 6-9 G-s túlterhelési tartományban nem ritka a 160-200 közötti pulzusszám és a kamrai ritmuszavar (a szív saját koszorúereinek is romlik a keringése). Ez a rendkívül magas pulzus szükséglet a hagyományos rendszeresített anti G védőruhákkal (FCAGT, Libelle Plus) csak mérsékelhető [7].

Élettanilag azonban az azonnali adaptáció így is csak részleges lehet, hirtelen túlterheléskor a vérnyomás csak lassan tér vissza az elfogadható szintre, ami elfogadhatatlan cselekvőképtelenségi kockázatot jelent (nem kellemetlen, álomképekkel kísért teljes és részleges emlékezetvesztés, „lebegés” kísérheti, akár 15-30 másodperces időtartamban) [5]. Folyamatos kényszer az anti-G feszítés (AGSM – izometriás izomkontrakció fenntartása az alsóvégtag és a gluteális régió nagy izmaiban, ill. a hasprés és *Valsalva*-manőver), ami rendkívül fárasztó.

Az aerob edzettség elsősorban a fokozatos pulzusszám emelkedéssel, a  $VO_2$  max emelésével és a tejsavtermelés időbeli eltolásával csökkenti a fáradtságérzetet, javítja a terhelhetőséget. Ez a fajta edzettség azonban nem jelent feltétlenül előnyt, sőt még biztos cselekvőképességet sem repülési stressz helyzetben, túlterhelés alatt! Kiváló magyar pilótanövendék (civilben testnevelőtiszt) 18 MET aerob kapacitással (elit kategória a maximális oxigénfelvevő képesség alapján!) az NFTC programban alkalmatlan minősítést kapott, előbb a kiképzési repülés alatt bejövétel-leszállás során enyhe bedöntés közben 3-4 G körüli értéknél bekövetkezett eszméletvesztés, majd a kivizsgálás során a Lengyel Repülőorvosi Intézet varsói centrifuga létesítményében lassú túlterhelési profil (GOR) közben 6 G túlterhelésnél bekövetkező eszméletvesztés és átmeneti cselekvőképtelenség miatt. Az előzetes supramax (teljes kimerítéses futószőnyeg) terhelés során a szívfrekvencia elérte a 200/perc értéket, viszont a centrifugában – **rövidebb összterhelési idő alatt, alacsonyabb frekvenciánál** (150/perc) már összeomlott az agyi keringése!

Általánosságban is elmondható, hogy kb. hasonló időtartamú (10-15 sec.)

terheléseket összehasonlítva 100 méteres síkfutás során a vázizomzat ciklikus izotóniás és izometriás kontrakciója (erő és gyorsaság komponense), valamint az anyagcsere és keringés változása (energia és oxigén felhasználása a kapilláris denzitás növelésével) sokkal gyorsabb és hatékonyabb adaptív erő és gyorsaság választ tesz lehetővé, mint a G-túlterhelés alatti AGSM és *Valsalva*, amelynek célja a túlterhelés alatt a vér hidrosztatikai nyomásgrádiensének növekedése miatt az alsó testfélben extrém módon növekvő, a szív szintje fölött (főleg az agyban) lecsökkenő vérnyomás kompenzálása, a vér kirekesztődésének, pangásának megakadályozása az alsó végtagokban. Az ülő helyzetben centrifugában végzett 7 G túlterhelés elviselése 15 másodpercig NATO szabvány szerint rögzített, elvárt G-tűrőképességi minimum vadászpilóták esetén. Megjegyzendő, hogy ehhez képest a magyar GRIPEN pilótákat még szigorúbban (15 másodperces, 9 G túlterhelés ROR profil mellett) minősítik, a svéd követelmények szerint [23]!

A gyorsulás okozta akut adaptációt a sportorvostanban a *Wingate*-teszttel lehet leginkább modellezni, melynek során az anaerob kapacitást mérjük (a módszert az 1970-es években, Izraelben, a *Wingate*-intézetben fejlesztették ki). A felmérés során a vizsgált személy lábával, maximális frekvenciával hajt egy kerékpárt, amelyen azonnal szubmaximális (a maximális teljesítőképesség 80–90%-át elérő) teljesítmény szintet kell elérni, ellenállással szemben, harminc másodpercen keresztül. Itt az anaerob teljesítmény nem a centrális (szív, tüdő), hanem a perifériás, lokális jellemzők függvénye, ennek értelmében vizsgálja valamely izomcsoport szubmaximális munkavégző képességét: felméri, hogy

az izomzat mekkora mechanikai teljesítményt tud nyújtani viszonylag rövid idő alatt. Az ilyen jellegű fizikai terhelésben a teljesítményt behatároló tényező a lokális anyagcsere, amelynek az anaerob forrásból rendelkezésre álló (tárolt) kémiai energiát kell mechanikai energiává átalakítani [11].

De ez a folyamat („hirtelen csúcrajáratás”) is csak akkor működik, ha az agy és szív szintjén a vérátáramlás teljes, vagyis az akut agyi keringésromlás nem gátolja a vérnyomás reflexek megfelelő aktivációját! „Agyatlanul”, agyi keringés biztosítása nélkül a keringés összeomlása ezt a teljesítményt is lerontja. Bár pl. a Svéd Légierő Repülőorvosi Intézetében minden repülő kategóriánál alkalmazzák a tejsav küszöb meghatározást és a *Wingate*-tesztet a szelektációs folyamatban, a G-tűrő képességet igazából a DFS centrifuga tesztek során kell felépíteni a jelölteknél és minősítő 9 G-s csúcsterhelés során igazolni a GRIPEN átképzés során.

A fizikai teljesítőképesség túlzott (vagy egyéb, pl. gyógyszeres) növekedése a légierő vonatkozásában veszélyekkel járhat. Felmerülhet az aerob kapacitás gyógyszeres fokozásának lehetősége is: a kanadai 3,2 km-es „harcifutás” (*Warrior*-teszt) 11 kg-os menetfelszereléssel történő végrehajtása során az efedrin és koffein ugyan javította a futási teljesítményt, de magasabb szívfrekvencia tartomány mellett, tehát repülési környezetben alkalmazása ellentmondásos lenne [2]. Helyette szintén kanadai szerzők felvetik az izomerő-feszítés, különösen a légzőizmok erősítését-gyakoroltatását a G-tűrőképesség fokozására [26].

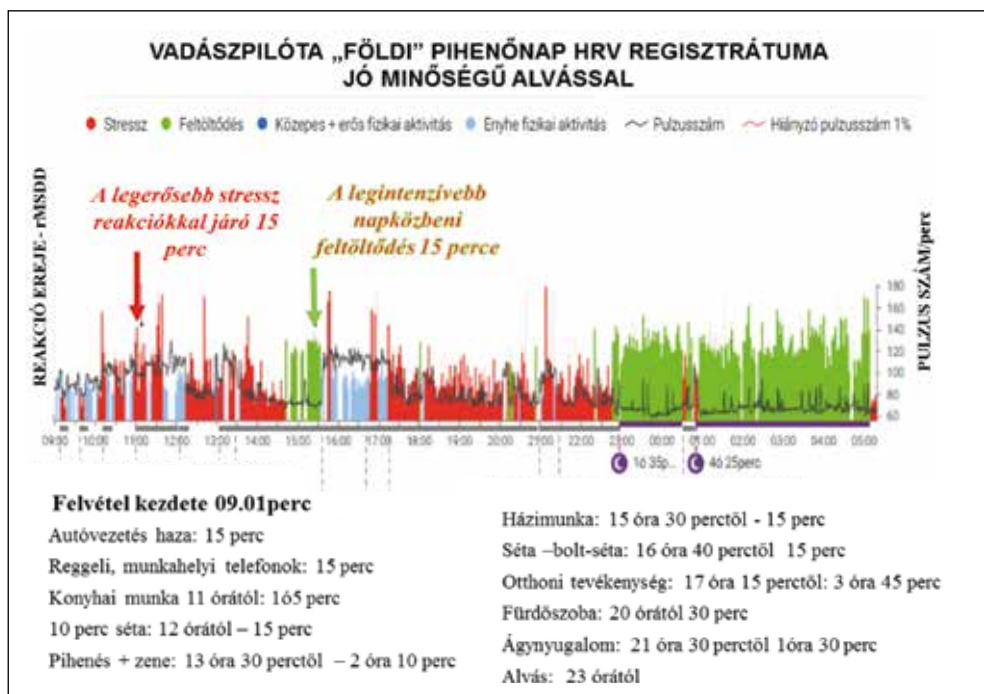
Az ausztrál légierő (Royal Australian Air Force) F-18-as pilótái körében végzett felmérés azt támasztja alá, hogy a pilóták többsége kellő, de nem kivételesen jó aerob kapacitással már képes megfele-

ni a *Hornet* által támasztott  $+G_z$  gyorsulás tűrő képességi kihívásoknak: átlagos maximális oxigén felvételük  $50 \pm 6$  ml oxigén/testsúlykilogramm/perc volt, ami 14 MET-nek felel meg [19]. Ugyanakkor az Izraeli Légierőben a kiválogatás során szelekciós előnyt jelentett a nagyobb aerob kapacitás (*Astrand*-féle kerékpár teszt), sőt az anaerob teljesítmény teszt eredménye is (magasugrás) [8].

A túlzásba vitt futás, mint aerob teljesítmény növelés hatása nem egyértelműen pozitív: bradycardiát okoz, nagyobb SV „löketterfogattal”. Ez a változó gyorsulások-túlterhelések mellett kifejezetten hátrányos lehet, a pilóta képtelen lesz a szívfrekvenciát kellő gyorsasággal felpörgetni („gázt adni”) a carotis depressor reflex miatt, azaz a pillanatnyi keringési perctérfogat kevés lesz az aktuális (agy, szív és vázizomzat által) megkívánt vérátáramláshoz

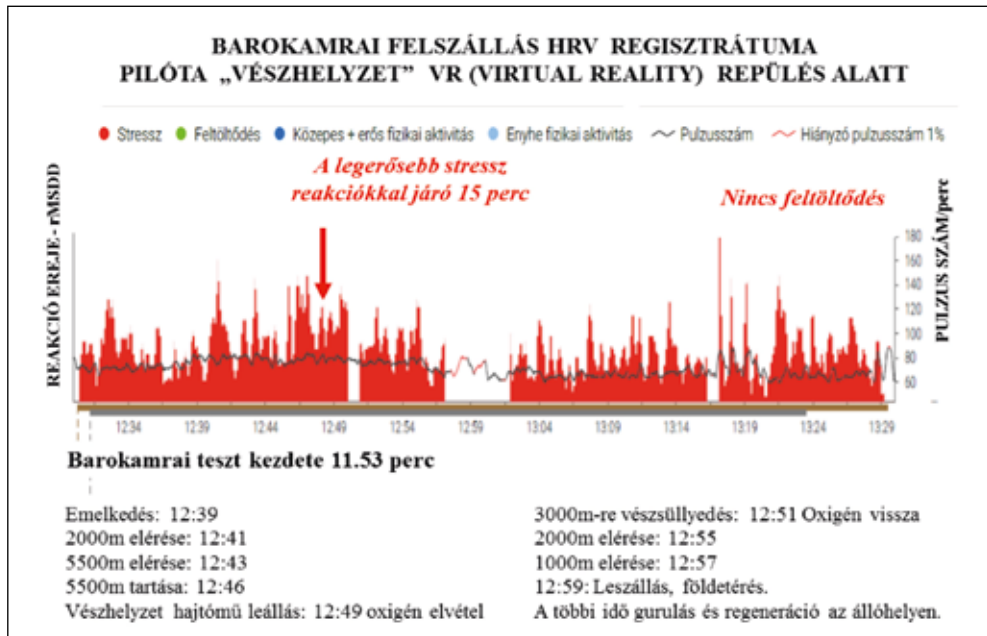
képest. Ezért több légielő ajánlásában limitálja a heti futási teljesítményt, 9 mérföldnél (azaz kb. 15 km-nél) többet egyáltalán nem javasol (az amerikai légielő futás felmérésében is csak másfél mérföld szerepel), nehogy a kedvezőtlen pulzuslassulás (és sportszív, balkamra hypertrophia) rontsa a G gyorsulástűrő képességet [14].

Az Amerikai Légierő kidolgozott egy súlyemelő programot is, amely a vázizomzat tartós megfeszítésével és izometriás összehúzódásával az anti-G feszítési manőver hatékonyságát volt hivatott növelni. Úgy találták, hogy 12 hetes speciális súlyemelő program révén 53%-kal sikerült növelni a SACM a tűrőképesség idejét [4]. Később – az ízületekre a súlyterhelés okozta káros hatása miatt – ezt a programot törölték, de a nyaki izmok minden irányú erősítésére, a nyaki gerinc kopásos, elfajulásos betegségei-



**3. ábra.** Pulzus trend és HRV alakulása pihenő napon, jó alvással (szerző saját regisztrátuma Fusion Vital Bodyguard2 készülékkel)



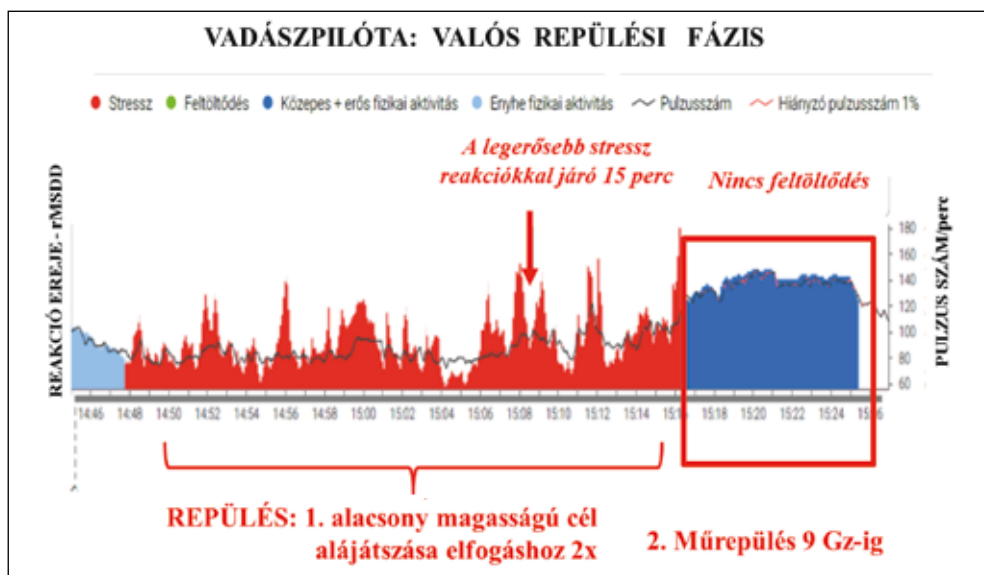


**4. ábra.** HRV monitorizálás eredményei barokamrai aktív VR repülés közben, hypoxiás vészhelyzet okozta stressz reakcióval  
(szerző saját regisztrátuma FusionVital Bodyguard2 készülékkel)

nek megelőzésére speciális kondicionáló gépeket használnak. Hasonló edzőgépek a Gripen program keretében az F7 (Sältenäs) légibázison kiképzésben részt vevő magyar pilótáknak is rendelkezésére álltak Svédországban. Különösen a háti-ágyéki szakaszon a porckorongok tehermentesítése és a szalagok-izomrendszer erősítése lenne alapvető. A repült típussal ugyanis egyértelműen összefügg az MRI-n látható L.I.-IV. csigolya degeneratív elváltozása a nagy manőverező képességű gépeken repülő pilótáknál [15]. Ilyen típusú edzés (erőgép, TRX, funkcionális, saját súllyal történő edzés) a gerincoszlop működési egységeinek (izmok, szalagok, kiegészítő) épességét őrizheti meg, megelőzve a sisakra illesztett NVG készülék (túlterhelés alatt többszörös) súlya okozta fokozott nyaki izomfeszülés, nyakfájdalom és kopásos-elfajulásos betegségek kialakulását.

### Fizikai teljesítmény és repülési stressz

A repülésélettani stresszorok okozta vegetatív disztónia, a bevetésekkel (műrepülés vagy légiharc) járó fizikai megterhelés nemcsak azonnali hatásokkal járhat (fent idézett hirtelen cselekvőképtelenség), hanem több napos, elhúzódó hatású is lehet, kifáradás-kimerülés jelentkezhet. Ilyen körülmények között nemcsak a fizikai teljesítmény, de a vegetatív disztónia és stressz tűrőképesség jellemzésére is felmerül a valós vagy szimulált repülés alatti pulzus és HRV (pulzus variancia) regisztrálása, melynek változása alkalmas lehet a regenerációs folyamat objektívizálására, az alvás minőség jellemzésére is. (Korábban a TAGUÁN fedélzeti adatrögzítő készülék fejlesztésével, a Haditechnikai Intézet és az Aviatronics Kft közreműködésével a pulzustrend rögzítése volt a cél.)



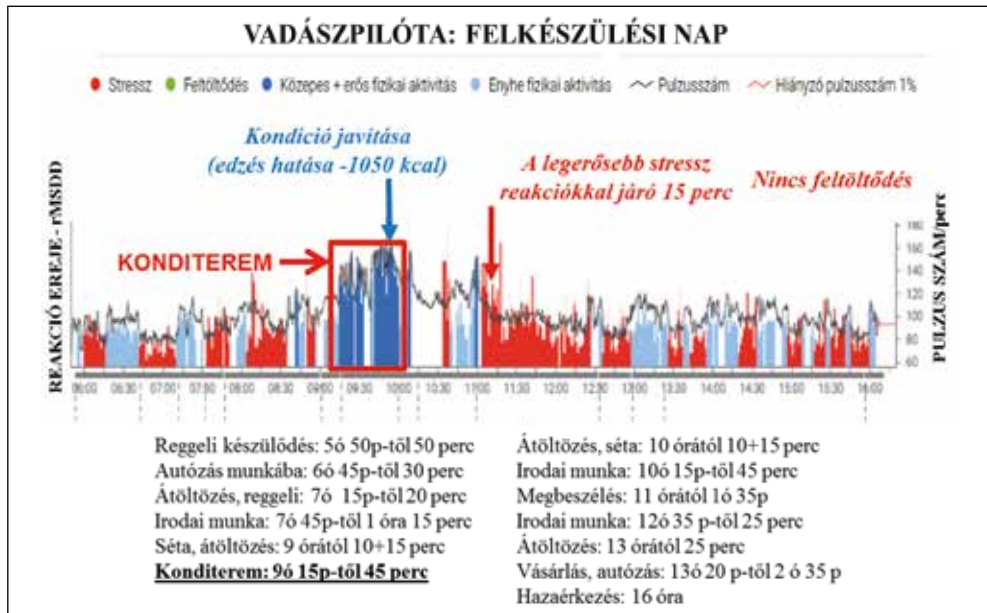
**5. ábra.** HRV monitorizálás eredményei GRIPEN valós repülése (útvonal és műrepülés) során (szerző saját regisztrátuma FusionVital Bodyguard2 készülékkel)

A HRV trendek kereskedelmi célú alkalmazása informatív útmutatót jelenthet amatőr és profi sportolók, katonák számára pl. az éjszakai regeneráció és az aktív kiképzés, tréning/sportverseny periodizálására, az optimális teljesítmény növekedés eléréséhez, hasznos lehet a cirkadián ritmus utazás okozta felborulása (jet lag) esetén is (természetesen itt az idő felbontás kevésbé fontos, a hosszabb monitorizálási időtartam és a mobilitás javára [6].

Katonai célú alkalmazása is felmerült: a fokozott (vagy napszakokat, egymást követő napokat összehasonlító) ismét fokozódó HRV értékek (paraszimpatikus túlsúly) jelzi a kellő regeneratív képességet, amely csökkent szív-érrendszeri halálzással és megbetegedési mutatókkal párosul. A Fusion Vital cég mellkasi pántos realtime vagy Firstbeat Bodyguard 2 komplett archiváló rendszere automatikusan továbblépő idő és frekvencia keretek mellett (pl. Fourier-analízis alkalmazásával, idő és frekven-

cia domén szerint a pulzus variancia paraméterek elemzésével) statisztikailag jellemzi az egész napi aktivitást, stressz szintet és feltöltődést. A real-time valós idejű regisztrátum Légiközlekedési szakirány hallgatók, pilóta jelöltek pályakörülmények közötti fizikai teljesítmény értékelésében most kerül bevezetésre, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézetének irányításával. (GINOP-2.3.2-15-2016-00007 azonosító számú „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen (VOLARE)”) projekt.)

A Kanadai Fegyveres Erők keretében most kezdődött Fitness (edzetségi állapot felmérését célzó) Program tudományos elemzése pl. a Haditengerészet katonáinak aktivitását követi 6 napon keresztül, összehasonlítva a stresszes munkanapok és a pihenőnap alatti



**6. ábra.** HRV monitorizálás eredményei GRIPEN pilóta felkészülési napja során, aerob edzés periódusának kiemelésével  
(szerző saját regisztrátuma FusionVital Bodyguard2 készülékkel)

pulzus varianciát, ebből következtetve a stressz reakció okozta eltérésekre és a regeneráció hatékonyságára, a csökkenő rezerv (pszichés tartalék) minőségére [17]. Több napos vizsgálat során ez már összevethető a repüléssel, akár analógiaként alkalmazva a repülésélettani megterhelés kapcsán jelentkező kifáradás és elégtelen alvás időbeli lefolyását is demonstrálni lehet. (Stressz periódusok jelölése pirossal, feltöltődés és alvás jelölése zölddel, az intenzív edzés sötétkéssel jelölve (3. ábra).

Jelenleg a vegetatív idegrendszeri paramétereket longitudinális validálással (beleértve a HRV, vagy egyéb EKG jel átlagolt paramétert a pulzusszám kivételével) egyik légierő sem alkalmazza szelekciós kritériumként. Ugyanakkor kutatási jelleggel, a stressz szint jellemzésére pl. a Finn Légierő nagy-hűségű földi szimulátorban, megközelítés-leszállás repülési fázisában, műszeres repülés körülmé-

nyei között vizsgálja a pszichés kognitív terhelés alatt a szívfrekvencia és HRV paraméterek (elsősorban az idődomén jellemzők) alakulását [16].

Saját esettanulmányunk (amely alapján jelenleg standardizált barokamrai felszállási protokoll kialakítása folyik) azt mutatja, hogy a szimulált barokamrai VR repülési vészhelyzet közben a HRV monitorizálás hasznos lehet a stressz szint jellemzésére, a legerősebb stressz reakcióval járó időperiódus a színkódolás alapján beazonosítható (rMSDD – az RR intervallumok rövid idejű változékonysága az izgalmi állapot szintjét jellemzi) (4. ábra).

Ezzel párhuzamosan valós repülési helyzetben is vizsgáltuk a pszichés és fizikai teljesítményt, elsődlegesen felmérve a Bodyguard2 készülék gyorsulás-túlterhelés tűrőképességét és összehasonlítva a repülésmentes és az operatív kiképzési napokon a GRIPEN harci pilóta műrepülése, valamint hivatásos ejtőernyős

## RÖVIDÍTÉSEK és SZAKSZAVAK JEGYZÉKE (előfordulási sorrendben)

1 MET	relatív aerob kapacitás, azaz oxigén felvevő képesség egysége (metabolikus egység)	= 3,5 ml O <sub>2</sub> /testsúly kg/perc
NIRS	Near infrared spectroscopy:	infravörös tartományhoz közel 880 mikrométernél meghatározott agyi oxigénszint a homloklebeny fölél helyezett elektródákkal.
ROBD	Reduced Oxygen Breathing Device:	Csökkentett oxigéntartalmú (normobariás) gázkeverék Lélegeztető Eszköz: 10,5% arányú oxigén kb. 5300 méteres magasságnak felel meg.
G-LOC	G induced loss of consciousness –	túlterhelés okozta eszméletvesztés
pooling		a vér összegyűlése az alsó testfélben fej-far irányú túlterhelés során
FCAGT	full coverage anti G trousers	levegővel felfújt, teljes testfedésű anti G nadrág
Libelle plus		folydékkal feltöltött anti G ruha
AGSM	anti-G straining manoeuvre	túlterhelés elleni izomfeszítési manőver
Valsalva manőver		légzés visszatartás és hasprés a mellkasi nyomás emelésével növeli az agy szintjén is a vérnyomást, ily módon segít fenntartani az agyi keringést.
NFTC	NATO Flight Training in Canada	a NATO közös repülőharcászati kiképző programja, melyben magyar pilóták is részt vesznek még a GRIPEN átképzés előtt.
GOR	Gradual Onset Rate,	kb. 0,1 G/sec túlterhelés növekedési profil centrifuga létesítményben
ROR	Rapid Onset Rate -	3-5 G/sec gyorsulási ütem növekedés
OBLA teszt	Onset Blood Lactate Accumulation	tejsav felhalmozódási küszöb, az aerob-anaerob küszöb átcsapás meghatározására.
DFS	Dynamic Flight Simulator:	dinamikus repülési szimulátor (centrifuga) Linköpingben (Svédország)
SV	stroke volume	„lököt térfogat”, balkamra által továbbított vérmenyiség egy systole során
SACM	simulated air combat manoeuvre	szimulált légi harc centrifuga programban
TRX	Totalbody Resistance Exercise	teljes testtel végzett ellenállásos edzés
HRV	Heart Rate Variability	pulzus variancia paraméterek számítása frekvencia és idődomén szerint
VR	Virtual Reality	Virtuális Valóság, 3D-s szemüvegben kivetített látszólagos kép alkalmazása szimulált repülési feladat végrehajtására.
rMSDD	root mean square of successive RR-interval differences	az egymás utáni RR intervallum különbségek négyzetes átlagának négyzetgyöke

beosztásban lévő ejtőernyős ugrása során mért pulzus és HRV trendeket.

Megállapítható, hogy tapasztalt, a repülési/ugrási feladatra kiválóan képzett hajózó, illetve ejtőernyős számára az „éles bevetés” limitált időszaka nem jelent extrém megterhelést, még a normális fizikai kiképzés (konditerem) fizikai terheléséhez képest sem, utána pedig kellő ütemű a regeneráció. Ugyanakkor a  $9 G_z$  (fej-láb irányú) túlterheléssel végrehajtott műrepülés alatti túlnyomásos légzéses rezsím vagotóniára (fokozódó paraszimpatikus tónusra) gyakorolt hatása is felismerhető (a kék szín a vagotóniára utaló fokozott pulzus variancia), amely az AGSM légzésvisszatartás és izomfeszítés folyamatos kényszere miatt itt nem a stressz oka, hanem élettani következménye! A  $G$  (túlterhelés) tűrőképesség megítélésére viszont a HRV görbe jól használható, amely alapján a bradycardia hajlam (rossz tűrőképességgel) időben felismerhető (5–6. ábra).

## Összefoglalás

A repülés, mint magasan fejlett, technicizált három dimenziós mozgási képesség és lehetőség megköveteli a magasszintű aerob teljesítményt is (mint biztos biológiai-élettani hátteret), de egyelőre úgy tűnik – a levegőnél nehezebb repülőeszközök fejlődésének evolúciós távlatban röpke 120 éve alatt – hogy a magasságélettani kockázatok (főleg az oxigénhiány, gyorsulás) megfelelő kezeléséhez populáció szintű adaptív evolúciós válasz és szelekciós előny nem várható el. Az individuális válaszreakció összetett mind a hypoxia, mind a túlterhelés okozta agyi keringészavar esetében, a „földi” állóképesség fokozottan sérülékeny, instabil ebben a szokatlan helyzetben. Az aerob kapacitás, illetve a futási

teljesítmény túlzásba vitele nem javasolható a nagy manőverezőképeségű gépek pilótáinál, kedvezőtlen szív-érrendszeri hatása miatt.

Ugyanakkor stabil, magasszintű fizikai edzettség talaján kell a repülésélettani stresszor tényezőkkel szemben a speciális stressz tűrőképességet fejleszteni, megfelelő földi alapú szimulációs környezetben (barokamrában, centrifugában) kialakítani, mind jobban közelítve a valós bevetés/végrehajtás körülményeihez. (Train as fight, fight as train – azaz: Képezd ki, ahogy harcol, harcolj úgy, ahogy (és amire) ki vagy képezve).

Az egészségtudatos szemlélet és életmód hozzájárulhat a repülő-hajózó állomány speciális (rövidebb távú), és általánosságban a honvéd életpálya modell hosszabb távú egészség-megőrzési programjaiban is a szolgálatképesség fenntartásához. Az egészségi állapot megőrzésében fontos szerepe van a Honvéd Testalkati Program elindításának és kiteljesítésének [9].

Az AVIATION–HUMAN KKT – a GINOP-2.3.2-15-2016-00007 pályázat (VOLARE projekt) keretében, a Nemzeti Közszoigálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet keretében a repülési környezet és humán stressz tűrőképesség, az agyszív tengely dinamikus viszonyának további vizsgálatát tervezi.

## Irodalom

- [1] Balogh, L.: Bevezetés a sportdiagnosztikába. Campus kiadó, 2015. ISBN 978-963-9822-43-6 (TÁMOP-4.1.2.E-15/1/Konv-2015-0001) projekt p. 126. online url.: [sportstudomany.unideb.hu/wp-content/uploads/.../Bevezetés-a-sportdiagnosztikába.pdf](http://sportstudomany.unideb.hu/wp-content/uploads/.../Bevezetés-a-sportdiagnosztikába.pdf) (2017. március 02.)
- [2] Bell, D.G., Jacobs, I.: Combined caffeine and epinephrine ingestion improves run times

- of Canadian Forces Warrior Test. *Aviat Space Environ. Med.* 1999, 70: 325-329.
- [3] Calbet, J.A, Boushel, R., Rådegran, G. et al.: Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 2003, 284(2): 291-303. DOI: 10.1152/ajpregu.00155.2002
- [4] Epperson, W.L., Burton, R.R.: The effectiveness of specific weight training regimens on simulated aerial combat manoeuvre G tolerance. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1985, 56: 534-539.
- [5] Ernsting's Aviation and Space Medicine, (Ed.: David P. Gradwell and David J. Rainford) 5. Kiadás, 2016. CRC Press Taylor & Francis Group, pp. 138.
- [6] FIRSTBEAT/Fusion Vital: A 360-degree Understanding Helps Get Athletes 100-percent Game Ready. <https://content.firstbeat.com/firstbeat-guide-to-understanding-athlete-stress-and-recovery>.
- [7] Hoepfner, M.T., Schultz, M.C., Schultz, J.T.: Libelle Self-Contained Anti-G Ensemble: Overcoming Negative Transfer. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*, 2004. 13 (2). <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1555&context=jaaer> DOI: 10.15394/jaaer.2004.1555
- [8] Hoffman, J.R. et al.: The Relationship of Physical Fitness on Pilot Candidate Selection In The Israel Air Force. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 1999, 70: 131-134.
- [9] Hornyák B., Kósáné Koppányi É., Sóter A.: A preventive programme aiming complex lifestyle change. *Hadmérnök*, 2013, 8(4): 252-257.
- [10] Hultgren, H.N.: *Scientific American (OrvosTudomány 1993)*, Orvostudomány aktuális kérdései IX. Magaslatti orvosi problémák p. 12.
- [11] Kağan Üçok1, Hakkı Gökbek2, Nilsel Okudan: The load for the wingate test: according to the body weight or lean body mass. *Eur. J. Gen. Med.*, 2005; 2(1):10-13. [www.bioline.org.br/pdf?gm05003](http://www.bioline.org.br/pdf?gm05003)
- [12] Kavas L., Óvári Gy.: A XXI. század helikopterfejlesztésének néhány fontosabb irányzata. *Repüléstudományi Közlemények (Szolnok, online tudományos folyóirat)* 2013, 25(1): 210-222. [http://www.repulestudomany.hu/index\\_rtk.html](http://www.repulestudomany.hu/index_rtk.html)
- [13] Király T., Szakály Zs.: Mozgásfejlődés és a motorikus képességek fejlesztése gyermekkorban. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0025\\_Kiraly-Szakaly-Mozgasfejlodes\\_es\\_a\\_motorikus\\_kepessegek\\_fejlesztese\\_gyermekkorban/ch07s02.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0025_Kiraly-Szakaly-Mozgasfejlodes_es_a_motorikus_kepessegek_fejlesztese_gyermekkorban/ch07s02.html) 7.5 ábra. TAMOP 4.2.5 Pályázat, 2011.
- [14] Krishnamurty, A: Current concept in acceleration physiology. *Essays and articles of Indian Society of Aerospace Medicine*, 2003, p. 12. [www.isamindia.org/essays](http://www.isamindia.org/essays)
- [15] Landau, D.A., Chapwick, L., Yoffe, N.: Cervical and lumbar MRI findings in aviators as a function of aircraft type. *Aviat. Space Environ. Med.*, 2006., 77: 1158-1161
- [16] Mansikka, H, Simola, P, Virtanen, K, Harris, D, Oksama, L: Fighter pilots' heart rate, heart rate variation and performance during instrument approaches. *Ergonomics*, 2016, 59(10):1344-1352. DOI: 10.1080/00140139.2015.1136699
- [17] Martin, J., Spivock, M: Firstbeat brings scientific perspective to Canadian Armed Forces Fitness Study. <https://www.firstbeat.com/en/news/caf/>
- [18] Neuhaus, C., Hinkelbein, J: Cognitive responses to hypobaric hypoxia: implications for aviation training *Psychol Res Behav Manag.* 2014, 7: 297–302. Published online 2014 November 10. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4234165/> DOI: 10.2147/PRBM.S51844
- [19] Newman, D.G., et al: Patterns of Physical Conditioning in Royal Australian Air Force F/A-18 Pilots and the Implications for +Gz Tolerance. *Aviation Space and Environmental Medicine* 1999, 70: 739-744.
- [20] Reason, J.: Human error: models and management. *British Medical Journal* 2000., 320 (7237): 768–770. DOI: 10.1136/bmj.320.7237.768

- [21] Smith, A.M. : Hypoxia symptoms reported during helicopter operations below 10,000 ft: a retrospective survey. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 2005, 76: 794-799.
- [22] STANAG 2458 Egységes Védelmi Előírás (AMedP 14 Szövetségi Publikáció), „Prevention and treatment of climatic and environmental injuries”, azaz „Klimatikus és környezeti tényezők által okozott sérülések megelőzése és kezelése” 1.fejezet (magashegyi betegség). Jelenleg átdolgozás alatt (új study) STANAG 2589 (Ed.1) Prevention and management of high altitude injuries. [https://nso.nato.int/protected/nsdd/\\_CommonList.html](https://nso.nato.int/protected/nsdd/_CommonList.html)
- [23] STANAG 3827 (Egységes Védelmi Előírás) Tartós G túlterhelési tréning kapcsán megvalósítandó minimális feltételek [http://nso.nato.int/protected/nsdd/\\_CommonList.html](http://nso.nato.int/protected/nsdd/_CommonList.html)
- [24] Szabó S.A.: Orvosbiológiai monitorizálás jelen és jövője a katonai repülésben, *Repüléstudományi Közlemények (1997-től) 2018/2 XXX: 145-162.* <http://www.repulestudomany.hu/>
- [25] Szabó S.A.: A katonai repülő-hajózó állomány repülőorvosi minősítése és NATO 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, pp. 84-85.
- [26] Young, P., Frier, B.C., Goodman, L., Duffin, J.: Respiratory muscle training and performance of a simulated anti G strain manoeuvre. *Aviat. Space Environ. Med.*, 2007., 78:1035-1041.

**Col. S. Szabó MDMC, PhD**

**Sports and aviation: Human performance diagnostic tools in aeromedical evaluation of aircrew and in aviation scientific research**

In order to provide the pilot's maximum level of tolerability and special working capacity (either in military or civilian/sport flight), he/she shall prove excellent performance both from physical (somatic) and psychic side (as stress tolerance), furthermore from information working ability aspect. In the big triplétt of physical parameters (force-readiness-stamina) we sometimes overestimate the importance of stamina/endurance, although the momentary reflexive cardiovascular responses, muscle coordination (Valsalva and anti-G straining manoeuvres) demand the adaptive improvement and adjustment of force and readiness components as well. The training and gradual improvement of above mentioned physical responses should involve the complexity of performance diagnostic tools during the exposure to simulated aeromedical stressors (hypoxia, G-loads), where the real-time biomedical monitoring system we can make finite distinction between acceptable physiological and avoidable pathophysiological reactions.

*Key-words: aeromedical stressors (accelerations, G-loads, hypoxia awareness, altitude adaptation, sudden incapacitation and physical endurance*

*Dr. Szabó Sándor András o. ezds.  
6000 Kecskemét, Balaton u. 17.*