

Szabó Sándor András

## FIZIKAI ÁLLÓKÉPESSÉG ÉS EGÉSZSÉG-TUDATOSSÁG REPÜLÉSBIZTONSÁGI JELENTŐSÉGE

*A katonai repülés mind kiképzési mind hadműveleti körülmények között nagyfokú fizikai teljesítőképességet, kitartást és fizikai erőt követel meg, amely elválaszthatatlan a repülésélettani stressz tényezők okozta azonnali megfelelő szív-érrendszeri, keringési reflexek aktiválásától. Csak megfelelő aerob és anaerob csúcsteljesítmény tudja biztosítani a cselekvőképesség fenntartását a gyorsulások/túlterhelések alatt, illetve teszi lehetővé a vegetatív idegrendszer aktivációját nagymagasságú, oxigénhiányos környezetben. Az általános edzettség természetesen nélkülözhetetlen a hosszútávú munkavégző képesség fenntartásához, a szív-érrendszeri betegségek rizikótényezőinek csökkentéséhez és a szellemi-lelki koncentrációhoz, kitartáshoz, önbizalomhoz és a repülési motiváció fenntartásához is, így összességében a repülésbiztonság nélkülözhetetlen eleme a humán faktor oldaláról.*

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

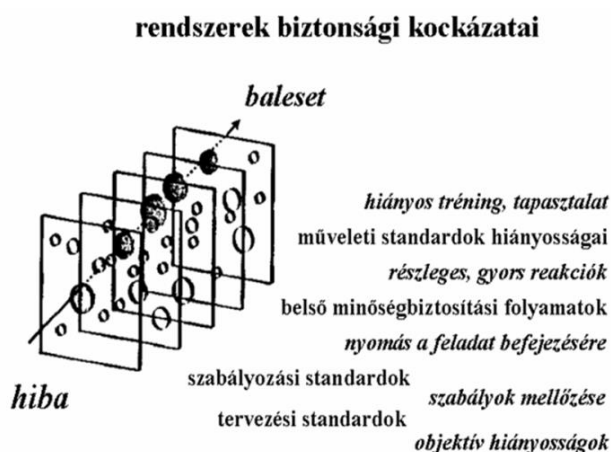
### BEVEZETÉS

A jövő hadviselésében a repülőeszközök megőrzik prioritásukat, a manőverezőképesség fenntartása ezért ma is fontos szempont, amely a magassági és gyorsulási sebességi paraméterek széles határok közötti további biztosítását követeli meg. Technikai-harcászati oldalról a fejlődés (a hadiipari és politikai érdekeknek megfelelően) szinte töretlen. „A XXI. században is elvárt, hogy a korszerű vadászrepülőgépeknek – mind hangsebesség alatt, mind felette egyaránt – jó manőverjellemzőkkel kell(ene) rendelkezniük, bár a légi harc perspektívájában is döntően hangsebesség alatt ( $v=140-250$  m/s sebességtartományban) fog lezajlani. A nagy pontosságú fedélzeti fegyverzetének eredményes működtetéséhez szükséges tűzmegnyitási pozíciót a gépek statikus instabilitásával és vezérelhető tolóerővektorával támogatott „szuper manőverező-képesség” hivatott biztosítani [1]. A technikai fejlődés pedig a forgószárnyas repülőeszközök esetében is a manőverező-képesség növelésének alapjait teremti meg [2].

Ugyanakkor a repülőtechnika teljesítmény növelésére irányuló törekvéssel nem mindig tartott lépést a biztonság oldaláról a pilóta személyi védőfelszerelése, pl. a magassági és G – túlterhelés ellen védő ruházat illetve nadrág, sőt a gyakorlati földi alapú szimuláció, a repülőorvosi kiképzés módszertana sem, barokamrai szimulált magassági felszállások és centrifuga edzések során.

A megfelelő műszaki védelem (vagy automatizálás) és a fejlett életfenntartó rendszerek relatív elégtelensége miatt a pilóta pillanatnyi cselekvőképességét még mindig a saját „nyers” fizikai állóképessége, reflex szintű szív-érrendszeri válaszképessége és agyi keringést fenntartó reagálóképessége határozza meg, sok esetben korlátozza. A „Push the limit” („Told ki a határokat” mellett a „May the Force be with You” („Az Erő legyen Veled!”) immár klasszikus szlogen tartalmi koherenciájára is szükség van (természetesen itt nem valami elvont spirituális erőre, hanem a tényleges fizikai cselekvőképességet megalapozó kapacitásra gondolok).

Repülésbiztonsági szempontból ez azt is jelenti, hogy az ember-gép-környezet dinamikus viszonyában az ember a legsérülékenyebb, „esendőbb”, a leggyengébb láncszem, (ha a Reason féle sajt elmélet szemléletes példáját vesszük, az utolsó szelet), amely pillanatnyi szellemi-mentális *és fizikai teljesítményével* meg tudja akadályozni (vagy felgyorsítja) a hibaláncolat végigfutását a katasztrófaig [3]. A „*hiányos tréning*” fogalmába ebben az értelmezésben a nem megfelelő fizikai felkészítés és edzetlenség is beleértendő (1. ábra) [3].



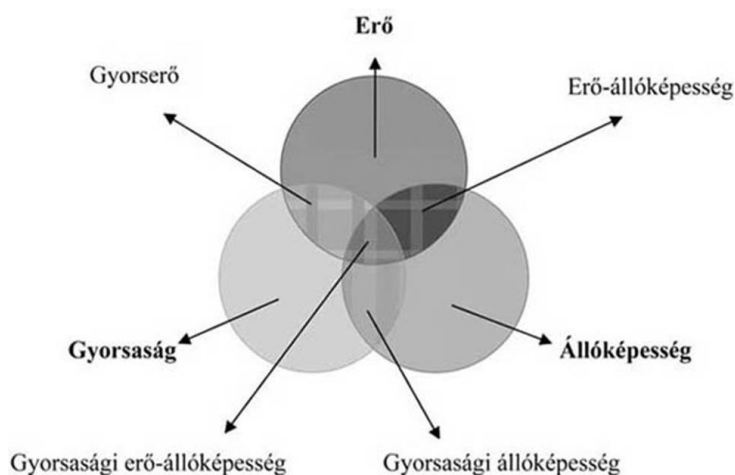
1. ábra A hibafolyamat sajtmodelje [3]

Napjainkban is alapvetés, hogy (főleg a katonai) repülésben a korszerű (vadász)gépek repülése és taktikai fegyverzetük kezelése magasan képzett, „tökéletesen egészséges” jelöltek kiválogatását, a repüléssel járó kombinált élettani stressz helyzetekre földi szimulációs helyzetekben felkészített pilóták rendszerben tartását követeli meg. (A pilóták kiválogatásának, felkészítésének és rendszerben tartásának összköltsége vetekszik a korszerű harci technika és csapásmérő képesség árával.) 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. Ebben a fogalomkörbe a fizikai edzettség szerinti szelekció és speciális, célzott felkészítés is beletartozik.

## FIZIKAI ÁLLÓKÉPESSÉG AZ OXIGÉN HASZNOSULÁS SZEMPONTJÁBÓL

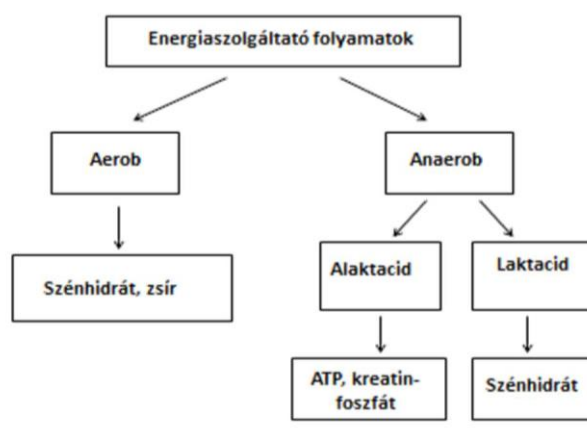
A fizikai állóképesség beilleszthető a szélesebb értelemben vett kondicionális képességek közé, melyek az ízületi (aktív és passzív) mozgékonyasággal, rugalmassággal és a koordinációs (mozgás szabályozó, alkalmazkodó-átállító és tanulási) képességekkel együtt holisztikusan és evolúciós szempontból is hosszútávra meghatározzák háromdimenziós mozgásainkat [4].

A klasszikus fizikai állóképességet a sportorvostan-edzéstudomány tárgyalja részletesen, elsősorban a különböző időtartamú és távú futásra, kidolgozva annak elméletét, fokozásának lehetőségeit, természetesen figyelembe véve az edzettség másik két sarokpillérét, az erő és gyorsaság (bizonyos esetekben a rugalmasság) jellemzőit is [5] (2. ábra). *Állóképesség nélkül nincs tartós munkavégzési képesség sem.*



2. ábra A fizikai képességek komplexitása [5]

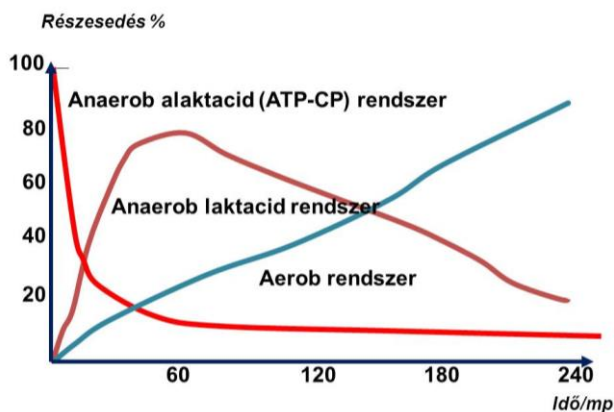
Tágabb értelemben a fizikai állóképesség (stamina, köznapiban vett „szívósság”) a szervezet energianyerési folyamataira épülő fizikai képesség, amely lehetővé teszi egy adott pszicho-motoros tevékenység jellemző intenzitásának minél hosszabb ideig történő fenntartását. Attól függően, hogy aktuálisan van-e jelen elég oxigén (aerob környezet) vagy hiányzik (anaerob viszonyok) illetve képződik-e tejsav (laktát), illetve mi a fő energia szolgáltató vegyület, a folyamatok didaktikus szétválasztása az alábbiak szerint lehetséges (3. ábra) [6].



3. ábra Oxigénfüggő (aerob) és tejsav termelő (laktacid) energia szolgáltató folyamatok elvi szétválasztása [6]

Az energiatermelés makroerg (nagy energiájú) foszfátkötést tartalmazó molekulák elbontását és folyamatos utánpótlását jelenti a sejt szintjén, mely kezdetben „raktári készletről” – a kreatin foszfát felhasználásával, tejsav megjelenése nélkül – később pedig ATP (adenozin trifoszfát) nagy energiájú foszfátkötéseinek bontásából származik. Oxigén jelenlétében (aerob viszonyok) a folyamat bőséges ATP termelést biztosít, anaerob körülmények között az energiadús tápanyagok lebontása azonban elakad a piroszőlősav szintjén, amiből tejsav képződik.

Természetesen e folyamatok más-más időbeli dinamikával, de egyszerre vannak jelen és folyamatosan biztosítják az energia igényes folyamatok, pl. a fizikai terhelés során jelentkező többlet szükségletet, de lényegesen eltérő ideig (4. ábra) és az általuk biztosított energiaforrás is nagyságrendileg különböző (5. ábra).



4. ábra A három nagy biológiai energiaszolgáltató rendszer részesezési aránya az eltérő időtartamban végzett maximális erőki fejteésekben [7]

Jelleg	Folyamat	Termelődött ATP
<i>Anaerob alaktacid</i>	$ATP = ADP + P + E$	-
<i>Anaerob alaktacid (ATP reszintézis)</i>	$Kreatin-P + ADP = ATP + C$	1 mol
<i>Anaerob laktacid</i>	$szénhidrát = tejsav + ATP$	2 mol
<i>Aerob</i>	$szénhidrát = CO_2 + H_2O + ATP$	38 mol
<i>Aerob</i>	$zsír = CO_2 + H_2O + ATP$	131 mol

5. ábra ATP hozam a biológiai energiaszolgáltató rendszerek függvényében [6]

Egyszerű számvetéssel az izom ATP készlete kb. 10 összehúzóásra elegendő. Az ATP készlet kimerülése után az ATP regenerációja kreatin-foszfát segítségével történik: kreatin-P + ADP = kreatin-trifoszfát, azaz kb. 50 összehúzóás, kb. 10 s, 100 m-es síkfutás teljesíthető vele. A terhelés elején az **első 30 másodpercben** a kreatin-foszfát készletek azonban már kimerülnek. Ezt követően a glikolízis, majd **3 perc múlva** a biológiai oxidáció termeli az ATP-t. Tartós összehúzóás során romlik az izom vérellátása, így **oxigén ellátása is**, miután a mioglobinhoz<sup>1</sup> kötött oxigéntartalékok is kimerülnek, megindul a tejsavas erjedés [6].

Az időbeli lefutás szemlélteti, hogy a leghosszabb távon, tartósan – elegendő oxigén mellett – csak az aerob folyamatok tudják kellő intenzitással fenntartani a mitokondriumban (az energiatermelésért felelős struktúra a sejten belül) a légzési lánc 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.

Az oxigén biokémiai szinten történő teljes hasznosulásához **mikroszinten** a sejt energia termelő (oxigén felhasználással járó) folyamatainak, a légzés-keringés makroszintjén az adekvát

<sup>1</sup> vázizomzat oxigénköti fehérjéje

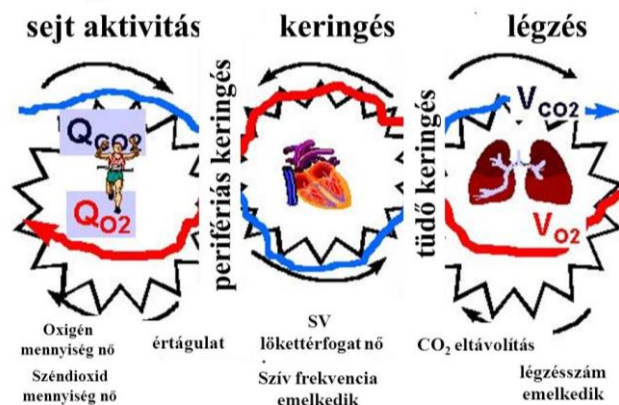
oxigénfelvevő-szállító és széndioxid elszállító-kiürítő keringési és légzési paramétereinek dinamikus „felpörgetésére” van szükség, az egymásba kapcsolódó Wassermann ciklusok révén (6. ábra) [8][9].

Emelkedik a keringési és légzési perctérfogat (légvétel mélysége ill. a szív balkamrájának lökettérfogata és a frekvencia is), sejtszinten pedig a mitokondriumok szintjén nő meg az oxigén hasznosulás. Rendszeresen végzett állóképességi terhelés hatására létrejövő legfontosabb élettani változásként nő a vázizomzat sejtjeiben a mitokondrium sűrűség, nő az aerob anyagcserében szerepet játszó citoszolom enzimek koncentrációja, ill. aktivitása a mitokondriumban, nő a vázizomzatban a kapilláris sűrűség, fejlődik az oxigén felvevő és szállító apparátus, emelkednek a szív balkamra morfológiai és funkcionális mutatói, nő a vérben a haemoglobin (oxigénszállító vérfesték molekula a vörösvértestben) mennyisége, koncentrációja.

A normális (tengerszinthez közeli) sportolás és a repülés közbeni akut (illetve a tartós magashegy edzés, hegymászás okozta) oxigénhiány 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.

Tengerszinten a terhelés fokozatos növelésekor az oxigén hasznosulás sokáig lépést tart az energia szükséglettel (a kreatin foszfát és ATP termeléssel), csak később kezd a vér pH savi irányba eltolódni a tejsav okozta acidózis miatt, az izmok fokozott perifériás működése és a légzési láncban a széndioxid előállítás és tüdőkeringésbe szállítása pedig adaptívan fokozza a tüdő és az agy keringését. A maximális oxigénfelvételt ( $VO_2max$ ) a nyugalmi értékhez viszonyítva ( $1 MET^2 = 3,5 \text{ ml O}_2/\text{testsúlykg/perc}$ ) egészséges fiatalnál az edzettség függvényében 10-18-szoros értéket is kaphatunk a maximális aerob kapacitás jellemzésekor, bajnok sportolók 20 MET értéket is elérhetnek.

#### WASSERMAN ciklusok



6. ábra A sejt- és légzés-keringés szintű terhelési adaptáció<sup>3</sup> [8][9]

<sup>2</sup> MET: metabolikus ekvivalens: nyugalmi ülő helyzetben mért oxigénfogyasztás percre és testsúlykilogrammmra számítva

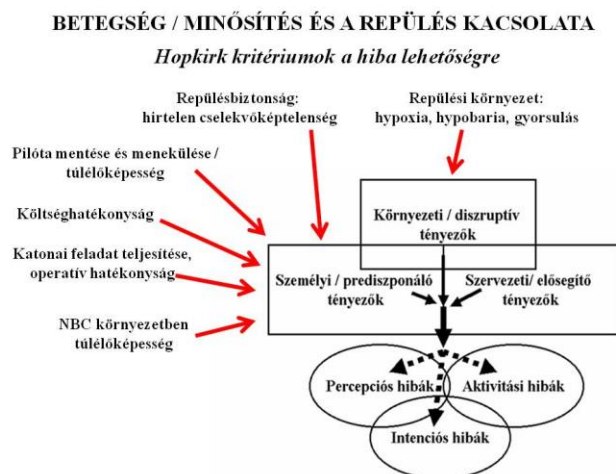
<sup>3</sup>  $Q_{CO_2}$  és  $Q_{O_2}$  széndioxid és oxigén mennyiség sejtszinten,  $V_{CO_2}$  és  $VO_2$  térfogat a tüdőben, SV – stroke volume balkamra lökettérfogata

## FIZIKAI ÁLLÓKÉPESSÉG REPÜLÉS-ÉLETTANI ÉS BIOKÉMIAI VONATKOZÁSAI

Annak a végső repülésbiztonsági célnak az eléréséhez, hogy ne a humán tényező legyen a leggyengébb láncszem, azaz a sikeres feladat teljesítést korlátozó, limitáló tényező, vagyis ahhoz, hogy a pilóta az aktuális harci feladatot „béke” kiképzési körülmények között és hadműveleti területen is magas színvonalon el tudja látni, szükség van a mentális teljesítmény, lelki elkötelezettség (motiváció) mellett a **fizikai teljesítőképesség folyamatos biztosítására**. Csak az „ép testben ép lélek” ókori elv érvényesülésével érhető el a szellemi-lelki-fizikai erő-kifejtés teljes harmóniája, amely kritikus helyzetben (vészhelyzet vagy harci manőver során, ellenséges területen a túléléshez) nélkülözhetetlen a sikeres feladat végrehajtáshoz. (A Hopkirk kritériumok írják le a pilóta teljesítmény minősítési szempontjait humán orvosbiológiai szempontból harctéri alkalmazás, sérülés vagy betegség esetén, melyek a hibafolyamatban személyi predisponáló tényezőként közrejátszhatnak (7. ábra). [10] Ennek gyakorlati fontosságát valós NATO hadművelet és harci kutató-mentő feladat végrehajtása is igazolja.<sup>4</sup>

A pilóta fizikai állóképességének jelentőségét két fő szempontból értelmezhetjük:

1. a repülésélettani paraméterek (gyorsulás, oxigén hiány) okozta **pillanatnyi** extrém fizikai teljesítményigény (pl. „dogfight” légi harc, műrepülés közben, illetve nagymagassági kihermetizációkor, vagyis a kabinyomás hirtelen elvesztésekor, a túlnyomásos légzés okozta, fordított légzési ciklussal járó, erőltetett légzéssel járó erőfeszítés kapcsán).
2. A szív-érrendszeri kockázati tényezők okozta (alapvetően az érlemeszesedéshez progresszív folyamatához köthető) megbetegedési kockázatát alacsony szinten tartva, **hosszútávra** határozza meg a pilóta munkavégző képességét.



7. ábra Pilóta minősítési szempontjai a hibalehetőség szempontjából [10]

Ehhez természetesen szükség van a fizikai állóképesség (fitness) biokémiai – élettani háttérnek ismeretére, és az állóképesség fokozás lehetőségeinek elemzésére a speciális repülési környezetben, összevetve a technikai (teljesítményfokozó) megoldások, illetve szomatikus (testi-fizikai) tűrőképesség javításának lehetőségeit a kiképzés során. A hosszútávú fizikai

<sup>4</sup> „Beyond enemy lines – Ellenséges terület” című film Owen Wilson főszereplésével a délszláv válság során szerb terület fölött lelőtt F-117 (Lopakodó) amerikai gép pilótájának (Dale Zelko szlovén származású tiszt) túlélő képességét szemlélteti.

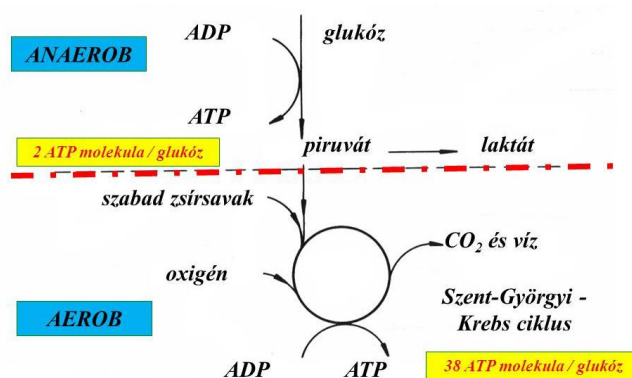


állóképesség jelentőségét pedig a Honvéd Testalkati Program nemcsak a pilóta állomány, hanem a sérülékenyebb (szív-érrendszeri rizikó faktorokkal halmozottan rendelkező repülést kiszolgáló mérnök-műszaki állomány) repülőorvosi szakszolgálati engedélyeinek minősítése során bizonyítja, az egészségnevelés és fejlesztés kardinális fontosságát hangsúlyozza.

Hirtelen cselekvőképtelenséget leggyakrabban a fej-láb irányú gyorsulás/túlterhelés okozta akut agyi keringésromlás (G-LOC<sup>5</sup>) és a magassági oxigénhiány tud okoznia, mindkettő a túlterhelés/hypoxia függvényében akár 15 s alatt teljes eszméletvesztést provokálhat, ily módon a legnagyobb repülésbiztonsági élettani kockázat.

## HYPOXIA – „még mindig csendes gyilkos”

A biokémiai háttérrel (a tengerszinti normális oxigén résznyomás mellett teljes oxigenizációt és a nagymagassági hypoxiát, csökkent külső oxigénkínálatot, szöveti alacsony oxigén szintet) összehasonlítva azt mondhatjuk, hogy **gyökeresen más a helyzet, a tengerszinti aerob terheléshez képest**. Nincs lehetőség sem mikroszinten a kellő oxigénszint folyamatos biztosítására az izmok aerob munkavégzéséhez - töredékére esik vissza az ATP képzés (8. ábra) –, sem a légzés-keringés szintjén nem következik be olyan adaptív válasz, ami a Wassermann ciklusok akadálytalan felpörgetését lehetővé tenné.



8. ábra Intermediér anyagcsere és ATP képzés [11]

Az agy szintjén a vegetatív idegrendszer speciális tónusvesztése miatt minimális a terheléses válaszreakció, a légzés szintjén pedig kiesik a kisvérköri 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 résznyomás miatt: a jó diffúziós kapacitással rendelkező CO<sub>2</sub> szabadon eliminálódik, a vér akut pH emelkedését (lúgosodását) és ezzel az agyi keringés romlását váltva ki. Utóbbi a NIRS<sup>6</sup> technikával közvetlenül mérhető és bizonyítja a magassági hypoxia elhúzódó, agyi keringést rontó hatását. Vagyis mind az agyi légzés-keringés vezérlés, mind az oxigén transzport rendszer, mind a fizikai teljesítménnyel jel-

<sup>5</sup> G-LOC: G induced loss of consciousness (túlterhelés okozta eszméletvesztés)

<sup>6</sup> NIRS: Near infrared spectroscopy: infravörös tartományhoz közel 880 mikrométernél meghatározott agyi oxigénszint a homloklebeny fölé helyezett elektródákkal.

lemzett vázizomzat fokozottan szenzitív az oxigén hiányra és széndioxid kimosásra, komplex adaptációs zavar alakul ki (9. ábra) [12].

Ennek következménye, hogy a magasság függvényében az oxigénhiány és széndioxid vesztes miatti agyi érzékület együtt érezteti hatását, a mentális teljesítménycsökkenés sokkal kritikusabb, mintha csak az oxigén kínálat csökkenne le, de a széndioxid szint változatlan marad [13].

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 (számolási nehézség, dezorientáció, szédülés), 10–14 ezer láb (3000-4200 m) közötti magasságon pedig Apache 64D pilóták 70%-a egyértelműen teljesítmény csökkenést tapasztalt [14].

Az aerob terhelhetőségnek sajnos nincs egyértelmű, biztos prediktív értéke a jó hypoxia tűrő képességre. Barokamrában (földi körülmények között szimulált magasságban) az éves repülő-alkalmassági minősítő vizsgálat során az 5500 m magasságon hypobárikus hypoxiában nyújtott teljesítmény nem korrelál egyértelműen a fizikai (szív-érrendszeri) teljesítőképesség klinikai megítélésére alkalmazott kerékpár ergometriás teljesítménnyel. A klinikailag kivizsgált, „egészséges” és a kerékpár terhelésen az elvárt minimum 2,2 W/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: vérnyomás-csökkenést, pulzus lassulást és a szellemi teljesítmény jelentős csökkenését, az önmentésre való képtelenséget. Ezt az ájulás közeli vagy a keringés tényleges összeomlását jelentő ájulásos rosszulletet 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 [12].



9. ábra Oxigénhiány okozta egyensúlyvesztés a vegetatív idegrendszerben [12]

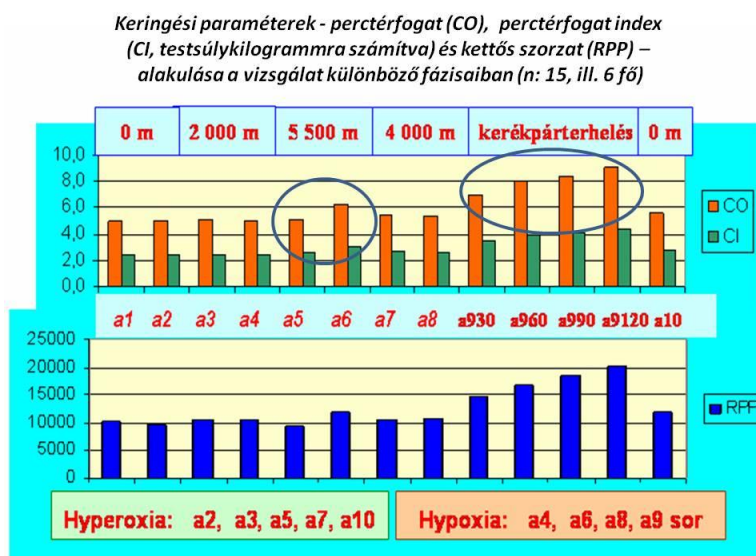
A hypoxia tehát már „nyugalmi helyzetben” is rontja a keringés-légzés stabilitását és a szellemi teljesítőképességet (már amennyiben egy hadműveleti repülés okozta stressz annak tekinthető). Ha a magassági hypoxiás epizódra ráakadik bármilyen jelentősebb fizikai aktivitás is, akkor a helyzet gyors ütemben tovább romlik: a keringés gyorsulásával lecsökken a tüdőkeringésben a tranzitidő, vagyis az az időtartam, ami a hemoglobin vérfesték molekula számá-



ra rendelkezésre áll, hogy az amúgyis csökkent parciális oxigénnyomás gradiens mellett az oxigén felvétel (szaturáció) megtörténjen.

A magassági terhelés alacsonyabb maximális keringési és légzési perctérfogatot eredményez, csökkent szívizom pumpafunkcióval és elérhető maximális teljesítménnyel. Beteg emberen már 3000 méteres magasságban mintegy 10%-kal csökken a fizikai teljesítmény MET egységekben kifejezve [15]. A mellkasi nyomás vagy fájdalom (angina) illetve az EKG-n az ST szakasz depressziója kisebb munkaterhelés illetve rövidebb idő után jelentkezik. Fentiek vonatkoztathatók a szélsőséges, magaslati körülmények között bevetésre kerülő egészséges katonákra is (pl. Afganisztánban). A magasság- és terhelésfüggő akut hegyi betegség veszélyét 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 [16].

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/min, P: 180/min normális értéke **6310 m-n**  $VO_2max$  1 l/m értékre, a maximális pulzus 130/min szintre csökken. Mexikóvárosban (tengerszint fölötti magasság 2240 m) az 1968-as olimpián a futószámok eredménye 5-10%-kal rosszabb volt! Normobáriás hypoxiában (tengerszinti össznyomáson, de az oxigén százalékos arányának csökkentésével) nemcsak barokamrában, de ROBD<sup>7</sup> 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  $VO_2max$  veszítést [17].



10. ábra Keringési teljesítmény jellemzők alakulása a hypoxiás terhelés fázisaiban (n: 6 fő)

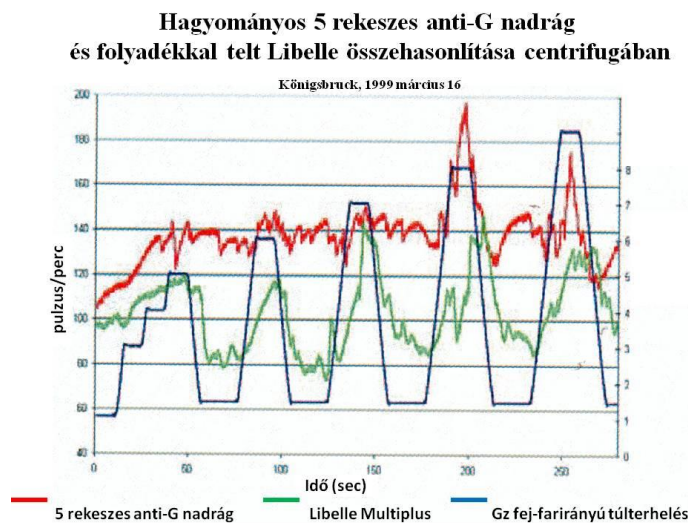
Saját kísérleti elrendezésünkben Impedancia Kardiográf segítségével vizsgáltuk barokamrában a nyugalmi és kerékpár terheléses maximális terheléses kapacitás alakulását. A 4000 m-es kerékpár terhelés alatt tapasztaltuk az élettani adaptáció jeleit, a perctérfogat és a frekvencia

<sup>7</sup> ROBD: Reduced Oxygen Breathing Device: Csökkentett oxigéntartalmú (normobáriás) gázkeverék Lélegeztető Eszköz: 10,5% arányú oxigén kb. 5300 m-es magasságnak felel meg.

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 (10. ábra) [12].

## GYORSULÁS – „eszméletvesztés álomképekkel”

A földi evolúció során az élő szervezetek az 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 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 visszér rendszerében) megrekedő jelentős vérmennyiség<sup>8</sup> akutan hiányzik a keringésből, 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<sup>9</sup>, Libelle Plus<sup>10</sup>) csak mérsékelhető (11. ábra) [18].



11. ábra azonnali pulzus szám emelkedés túlterhelés során, különböző technikai védelem mellett [18]

Élettanilag azonban az azonnali adaptáció így is csak részleges lehet, hirtelen túlterheléskor a vérnyomás csak lassan tér vissza az elfogadható szintre, ami elfogadhatatlan cselekvőképességi kockázatot jelent. (nem kellemetlen, álomképekkel kísért teljes és részleges emlékezetvesztés, „lebegés” kísérheti, akár 15–30 s időtartamban) (12. ábra) [11].

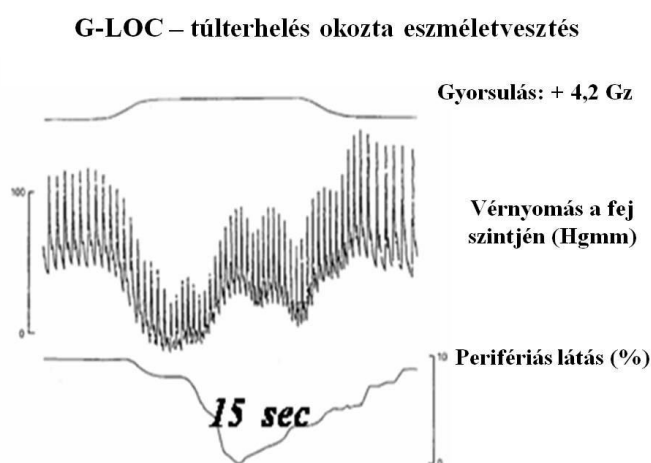
<sup>8</sup> pooling – a vér összegyűlése az alsó testfélben fej-far irányú túlterhelés során

<sup>9</sup> FCAGT: full coverage anti G trousers – gázzal telt, teljes testfedésű anti G nadrág

<sup>10</sup> Libelle plus: folyadékkal telt anti G ruha

Folyamatos kényszer az anti-G feszítés (AGSM<sup>11</sup> - izometriás izomkontrakció fenntartása az alsóvégtag és a gluteális régió nagy izmaiban ill. a hasprés és Valsalva manőver<sup>12</sup>), ami rendkívül fárasztó. A legújabb fejlesztésű pneumatikus G-RAFFE<sup>13</sup> ruhánál csökken csak értékelhetően az eszméletvesztés és a kifáradás kockázata, még változó irányú túlterhelés, push-pull manőver során is [19].

Az aerob edzettség elsősorban a fokozatos pulzusszám emelkedéssel, a VO<sub>2</sub>max emelésével és a tejsav termelés 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. Kiváló magyar pilótanövendék (civilben testnevelőtiszt) 18 MET aerob kapacitással (elit kategória a maximális oxigénfelvevő képesség alapján) az NFTC<sup>14</sup> programban alkalmatlan minősítést kapott, előbb a kiképzési repülés alatt bejöveteleszállás 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<sup>15</sup>) közben 6 G túlterhelésnél bekövetkező eszméletvesztés és átmeneti cselekvőképtelenség miatt. Az előzetes supramax (teljes kimerítéses futószőnyeg) terhelés során a szívfrekvencia elérte a 200/min értéket, a centrifugában – **rövidebb összerhelési idő alatt, alacsonyabb frekvenciánál** (150/min) már összeomlott az agyi keringése!



12. ábra Azonnali vérnyomás esés és látásromlás fej-farirányú túlterhelés alatt [11]

Általánosságban is elmondható, hogy a kb. hasonló időtartamú (10–15 s időtartamú) 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

<sup>11</sup> AGSM: anti-G straining manoeuvre – túlterhelés elleni izomfeszítési manőver

<sup>12</sup> Valsalva manőver: légzés visszatartás és hasprés a mellkasi nyomás emelésével növeli az agy szintjén is a vérnyomást, ílymódon segít fenntartani az agyi keringést.

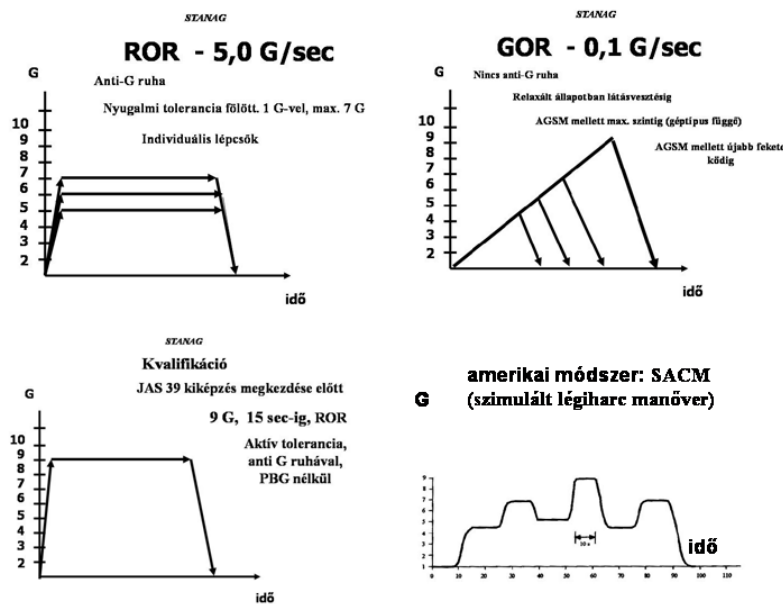
<sup>13</sup> G-RAFFE - G-NIUS Pte Ltd által fejlesztett okos G védelem: reliable - megbízható, advanced – fejlett, fast – gyors, fighter – harci pilótáknak, equipment - felszerelés

<sup>14</sup> NFTC – NATO Flight Training in Canada – a NATO közös repülőharcászati kiképző programja, melyben leendő magyar pilóták is részt vesznek még a GRIPEN átképzés előtt.

<sup>15</sup> GOR: gradual onset rate, kb. 0,1 G/sec túlterhelés növekedési profil centrifuga létesítményben

ság választ tesz lehetővé, mint a G-túlterhelés alatti AGSM és Valsalva, melynek célja a túlterhelés alatt a vér hidrosztatikai nyomásgradiensének 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<sup>16</sup> profil mellett) minősítik, a svéd követelmények szerint (13. ábra) [20].

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, melyen 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.



13. ábra lassú (GOR) és gyors (ROR) ütemű túlterhelés a svéd GRIPEN programban, valamint a szimulált légiharc profilja

A 30 másodpercig tartó maximális erő kifejtésből meghatározható a maximális anaerob kapacitás, amelyet általában két értékkel jellemezhetünk: csúcsteljesítménnyel és az átlagos teljesítménnyel. A csúcsteljesítmény az öt másodperces intervallumokra bontott munkavégzés bármelyikében jelentkező, a többi szakaszét meghaladó teljesítmény leadás. Ennek értéke valószínűsíti az alaktacid, foszfátokkal megszerzhető energiakészletet. Az átlagos teljesít-

<sup>16</sup> ROR: Rapid onset rate – 3–5 G/s gyorsulási ütem növekedés

mény kiszámítható a 30 másodperc alatt folyamatosan mért fordulatszám alapján számított pillanatnyi teljesítmények átlagaként, mely a bruttó anaerob kapacitást jellemzi.

De ez a folyamat („hirtelen csúcsrajáratás”) 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<sup>17</sup> és a Wingate tesztet a szelekciós folyamatban, a G-tűrő képességet igazából a DFS<sup>18</sup> centrifuga tesztek során kell felépíteni a jelölteknel és minősítő csúcsterhelés során igazolni a GRIPEN átképzés során.

## FIZIKAI ÁLLÓKÉPESSÉG ÉS EGÉSZSÉGNEVELÉS A KATONAI PÁLYÁN

A sport, a fizikai edzettség jótékony hatása sokrétű: javul az aerob szív teljesítmény, javul a munka teljesítmény, csökkennek a test/vérzsír szintek, csökkent a depresszió és szorongás, hosszabb élettartamot eredményez. Ezt a sportorvosi és kardiológiai klinikai útmutatók egyértelműen bizonyítják [21]. A fizikai edzettség jelentősége a katonaaállomány számára még egyértelműbb: alacsonyabb megbetegedési hajlam és halálozási mutatók mellett hosszabb ideig - megtartott cselekvőképesség és munkaképesség, megtartott hadrafoghatóság lesz az eredménye. A fizikai edzettség jelentősége a pilóta számára még közvetlenebb: fizikai stresszorokkal szembeni ellenállóképessége nő, javul a repülésbiztonság humán összetevője.

Az általános jóllét és egészségi állapot meghatározásában több, mint 50%-ban az egészséges életmód meghatározó. Bár a repülő-hajózó állomány mind a polgári-, mind a katonai repülésben egészség tudatosabb, a várható megbetegedési és halálozási mutatók ugyanazt a betegség csoport eloszlást mutatják, mint az általános populációban, legfeljebb 3–5 évvel későbbi kezdettel, köszönhetően a rendszeres szűrésnek és egészségnevelésnek. A leggyakoribb és legveszélyesebb szív-érrendszeri betegségek szempontjából meghatározó, közös pathomechanizmusra, az atherosclerosis (érelmeszesedés) általános folyamatára visszavezethető elváltozások azonban a pilóták populációját is érintik, legyen szó bármely repült géptípusról. Az érelmeszesedés fiatal korban megkezdődik és szervi lokalizációtól függően hamar tüneteket okozhat [22].

Ilyen szempontból a pilóták megbetegedési statisztikája, morbiditási jellemzői az általános népesség betegségi statisztikájával mutat hasonlóságot: a kor előre haladtával fokozódik a szív koszorúereiben az érelmeszesedés. A közforgalmi repülésben egyébként még aktív (tehát tünetmentes) pilóták 43%-ánál már komoly, kórbontanilag értékelhető elváltozás volt kimatatható. [23] Még a USAF Amerikai Légierő statisztikáiban is a végleges letiltások között vezető helyen szerepelnek olyan népegészségügyi problémát jelentő, az általános populációban is leggyakoribb betegségek, mint a szív koszorúér betegség, magas vérnyomás betegség és a cukorbetegség. [24] A halálos légibalesetek statisztikáiban még az egészségügyi szem-

---

<sup>17</sup> OBLA teszt: Onset Blood Lactate Accumulation – tejsav felhalmozódási küszöb, az aerob-anaerob küszöb átcsapás meghatározására.

<sup>18</sup> DFS: Dynamic Flight Simulator: dinamikus repülési szimulátor (centrifuga) Linköpingben

pontból szigorúan ellenőrzött katonai repülő-hajózó állomány körében is fordul elő hirtelen szívhalál okozta légikatasztrófa (14. ábra) [25].

Ezért nem csak orvosi etikai szempontból, de a repülésbiztonság érdekében is változatlanul nagy figyelmet kell fordítani a rendszeres szűrővizsgálatokra, figyelembe véve azok nem 100%-os prediktív (jósló) értékét, keresni kell az érlemeszesedésre utaló korai jeleket. Különösen a harcéri, aktív missziók esetében figyelembe veendő a stressz, a vegetatív izgalmi szint kóros fokozódása, ami viszonylag fiatal életkorban is váratlanul okozhat cselekvőkép-  
telenséggel járó ritmuszavart, vagy mellkasi fájdalmat (anginát) az érlemeszesedés talaján. (Afganisztánban HH 60 G helikopter zuhant le hatfős személyzettel a fedélzetén; a térbeli dezorientáció mellett erősen felmerült a 39 éves, korábban teljesen egészségesnek tartott pilóta akut cselekvőkép-  
telensége a mellkasi fájdalom miatt. A szív koszorúerein a boncolás során ugyan-  
is a bal főtörzsön 95%-os szűkületet találtak.) [26].

EGÉSZSÉGÜGYI TÉNYEZŐK SZEREPE A HALÁLÓS LÉGIBALESETEKBEN				
Kategória	Összes baleset	Egészségügyi okok		
		SZÍV érrendszeri	Egyéb	Összes (%)
Vitorlázó	67	6	2	8 (12)
Magán	375	9	17	26 (7)
Kereskedelmi	114	4	1	5 (4)
<b>Katonai</b>	<b>407</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>8 (2)</b>
Ejtőernyő/ siklóernyő	37	0	0	0
<b>ÖSSZES</b>	<b>1000</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>47 (4,7)</b>

14. ábra Halálos légibalesetek egészségügyi okai [25]

Az emelkedett szív-érrendszeri rizikóprofil (dohányzás, testsúly fölösleg, magas vérzsírok, magasvérnyomás) elleni időbeli küzdelem a nem gyógyszeres (non-farmakológias, életmódi) therápia időbeni bevezetésével kezdődik, magában foglalja a diétás tanácsadást, testsúly csökkentő előírást és annak visszaellenőrzését, a máj esetleges elzsírosodásának korai monito-  
rizálására a májfunkció gyakoribb ellenőrzését, kondíciójavítást és ennek visszaellenőrzését  
soron kívüli kerékpár terheléses vizsgálattal. Ezekre a figyelem felhívó és ösztönző módsze-  
rekre a mindennapi repülőorvosi gyakorlatban egyre nagyobb hangsúlyt fektetünk, biztató  
eredményekkel: a repülő-hajózó állomány hosszútávú követéses vizsgálatai az egészségtuda-  
tos, fitt, alacsony szív-érrendszeri rizikójú pilóták rendszerben maradását igazolják [27].

A klinikai szempontú (kardiológiai tapasztalaton alapuló<sup>19</sup>) szív-érrendszeri rizikó elemzést (haskőrfogat mérése) először az Amerikai Légierő emelte be a fizikai edzettséget megítélő kombinált pontszámba: csak 50%-ot ad az aerob földi síkfutásra, 30%-ot a testalkatra (ez gyakorlatilag a haskőrfogat mérését jelenti) és 20%-ot az izomerőre (felülésre és fekvőtá-  
maszra). (A haskőrfogat férfiaknál 102 cm fölött magas kockázatú, kóros, más tényezőktől

<sup>19</sup> EBM: Evidence Based Medicine – tényeken alapuló orvoslás



függetlenül emeli a szív-érrendszeri történés kockázatát. A BMI<sup>20</sup> testtömeg index pedig 25 kg/m<sup>2</sup>-ig optimális.)

A fizikai teljesítőképesség túlzott (vagy egyéb pl. gyógyszeres) növelése a légierő vonatkozásában veszélyekkel járhat. Felmerülhet az aerob kapacitás gyógyszeres fokozásának lehetősége is: a kanadai 3,2 km-es „harci futás” (Warrior test) 11 kg-os menetfelszereléssel történő végrehajtása során az ephedrin és koffein ugyan javította a futási teljesítményt, de magasabb szívfrekvencia tartomány mellett, tehát repülési környezetben alkalmazása ellentmondásos lenne [28]. Helyette szintén kanadai szerzők felvetik az izomerő-feszítés, különösen a légzőizmok erősítését-gyakoroltatását a G-tűrőképesség fokozására [29].

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 megfelelni a Hornet által támasztott +G<sub>z</sub> gyorsulás tűrő képességi kihívásoknak: átlagos maximális oxigén felvételük 50 ±6 ml oxigén/testsúlykg/min volt, ami 14 MET-nek felel meg [30]. 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) [31].

Magyar pilótanövendék példájával szemléltettem, hogy a gyorsulás-túlterhelés tűrőképesség szempontjából a túlzott aerob kapacitás nem biztos, hogy előnyös. Aki sokat fut, annál a szív-érrendszere gyakran egy gazdaságos „alapjáratot” alakít ki, alacsony pulzusszámmal, nagyobb szív összehúzóerővel, azaz „lökettérfogattal”. Ez a változó gyorsulások-túlterhelések mellett kifejezetten hátrányos lehet, a pilóta képtelen lesz a szívfrekvenciát kellő gyorsasággal felporgetni („gázt adni”), azaz a pillanatnyi keringési perctérfogat kevés lesz az aktuális (agy, szív és vázizomzat által) megkívánt vérátáramláshoz képest. Ezért több légierő ajánlásában limitálja a heti futási teljesítményt, 9 mérföldnél (azaz kb. 15 km-nél) többet egyáltalán nem javasol (az amerikai légierő futás felmérésében is csak másfél mérföld szerepel), nehogy a kedvezőtlen pulzuslassulás (és sportszív, vastag szívizomzattal) rontsa a G gyorsulástűrő képességet [32].

Az Amerikai Légierő kidolgozott egy súlyemelő programot is, amely a vázizomzat tartós megfeszítésével és izometriás összehúzóerővel az anti-G feszítési manőver hatékonyságát volt hivatott növelni. Úgy találták, hogy 12 hetes speciális súlyemelő program révén 53%-kal sikerült növelni a SACM<sup>21</sup> a tűrőképesség idejét [33]. Később – az ízületekre a túlterhelés során kifejtett káros hatása miatt – ezt a programot törölték, bár a nyaki izmok minden irányú erősítésére, a nyaki gerinc kopásos, elfajulásos betegségeinek 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 típusal ugyanis egyértelműen összefügg a mágneses rezonancia képeken látható ágyéki I–IV. csigolya elfajulása a nagy manőverező képességű gépeken repülő pilótáknál [34]. Ilyen típusú edzés (erőgép, TRX<sup>22</sup>, funkcionális, saját súllyal történő edzés) a gerincoszlop működési egységeinek (izmok, szalagok, kiegészítő izmok) épségét őrizheti meg, meg-

---

<sup>20</sup> BMI: Body Mass Index – testfelszín m<sup>2</sup>-re számított testsúly kilogramm

<sup>21</sup> SACM: simulated air combat manoeuvre: szimulált légi harc centrifuga programban

<sup>22</sup> TRX: teljes testtel végzett ellenállásos edzés (Totalbody Resistance Exercise)

előzve a sisakra illesztett NVG készülék (túlterhelés alatt többszörös) súlya okozta fokozott nyaki izomfeszülés, nyakfájdalom és kopásos-elfajulásos betegségek kialakulását.

Hosszabb távon természetesen a fizikai edzettség elválaszthatatlan az általános szív-érrendszeri rizikóprofil alacsony szintjétől. A jó fizikai állapot fenntarthatósága viszont a kezdetektől egy egészségtudatos magatartást és pozitív attitűdöt követel meg a pilótától, amit már a kiválogatás időszakában érdemes számításba venni: a sportos életmód, a dohányzás kerülése előnyt jelenthet a későbbiekben, hosszabb aktív katonai karriert és betegség mentes periódust ígér.

A teljes egészségügyi szolgálat feladata először és elsőként hozzájárulni a **hadműveleti feladat megvalósításához az élőerő megőrzése révén**, A kiképzett humán erőforrások lemorzsolódása a nem megfelelő alkalmasság-vizsgálatok következtében, a betegségek és sérülések kritikusan leronthatják a parancsnokok képességét a hadműveleti céljaik megvalósításában. Nem csak NATO szövetségi szinten, de a Magyar Honvédség egészség-megőrzési programjaiban is prioritást kap a prevenció és rehabilitáció, melynek jelentősége nő az egészségügyi ellátás rendszerében, különösen az extrém fizikai és pszichikai terhelést jelentő beosztásokban [35].

A Magyar Honvédség komplex egészségnevelő programot indított, melynek célja a halmozott rizikófaktorokkal rendelkező állomány beazonosítása, alakulat-specifikus jelleggel az egészség-fejlesztési fő irányok meghatározása. Első lépésként az egészségmagatartási dimenziók elemzése történt meg, a MH rizikótérképének elkészítésével [36]. A helyzetfelmérés alapján ma már jogszabályi keretek<sup>23</sup> között, a MH Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság, Közegészségügyi – Járványügyi Szolgálat Egészségfejlesztési Osztályán, Dr. Sótér Andrea PhD. osztályvezető vezetésével, a Honvéd Testalkati Program célkitűzéseit megvalósítva van mód és lehetőség a célzott egészségfejlesztésre, a rizikóprofil csökkentésére, a BMI testtömeg index és test zsírszázalék meghatározása után, diétás útmutatás, fogyás, életmódi tanácsadás, edzés program kidolgozásával. Ezzel a tevékenységgel minden állománycsoportban elősegítik az egészségesebb, hosszabb ideig szolgálat- és harcképes állomány rendszerben tartását [37].

## ÖSSZEFOGLALÁS

A pillanatnyi fizikai teljesítőképesség jelentősége a repülésbiztonság szempontjából vitathatatlan, személyi hibára predisponáló tényezők egész csoportjánál a hirtelen cselekvőképtenség oki tényezője. Ennek élettani (biokémia) hátterének felvázolásával célt az volt, hogy kiemeljem a repülés speciális környezeti élettani tényezőit, melyek ezt hirtelen leronthatják.

Az aerob kapacitás szintje az emberi faj kiemelkedése és fejlődése szempontjából evolúciós előnyt jelentett. Mind a felegyenesedett járás, a bekövetkező csontváz-rendszeri (statikai) és vázizomzatbeli (dinamikai) fejlődés a menekülés vagy zsákmányszerzés szempontjából meghatározó futási teljesítményt növelte, mely természeti népeknél még ma is alapvető, a napi életforma része.

A repülés, mint magasan fejlett, technicizált három dimenziós mozgási képesség és lehetőség megköveteli a magasszintű aerob teljesítményt is (mint biztos biológiai-élettani hátteret), de

---

<sup>23</sup> 10/2015. (VII. 30.) HM rendelet A katonai szolgálatra való egészségi, pszichikai és fizikai alkalmasságról, valamint a felülvizsgálati eljárásról

egyelőre úgy tűnik – a levegőnél nehezebb repülőeszközök fejlődésének evolúciós távlatban röpke 120 éve alatt – hogy a magasságélettani kockázatok (oxigénhiány, gyorsulás, vibráció) megfelelő kezeléséhez populáció szintű adaptív evolúciós válasz és szelekciós előny nem várható el. Az individuális válaszreakció összetettségét mutattam meg oxigénhiány, túlterhelés okozta agyi keringészavar esetében, rámutatva a „földi” állóképesség fokozott sérülékenységre, instabilitására ebben a szokatlan helyzetben. Az aerob kapacitás, illetve a futási teljesítmény túlzásba vitelét nem javaslom a nagy manőverezőképeségű gépek pilótáinál, kedvezőtlen szív-érrendszeri hatása miatt.

Fentiek alapján hangsúlyozom az egyéni repülőorvosi kiképzés fontosságát: stabil, magasszintű fizikai edzettség talaján kell a megfelelő földi alapú szimulációs környezetben (barokamrában és centrifugában a hypoxia illetve gyorsulás ellen, Gyro forgókabinban a dezorientáció ellen) kialakítani, a repülésélettani stresszor tényezőkkel szemben a speciális stressztűrőképességet fejleszteni, mind jobban közelítve a valós bevetés/végrehajtás körülményeihez. (Train as fight, fight as train – azaz: Képezd ki, ahogy harcol, harcolj úgy, ahogy (és ami-re) ki vagy képezve).

A hosszútávú munkavégző képesség (szív-érrendszeri rizikó) szempontjából az amerikai légi-erőhöz hasonlóan a jó haskörfogat (testtömegindex BMI 25 testsúlykg/testfelszín m<sup>2</sup> alatti) értékét tartom fontosnak. Az egészségtudatos szemlélet és életmód hozzájárulhat a repülőhajózó állomány speciális (rövidebb távú), és általánosságban a honvéd életpálya modell hosszabb távú egészségmegőrzési programjaiban is a szolgálatképesség fenntartásában. Az egészségi állapot megőrzésében fontos szerepe van a Honvéd Testalkati Program elindításának és kiteljesítésének.

Az AVIATION\_HUMAN KKT – a GINOP-2.3.2-15-2016-00007 pályázat (VOLARE projekt) keretében a repülési környezet és humán stressz tűrőképesség dinamikus viszonyának további vizsgálatát tervezi.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Óvári, Gy.: Régi gondok új közelítésben: Vadászpilóta-gépjármű-beszerzés 2000 után. *Hadtudomány* 9: (3-4. szám), pp. 126-141. (online) url: <http://www.zmne.hu/kulso/mhht/hadtudomany/1999/ht-1999-34-14.html> (2017. 03. 08.)
- [2] Kavas, L., Óvári, Gy.: A XXI. század helikopterfejlesztésének néhány fontosabb irányzata. *Repüléstudományi Közlemények (Szolnok, online tudományos folyóirat) XXV. évfolyam* 2013/1., pp. 210-222. (online) url: [http://www.repulestudomany.hu/index\\_rtk.html](http://www.repulestudomany.hu/index_rtk.html) (2017. 03. 08.)
- [3] Reason, J.: Human error: models and management. *British Medical Journal* 2000., 320., (7237) p. 768–770.
- [4] Dunai, P.: Repülő-hajózók speciális földi felkészítésének rendszere. Gumiasztal gyakorlatok hatása az egyensúlyozó képesség fejlesztésére *Repüléstudományi Közlemények (Szolnok, online tudományos folyóirat) XXVIII. évfolyam* 2016/3., pp. 16. (online) url: [http://www.repulestudomany.hu/index\\_rtk.html](http://www.repulestudomany.hu/index_rtk.html)
- [5] Király, T., Szakály, Zs.: Mozgásfejlődés és a motorikus képességek fejlesztése gyermekkorban. url.: [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0025\\_Kiraly-Szakaly-Mozgasfejlodes\\_es\\_a\\_motorikus\\_kepesssegek\\_fejlesztese\\_gyermekkorban/ch07s02.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0025_Kiraly-Szakaly-Mozgasfejlodes_es_a_motorikus_kepesssegek_fejlesztese_gyermekkorban/ch07s02.html) 7.5 ábra. TAMOP 4.2.5 Pályázat, 2011. (2017. 03. 08.)
- [6] Kedvesné Kupai, K.: Teljesítményfokozás lehetséges és tiltott eszközei ISBN 978-963-306-338-5. url.: [http://www.jgyfk.u-szeged.hu/tamop13e/tananyag\\_html/tananyag\\_teljesitmenyfokozas/20\\_az\\_izommkds\\_energiaforrsai:](http://www.jgyfk.u-szeged.hu/tamop13e/tananyag_html/tananyag_teljesitmenyfokozas/20_az_izommkds_energiaforrsai:) 9. ábra, 6. táblázat. TAMOP-4.1.2.E-13/1/KONV-2013-0011 (2017. 03. 08.)
- [7] Gyimes, Zs.: Kondicionális képességfejlesztés. Testnevelési Egyetem előadás url.: <http://tf.hu/wp-content/Kondicionalis-kepesssegefjlesztes-eloadaskivonat-Gyimes-Zsolt.pptx> 11. ábra (2017. 03. 08.)
- [8] Balogh, L.: Bevezetés a sportdiagnosztikába. Campus kiadó, 2015. ISBN 978-963-9822-43-6 (TAMOP-4.1.2.E-15/1/Konv-2015-0001) projekt p. 126. online url.: [sportstudomany.unideb.hu/wp-content/uploads/.../Bevezetes-a-sportdiagnosztikaba.pdf](http://sportstudomany.unideb.hu/wp-content/uploads/.../Bevezetes-a-sportdiagnosztikaba.pdf) (2017. március 02.)
- [9] Ihász, F.: Terheléses laborgyakorlat. [http://www.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/atfk/ tematikak/ TEST-NEVELES\\_TANSZEK/ dr\\_ihasz\\_ferenc\\_csatolható\\_dok/terheles\\_laborgyakorlat.doc](http://www.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/atfk/ tematikak/ TEST-NEVELES_TANSZEK/ dr_ihasz_ferenc_csatolható_dok/terheles_laborgyakorlat.doc). (2017. március 02.)
- [10] Chappelow, J.W.: Error and accidents. In Ernsting, J. (Ed.): *Aviation Medicine* Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 3. Kiadás, p. 599.
- [11] Ernsting, J. (Ed.): *Aviation Medicine* Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 3. Kiadás, pp. 27., 134.
- [12] Szabó, S.A.: 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, pp. 84-85.
- [13] 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. doi: 10.2147/PRBM.S51844, url: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4234165/>
- [14] 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.
- [15] Hultgren H.N.: *Scientific American (OrvosTudomány 1993)*, Orvostudomány aktuális kérdései IX. Magaslati orvosi problémák p. 12.
- [16] 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. url: [https://nso.nato.int/protected/nsdd/\\_CommonList.html](https://nso.nato.int/protected/nsdd/_CommonList.html) (2017.03.08.)
- [17] Calbet, JA, Boushel R, Rådegran G, Søndergaard H, Wagner PD, Saltin B: Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2003. Feb;284(2): R291-303.
- [18] 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). Retrieved from <http://commons.erau.edu/jaaer/vol13/iss2/6> online url.: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1555&context=jaer> (letöltve 2017.03.08.)
- [19] Ledderhos, C., Gammel C., Gens, A.: The new anti-G suit “G-RAFFE” – its power and potential. 85th Annual Scientific Meeting Of The Aerospace Medical Association 2014. online url.: <http://g-niusltd.com/uploads/images/layout/ASMA.pdf>
- [20] STANAG 3827 (Egységes Védelmi Előírás) Tartós G túlterhelési tréning kapcsán megvalósítandó minimális feltételek (online) url.: [http://nso.nato.int/protected/nsdd/\\_CommonList.html](http://nso.nato.int/protected/nsdd/_CommonList.html) (letöltve 2017.03.08.)

- [21] ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescriptions. American College of Sport Medicine 1995. (5.Ed) Baltimore, Williams and Wilkins
- [22] Strong, J et al.: Prevalence and Extent of Atherosclerosis in Adolescents and Young Adults. JAMA. 1999; 281: p. 727-735.
- [23] Taneja, N., Wiegmann, D.A. : Prevalence of Cardiovascular Abnormalities in Pilots Involved in Fatal General Aviation Airplane Accidents . Aviat Space Environ Med 2002. 73. p. 1025-30.
- [24] McCrary, B.F. Van Syoc, D.L.: Permanent Flying Disqualifications of USAF Pilots and Navigators (1995-1999) Aviat Space Environ Med 2002. 73. p. 1117-1121.
- [25] Cullen, S.A., Drysdale, H.C., Mayes, R.W.: Role of medical factors in 1000 fatal aviation accidents: case note study, British Medical Journal, 1997;314:1592, www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2126794 (2012. március.12)
- [26] Aldinger, Ch. , Dunham, W.: Possible heart attack cited in U.S. Afghan crash Washington, 2003. július 3. (Reuters), <http://www.afghanistannewscenter.com/news/2003/july/jul42003.html>, (2008. március 13.)
- [27] Péter, I., Tóth, E., Grósz, A., Hideg, J.: Longitudinális ISZB rizikófaktor vizsgálatok katonai pilótáknál. Honvéddorvos, 2005. 3-4 szám. p. 146-155.
- [28] Bell, D.G., Jacobs, I.: Combined caffeine and epinephrine ingestion improves run times of Canadian Forces Warrior Test. Aviat Space Environ Med 1999., 70., p. 325-329.
- [29] 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., p. 1035-1041.
- [30] 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., p. 739-744.
- [31] 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., p. 131-134.
- [32] Krishnamurty, A: Current concept in acceleration physiology. Essays and articles of Indian Society of Aerospace Medicine, p. 12. www.isamindia.org/essays, (2003.07.07.)
- [33] Epperson, W.L., Burton, R.R.: The effectiveness of specific weight training regimes on simulated aerial combat manoeuvre G tolerance. Aviat Space Environ Med 1985., 56.. p. 534-539.
- [34] 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., p. 1158-1161
- [35] Svéd, L.: A Magyar Honvédség egészségügyi biztosítása, elvének és gyakorlatának változásai, sajátosságai, különös tekintettel a haderő átalakításra, a NATO-ba történő integrálásra, a különböző fegyveres konfliktusok, valamint a békefenntartó, béketeremtő, és –támogató tevékenységre. PhD értekezés, p. 81. ZMNE Hadtudományi Iskola, Budapest, 2003
- [36] Sótér, A. : Az egészségfejlesztési irányok meghatározása a Magyar Honvédség személyi állománya az időszakos egészségügyi szűrővizsgálati eredményeinek tükrében PhD értekezés, 2013. NKE . DOI azonosító: 10.17625/NKE.2014.006.
- [37] Hornyák, B., Kósáné Koppányi, É., Sótér, A., preventive programme aiming complex lifestyle change Hadmérnök, VIII. évf. 4. szám, 2013, december, pp. 252-257.

---

#### **FLIGHT SAFETY ASPECTS OF PHYSICAL PERFORMANCE AND HEALTH AWARENESS**

*Military aviation is extremely demanding complex task requiring continous high level of physical performance, stamina and physical strength both in training and operational settings as well. These parameters have a close correlation with rapid activation of cardiovascular responses specially triggered by aeromedical stressors. Only optimal aerobic and anaerobic peak performance can provide the full capacity and ability to perform flight tasks during high accelerations (G-loads) and can maintain the proper activation of vegetative central nervous system at high altitude in hypoxic state. The general physical fitness is inevitably essential to the long term working capacity, reducing cardiovascular risk profile and supporting mental-spiritual concentration, stamina, self-confidence and motivation. This way it is a fundamental element of flight safety from the human component aspect.*

**Keywords:** *physical performance, aeromedical stressors, accelerations, hypoxia, G tolerance, hypoxia awareness and altitude adaptation, sudden incapacitation and physical stamina*

---

Dr. habil. Szabó Sándor András, PhD

Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

Katonai Műszaki Doktori Iskola oktatója

Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Repülő-és Űrorvosi Tanszék

mb. tanszékvezető (docens)

sasi19620@gmail.com

orcid.org/0000-0002-1362-4723

Dr. habil. Sándor (Alex) András (Andrew) Szabó, PhD

National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training

Lecturer of Doctoral School of Military Engineering

University Szeged Faculty of Medicine Department of Aviation and Space Medicine,

assigned Associate Professor

sasi19620@gmail.com

orcid.org/0000-0002-1362-4723

---

**A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légitözlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közsolgálati 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.**



[http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_1/2017-1-12-0379\\_Szabo\\_Sandor\\_Andras.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-12-0379_Szabo_Sandor_Andras.pdf)