

*Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság  
Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet<sup>1</sup>  
Szegei Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar,  
Repülő- és űrorvosi Tanszék<sup>2</sup>*

## **Pitvarfibrilláció értékelése a repülőorvosi döntéshozatalban**

**Dr. habil. Szabó Sándor András orvos ezredes PhD<sup>1,2</sup>,  
Dr. Németh Lajos ny. orvos alezredes<sup>1</sup>,  
Dr. Tótká Zsolt orvos alezredes<sup>1</sup>,  
Prof. Dr. Grósz Andor ny. orvos dandártábornok, CSc<sup>2</sup>**

*Kulcsszavak: pitvarfibrilláció, repülésélettani stresszorok, gyorsulás- és hypoxia  
tűrőképesség, pillanatnyi cselekvőképtelenség*

A pitvarfibrilláció az egyik leggyakoribb szívritmuszavar, amelynek korral fokozódó prevalenciája, jelentős diagnosztikai és terápiás költsége komoly terhelést jelent az egészségügyi ellátó rendszerben. Speciális megközelítést kíván a fiatalabb korosztályban, kiképzett pilótánál jelentkező megítélése, ahol a munkavégzőképesség fenntartása, a repülésélettani stresszorok okozta hirtelen cselekvőképtelenség veszélyének kiküszöbölése alapvető. Ezért a diagnosztikus kivizsgálás is részletesebb, szükség esetén kiegészül szimulált földi stresszhelyzetben (barokamrában, centrifugában) vagy valós repülés során végzett orvosbiológiai monitorizálással, viszont a klinikai útmutatókban részletezett terápiás eszköztár csak korlátozottan alkalmazható. A kockázati tényezőket is hangsúlyosabban kell értékelni, amelyek ronthatják a pilóta hypoxia- és G (túlterhelés-gyorsulás)-tűrőképességét. Az akut teljesítményromlás (palpitáció okozta szubjektív teljesítményromlás, vagy akár syncope), illetve a hosszútávú szövődmények (tromboembóliás események, szívelégtelenség) veszélye és a repülésbiztonság szempontja indokolja, hogy a pitvarfibrilláció (és általában a ritmuszavarok) elemzését, repülőorvosi döntéshozatali szempontjait egy konkrét esetleírás, a hazai repülő-egészségügyi rendelet, a speciális waiver policy (Különleges Elbírálás amerikai haderőnemi szabályzatai) és az európai civil repülő-egészségügyi jogszabályok alapján áttekintsük.

A pitvarfibrilláció (PF vagy angol rövidítésként AF) az egyik leggyakoribb ritmuszavar, amelynek életkorral növekvő prevalenciája jelentős: az USA-ban 0,4-1%, európai felmérések szerint magasabb, akár 1,5-2,9% között van. A Framingham Heart Study alapján az élethosszig tartó rizikó (a kumulatív incidencia 40 éves kortól 80 éves korra) pedig férfiaknál 26, nőknél 23% [14] [27]. A 65 év feletti lakosság 3-5 százalékában kialakul, fokozott morbiditással és mortalitással jár, rontja a betegek életminőségét és növeli az egészségügyi ellátó rendszer terheit. *Klinikai betegségekhez, kardiális és szisztémás ko-morbiditással társuló formáinak, a szövődményeknek, ezek kezelésének ismertetése nem célunk, csak utalunk az AHA amerikai, ESC európai és MKT magyar kardiológiai társaságok klinikai irányelveire.*

Ritkábban fiatalabb, egyébként egészséges korcsoportokban is előfordul: egy 2012-es brit tanulmány a repülő-hajózó állomány körében is észlelt tünetmentes állapotban előforduló pitvarfibrillációt 0,3%-ban. Fiatalabb korban a szokványos kockázati tényezők a PF jelentkezésére az egyébként befolyásolható „önsorsrontó tényezők” (self-imposed stressors, ahogy a repülőorvosi primer prevenciót célzó egészségnevelési szakirodalom fogalmaz): az excesszív alkohol fogyasztás, dohányzás, túlzott kávé/koffein bevitel, esetleges kábítószer/gyógyszerhatás (stimulánsok), akut hasmenés (dehidráció és elektrolit veszteség), excesszív fizikai terhelés, kifáradás-kimerülés. A PF-t más hangsúllyal, mechanizmussal – természetesen hosszabb távon hatva – idült társbetegségek is kiválthatják és fenntartják. Ezekben a ko-morbiditásokban a PF jelenléte inkább szövődményként (vagy végpontként) értékelendő, bár maga is visszahat az alapbetegsége, a

hemodinamikai dekompenzáció révén súlyosbítva azt: (kezeletlen) hypertónia, hyperthyreodizmus, pangásos szívelégtelenség, szívbillentyű betegségek, kardiomyopátiák, diabétesz állhatnak a háttérben, melyek morbiditását a PF jelentősen ronthatja.

A PF alapjelensége a pitvar „katonikus” elektromos aktivitása, amely irreguláris, akcelerált ritmushoz, pitvari tachyarrhythmiához vezet. Az elindulás gyakran a tüdővénák bal pitvari beömlésénél fellépő pitvari extraszisztole következménye, de a tartós fennmaradás („öngerjesztés”) mechanizmusaként a kutatások során „többszörös, változó reentry körök kialakulása, illetve időben és térben stabil gyors reentry körök (rotorok) „fibrillatorikus vezetéssel” történő terjedése is felmerült, amelyet az alap klinikai betegség több mechanizmussal stabilizál. A klinikai alapfelosztás és kezelési algoritmusok azon alapulnak, hogy mekkora az esély a szinuszritmus visszatérésére, vagy már a PF válik „önstabilizáló” alapritmussá. A korábbi felosztás szerinti paroxizmális (48 órán belül önmagától megszűnő), perzisztens (7 napnál tovább tartó, akár gyógyszeres vagy DC kardioverziót igénylő epizódokkal) és permanens forma (1 éven túl fennálló PF, a ritmus kontroll elvi feladásával) mellé-közé iktatva a legújabb európai klinikai irányelv már külön besorolja az „PF első diagnózisát” és a sokáig fennálló perzisztens PF-t. (ahol a ritmuskontroll újra felmerül) [13].

Ahogy a kardiológus ilyen esetekben az alapbetegség részjelenségeként kezeli az esetlegesen megjelenő ritmuszavart, a repülőorvosi megközelítésben is ilyenkor elsődleges a társbetegségek kizárása vagy a diagnózis megerősítése, illetve a repüléséletteni stresszor tényezőkkel való esetleges interferencia minimalizá-

lása, hogy a repülésbiztonsággal esetlegesen kompatibilis (korlátozott túlterhelés, kabinmagasság, oxigén használat, stb.) repülő alkalmasság elbírálásában kompromisszumot érhetünk el. Ezért a repülőorvosi szakirodalom ilyen esetekben a strukturális szív-érrendszeri, pajzsmirigy, stb. betegség szerint minősít elsődlegesen, figyelembe véve annak terápiás kezelési lehetőségeit. Ilyenkor azonban alapvető etikai elv, hogy a pilótát, mint beteg embert kezeljük, a legkorszerűbb, klinikai guideline-okban meghatározott módszertani elvek szerint és csak ezek után mérlegeljük a terápia esetleges inkompatibilitását vagy kompromisszumát a repülési alkalmassággal. Vagyis figyelembe kell venni a nagyteljesítményű, fordulékony vadászgépeken repülő, jelentős gyorsulásnak, túlterhelésnek (G-hatásnak) kitett, akár nagy magasságban, vészhelyzetben hypoxiás körülmények közé kerülő pilóták esetében azokat a hemodinamikai következményeket, amelyek a pitvari töltőnyomás kiesésével, az (esetleges) magas kamrai frekvenciával történő átvezetés miatt, a terhelési kapacitás csökkenésével jelentkeznek, akár váratlan, akut PF epizód közben. Ilyen értelemben a repülésélettani stresszorok és a klinikai ritmuszavar egymásra hatása dinamikus, kiszámíthatatlanul rontják egymásra vonatkozóan is a tűrőképességet, elsősorban a keringési perctérfogat és agyi perfúzió gyengítésével. Ez a dialektikus kapcsolat nemcsak a körélettani (kialakulási-fenntartási) mechanizmusban nyilvánul meg, hanem az esetleges tünetek szintjén is jelentős átfedés van. Teljes tünetmentesség esetén a repülési környezet olyan „enyhe” tüneteket provokálhat, mint a könnyű szédülés, palpitáció, enyhe bódultság, amelyek „földi páciens” esetében za-

vart még nem okoznak, de egy bonyolult repülési feladat végrehajtása közben a mentális teljesítményt már csökkentti, illetve zavaró lehet, elvonja a figyelmet. Közel syncope, légszomj, mellkasi fájdalom már a földi páciens számára is alarmírozó, a katonai repülésben (különösen légiharcban) a G-tűrőképességet, a túlnyomásos légzés elviselését pillanatok alatt tönkreteszi, ezzel a pilóta harci cselekvőképességét szünteti meg. A technikai védelem (túlnyomásos oxigénlégzés alkalmazásakor a légúti túlnyomás alkalmazása 30-110 Hgmm-es szintig, magassági védőfelszerelés működésekor az effektív keringő vérmenyiség változása) pedig ronthatja a szív-érrendszeri reakcióképességet és provokálhatja a pitvari fal túlfeszülésével a pitvarfibillációt. Hosszútávú (paroxizmális vagy krónikus) PF esetében a szövődmények (tromboembóliás események) is olyan terápiás lépéseket indokolhatnak (gyógyszer szedése a szinuszritmus fenntartása vagy a kamrai ritmus kontroll érdekében), amely a fej-láb irányú G terhelésre adott hemodinamikai választ, azaz a G-tűrőképességet ronthatja.

### Esetismertetés

Az Amerikai Repülőorvosi Társaság szakfolyóiratának 2014. szeptemberi számában török szerzők tollából jelent meg egy fiatal 23 éves török jet pilóta esetének leírása (a repült típust nem közlik, valószínűleg kiképző vadászgépen repült) [18]. A repülési napon, a repülés előtti kora reggeli eligazítás („repelőtti”) során, az általa tartott szóbeli jelentés 5. percében hirtelen elájult, syncope jelleggel. Lefektették, a startorvos elsősegélyt alkalmazott (cikkben nincs részletezve), majd a pilóta teljesen visszanyerte eszméletét, görcs, ill. postictalis zavartság

nem volt észlelhető. Szívműködése szabálytalan volt. (Anamnézisében korábban két syncope epizódja volt, amelyből rövid idő után spontán tért vissza, kórházban korábban nem volt, korábbi repülőorvosi vizsgálatainak problémáit nem igazoltak, repülés közben sem volt élettani-egészségügyi okokra visszavezethető incidense, rosszulléte.) Az elmúlt napokban kimerültségre és aznap reggeli étkezés hiányára hivatkozott. Rendszeres fizikai aktivitás, edzés, nem dohányzó életmód említendő, előző éjszaka alkohol fogyasztást negált. Szív-érrendszeri terhelő betegségre, társbetegségre utaló adat nem volt, családi anamnézis is negatív. Az irreguláris szívritmus miatt (RR: 110/80 Hgmm, P: 110/min, PF gyors kamrai ritmussal), jó általános állapota ellenére kórházba, intenzív osztályra szállították.

A levett laboratóriumi eredmények (beleértve a fehérvérsejtszámot, májenzimákat, pajzsmirigy funkciót) normális tartományban voltak, hasi ultrahang és mellkasröntgen negatív eredményt adott. TTE (transthoracalis) szívultrahang vizsgálat szintén negatív, semmilyen strukturális eltérés (üregi átmérők, falvastagság, mitrális billentyű funkció) nem volt igazolható (kiemelve: bal pitvar: 32 mm, mitralis billentyű E>A). Mivel a PF spontán szinuszritmusba konvertálódott (időpont, vagyis a PF fennállásának időtartama a cikkből nem ismert), kiengedték az intenzív osztályról. A további kivizsgálás során billenőasztal vizsgálat történt az esetleges vasovagalis komponens tisztázására, negatív eredménnyel, bradycardia, hypotenzió, syncope nem jelentkezett. Longitudinális (Holter) EKG-n ritka kamrai extraszisztolén kívül igazán kóros nem volt észlelhető (HRV szívfrekvencia variabilitás is normál tartományban). Futószőnyeg terhelés negatív eredménnyel

zárult. EEG és EMG vizsgálat sem tárt fel eltérést.

Mivel a pilótánál ez volt az első PF epizód, amelynek háttérében semmilyen strukturális vagy funkcionális eltérést, betegséget nem igazoltak, „magányos PF-ként” („lone AF”) diagnosztizálták. Repülőorvosi konzultáció után további sport programot, kiegyensúlyozott folyadék-elektrolit bevittelt javasoltak. Nem utalták elektrofiziológiai vizsgálatra! (Vagyis az esetleges RF radiofrekvenciás ablációs intervenciót is függőben hagyták.) Három hónap földi szolgálat (repülésre ideiglenesen alkalmatlan minősítés) után korlátozás nélkül visszaállították repülési alkalmasságát.

### **Repülésélettani stresszorok és a szív-érrendszeri alkalmazkodó képesség**

#### **Hypoxia**

A klasszikus repülés-élettani kihívások olyan stresszorok, amelyek az élő szervezetben adaptív választ, alkalmazkodási reakciót, azaz stresszt okoznak. Ez a stressz reakció, mint reflexszintű tevékenység sokszor lassúbb és relatíve elégtelen, mint ami a háromdimenziós térben, időkénszerben végzett repülés okozta pillanatnyi szükséglet. Egyik részük a magasság okozta nyomásváltozás, az oxigén parciális nyomáscsökkenése (azaz a hypobárikus hypoxia, mint az oxigénhiány repülésben legfontosabb formája), vagy a gyorsulások-túlterhelések mellett bekövetkező vérkeringés változás révén azonnal, akut hatásmechanizmussal olyan kórélettani válaszreakciót vált ki, amelynek következménye az agyi keringés, ill. oxigénkínálat (tágabb értelemben oxigén hasznosulás) gyors ütemű csökkenése (akár pillanatnyi megszűnése). Ennek következtében

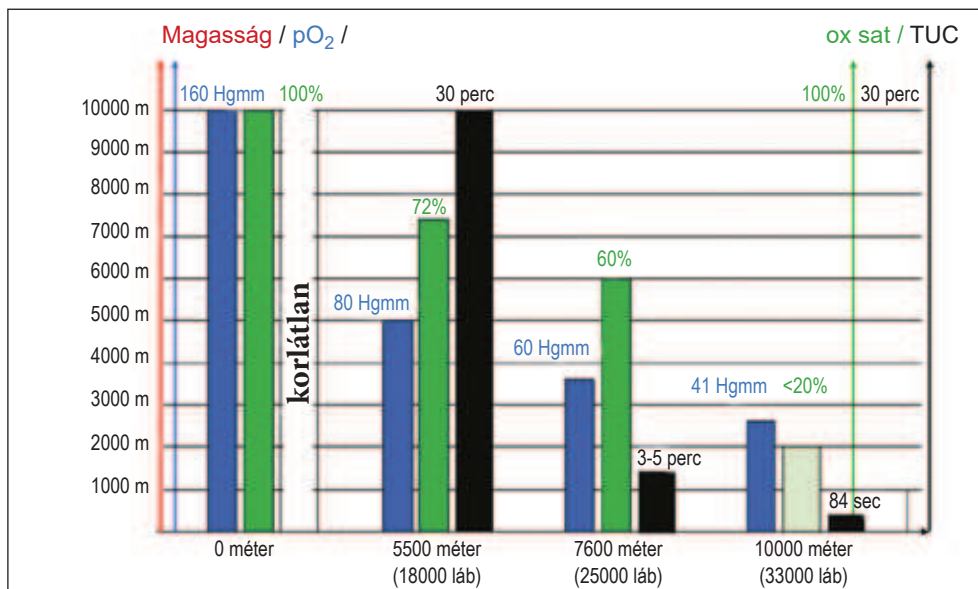


1. ábra. Rövid és hosszútávon ható repülésélettani stresszorok

hirtelen cselekvőképtelenség alakul ki. E komplex folyamatok az emberi szervezet számára váratlanok, az evolúció során sem alakult ki megfelelő adaptációs mechanizmus. Akut szív-érrendszeri reflexek csak korlátozottan képesek kompenzálni a hatást, különösen fizikai terheléssel kombinálva [23] [24] (1. ábra).

Az oxigénhiány elleni védelem katonai repülőgépeknél alapvető: nem ké-

nyelmi, hanem harcképességi szempont. A repülőgép csúcsmagasságáig a pilóta számára megfelelő oxigénkínálat biztosítandó, sejt szinten csak így kerülhető el a hypoxia. Ezt első lépésben a hermetizált kabin által fenntartott túlnyomás és elfogadható légköri nyomású kabinlevegő belégzése biztosítja. Kabinnyomás elvesztésekor a maszkon keresztül, illetve a sisakban belélegzett levegő összetéte-



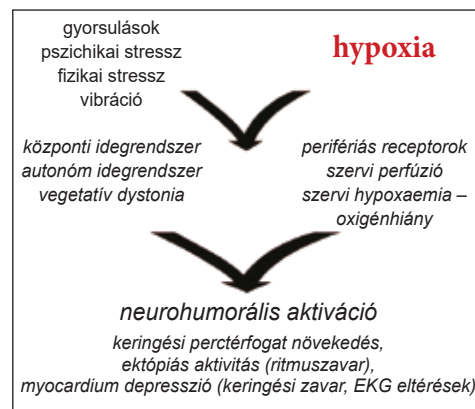
2. ábra. Vér oxigén telítettsége (ox sat) és TUC (hasznos önmentési idő) a magasság függvényében

lének a módosítása szükséges: először az oxigén arányának a tengerszintéhez képest fokozatos emelése (kb. 2-3000 m-től 8000 m-ig az oxigén aránya 100%-ra nő), majd 12-13 000 m-től az oxigén túlnyomással történő belégzése nélkülözhetetlen, különben ugyanúgy bekövetkezik az eszméletvesztés – akár másodperceken belül. Ahogy a magasság függvényében exponenciálisan csökken a környezeti levegőben az oxigén parciális nyomása, úgy csökken exponenciális jelleggel a szervezet szintjén is az oxigén kínálat (2. ábra), illetve a hasznos öntentési idő (TUC: time of useful consciousness) (3. ábra) [8].

FL 430 és fölötté	9–12 sec.
FL 400	15–20 sec.
FL 350	30–60 sec.
FL 300	1–2 perc
FL 280	2½–3 perc
FL 250	3–5 perc
FL 220	8–10 perc
FL 180	20–30 perc

**3. ábra.** TUC – hasznos öntudati idők  
(FL-100 lábanként, 1 láb 0,3 méter) [8]

Az oxigénhiány fő következménye az agy frontális lebenyhez kötött tudati, mentális tevékenységének alattomos, gyors ütemű elvesztése, amelyet a vegetatív idegrendszer tónusvesztése, a pulzus-nyomás megnövekedett labilitása kísér [22]. Saját barokamrai méréseink szerint 5500 méteres magasságban gyakran előfordul az EKG-n T hullám eltérés (akár inverzió), illetve ektópiás aktivitás, a földi terheléses EKG eredményekhez viszonyítva kisebb (2-4 MET-nek megfelelő) keringési perctérfogat mellett (4. ábra).



**4. ábra.** Oxigénhiány okozta vegetatív dystonia

A reflexszintű adaptáció kisiklása időnként vazovagális syncopét (ájulást), keringés összeomlást, legsúlyosabb esetben epilepszia jellegű görcsökkel kísért légzés- és szív leállást, végső soron halált okozhat. Saját gyakorlatunkban az éves repülőalkalmassági vizsgálaton végzett, minősítő jellegű barokamrai felszállás (5500 méter, 15 perc, fél atmoszféra nyomás, 80-85% oxigén szaturáció) során a pilóták 1-2%-ánál fordult elő syncope (az asszertív, vezérelt hyperventilláció bevezetése előtt).

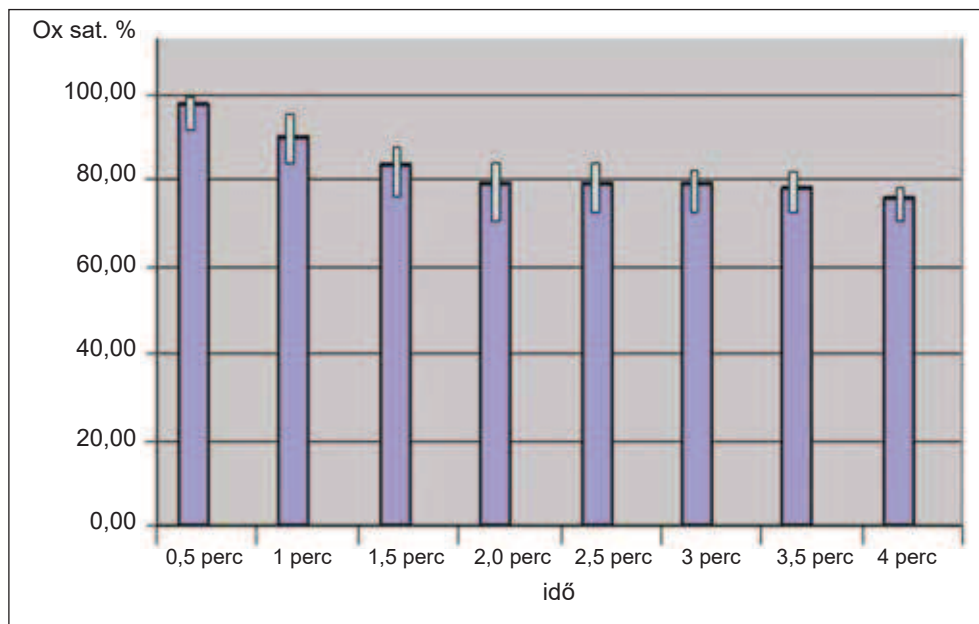
Különös jelentősége van a fatális kimenetelt akár csak néhány perccel-másodperccel megelőző, de kaszkád jelleggel, lavinaszerűen súlyosbodó, egyedi szubjektív tüneteknek és panaszoknak, amelyek időbeli felismerésével megelőzhető az agykérgi oxigénhiány, majd a keringés-légzés leállás kritikus momentuma. Ennek a hypoxia tudatosságnak, az alarmírozó állapot jellemzőknek, mint emlékképnek a rögzítése vészhelyzetben segít az azonnali cselekvésben, öntentésben. Ennek hiányában viszont a vészhelyzeti reakció pánikjellegű, rendezetlen és így a helyzetet tovább súlyosbító lehet. Ezért létfontosságú a hypoxia kontrollált körülmények közötti rend-

szeres szemléltetése, felidézése, az önbi-zalom felépítése a barokamrai gyakorlás során.

A hirtelen cselekvőképtelenség veszélye azért óriási, mert a hypobáriás hypoxia nem egy kellemetlen élmény, a hypoxaemia (eltérően a klinikai közegben megszokott szubjektív panaszoktól) nem okoz nyilvánvaló fulladásérzést, mert a szimultán magasságfüggő passzív széndioxid kimosás, a respirációs alkalózis (nemcsak aktív hyperventilláció) a szervezetből megszünteti a légzőközpont elsődleges ingerét (és további vazokonstriktiót okoz, rontva az agyi perfúziót). A „magassági részegség” állapotában a homloklebeny kérgi gátlásai oldódnak, az alany eufóriás, nincs veszélyérzete, önkritikája elvész. Nem is kíván a helyzetéből menekülni mindaddig, amíg már nem is képes rá: túllépi az adott magasságon jellemző hasznos öntudati időt. Jellemzően pl. barokamrában, egészséges fia-

tal pilótákon mérve 7600 méter (25 000 láb) magasságon a perifériás verőeres oxigén telítettség 80% alá zuhan. Négy perc után egészséges edzett embernél is bekövetkezhet a keringés-légzés összeomlása, akár előjelek nélkül [23] (5. ábra). Jelenleg a NIRS (near infrared spektroszkópia) elvén működő cerebrális pulzoximetria segítségével az agyi kevert vénásvér oxigénszint csökkenését is nyomon tudjuk követni a barokamrában, kísérleti protokollban, INVOS készülékkel.

A hypoxia kiváltotta vazovagalis syncope mechanizmusa akár valós repülés közben is szívmegállást (*Morgagni-Adam-Stokes* szindrómát) okozhat. Ejtőernyős ugrás közben már előfordult átmeneti eszméletvesztés (zuhanás közben magához térhet az ugró), vagy megtörtént esetben 3600 méteres szabadesés közben az oktató nyitotta az eszméletlen ejtőernyős ejtőernyőjét, aki alacsonyabb magasságon visszanyerte az eszméletét és épségben földet ért [7]. Barokamrai



5. ábra. Oxigén szaturáció alakulása 7600 méteres magasságon MH EK RAVGYI barokamrában (n: 18 fő, átlag életkor: 37,1 év) [23]

kontrollált körülmények között, hypoxia földi szimulációja során pedig a német repülőorvosi Intézet közölte csaknem végzetes keringésleállás esetét: 52 éves pilótánál 25 000 láb (7600 méter) NATO-szabvány szerinti hypoxiás vizsgálat utáni ereszkedés és 100% oxigén használat mellett fordult elő bradycardia, majd szívmegállás. A hypoxia mellett az oldódási fázisban – oxigén szaturáció már 95% volt – a hirtelen vazodilatáció, a középfül barotraumája és a magassági meteorizmus okozta fájdalom is felmerült hozzájáruló oki tényezőként. Harminc másodperces asystole, megkezdett reszuscitáció után a szinuszritmus visszaállt, a barokamra biztonságban „földet ért”, a pilótát kórházba szállították. Az eset háttérében neurocardiogén syncopét vélelményeztek. (Korábban 4 syncope epizódja volt, ebből egy repülés közben!) [17].

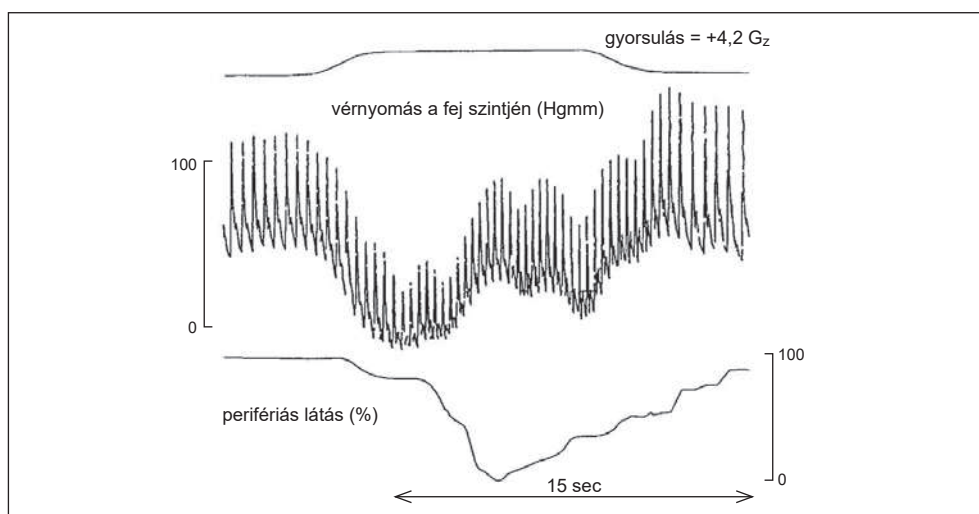
Az MH Egészségügyi Központ Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet (MH EK RAVGYI) barokamrájában 1992-ben fordult elő a leghosszabb asystolia, a 35 mp-ig tartó korai hypoxiás rosszullét az 5500 méteres felszállás 5. percében alakult ki. A leghamarabb (legrövidebb hypoxiás időtartam után) az 5500 méteres felszállás 3. percében (éppen repülőorvostan szakvizsgára készülő kollégánál), a legkésőbb pedig a 12. percben jelentkezett (civil vitorlázógép pilótánál). Ugyanakkor a hypoxiában fokozódó korai ütés aktivitás (monomorf monotopkamrai extraszisztole jelensége) saját gyakorlatunkban is észlelhető, nem igényel minősítést, csak fokozott oxigén fegyelmet. Nagy magasságban a maximális aerob teljesítmény is progresszíven csökken (természetesen szívelégtelenségben szenvedőknél nagyobb mértékben csökken a funkcionális kapacitás) [1].

### Gyorsulás-túlterhelés

Az 1 G földi nehézségi erőhöz történő evolúció léptékű adaptáció fogékonyra és sérülékenyre teszi az emberi szervezetet a gravitációs vektor dinamikus változásával szemben. Az emberi szervezetnek a maximális gyorsulással és túlterheléssel szembeni passzív tűrőképessége a különböző tengelyek mentén jelentősen eltérő. A repülési környezetben gyakorlati jelentősége a fej-far, ill. far-fej irányú ( $G_z$ ) túlterheléseknek van, például amikor a pilóta olyan köríven mozog (fordulóban, szűkített fordulóban), amikor tehetetlensége miatt az erekben megváltoznak a gravitáció függő hidrosztatikai nyomásviszonyok, bekövetkezik a vér tehetetlenség következtében létrejövő kényszeráramlása. Ilyen irányú túlterhelések például műrepülés (függőleges hurokrepülés = looping) különböző fázisaiban léphetnek fel, az  $F_c$  (centripetális) és  $F_g$  (gravitációs) erő vektoriális összegződése miatt. A testre folyamatosan ható függőlegesen lefelé irányuló  $F_g$  gravitációs erő és a kör során folyamatosan változó irányú  $F_c$  centripetális erő eredője ( $F_{res}$ ) időben folyamatosan változó nagyságú és irányú. Így a kör alsó ívén a normális nehézségi erőnél nagyobb, a felső pontnál kisebb a túlterhelés. Fej-far irányú túlterheléseknél (hurokrepülés alsó íve) a vér a hidrosztatikai nyomásgradiens fokozódása miatt az alsó testfél irányába helyeződik át. A hidrosztatikai nyomásgradiens meghatározza az éren belüli nyomás alakulását: a szív fölött az artériás vérnyomás csökken, a szív alatt nő [8].

Amikor a vér az alsó testfél felé helyeződik át (perifériás pooling), a szemfenék és az agy vérkeringése jelentősen romlik, a véráramlás akár meg is szakadhat. Ennek következménye az agyi funkciók, a men-





6. ábra. A G-LOC élettani jellemzői [8]

tális teljesítmény gyors romlása, akár teljes eszméletvesztéssel, 15-30 másodpercig tartó emlékezet kihagyással. A jelenség neve G LOC (G-LOC = G induced loss of consciousness, gyorsulás okozta öntudatlanság). Gyorsulás-túlterhelés kapcsán az élettani következmény egyértelmű: a fej-far irányú túlterheléssel járó repülési manőverek (pl. függőleges hurokrepülés, szűkített forduló) során a vér, mint folyékony kötőszövet saját tehetetlensége miatt az alsó testfél felé mozdul el. A szív fölött a vérnyomás lecsökken az erekben, nyugalmi helyzetben 4,5 G túlterhelés fölött a szem és agy szintjén jellemzően meg is szakad a folyamatos keringés.

A perifériás látás progresszíven szűkül az agyi vérnyomás csökkenésével: a „feketefátyol (= blackout)” akkor következik be, amikor a perifériás látás 0-ra csökken. Ez kb. 6 sec-mal a legalacsonyabb vérnyomásértéket követően jelentkezik. Utána a kompenzatorikus reakciók beindulnak: a vérnyomás és a látás helyreáll. Az agyi véráramlás hiánya azonnal a kérgi tevékenység „lefagyásához”, előbb vizuális teljesítményromlásához, szürke/feketefátyolhoz, csőlátáshoz

(azaz a látótér elvesztéséhez), néhány másodperccel később pedig álmokképekkel, esetleg epilepszia jellegű görcsökkal kísért eszméletvesztéshez – G-LOC – vezetnek (6. ábra) [8].

A gyorsulások okozta túlterhelésekkel szemben első lépcsőben az adaptív, alkalmazkodást elősegítő szívérrendszeri reflexek (pl. carotis baroreflex) védenek, kompenzálnak. Ezek fellépése természetesen időfüggő még egészséges, jó kondícióban lévő szervezet esetén is; ezért meghatározó tényező a gyorsulás fellépési sebessége. Emiatt a túlterhelés okozta tünetek az idő és gyorsulási rátától függőek. Rövid idejű, hirtelen fej-far irányú túlterhelés elég az agyi vérnyomás drámai csökkenéséhez, a szemfenéki keringés periféria felől kezdődő beszűküléséhez, illetve a látás elvesztéséhez. Nagyobb gyorsulás rövidebb idő alatt (nagy gyorsulási ráta) előzetes szemtünetek nélkül is eszméletlenséget okozhat. Ilyen előfordulhat akkor, ha a pilóta hirtelen, a botkormány gyors rántásával hoz létre túlterhelést, vagy kétüléssel a növendék-pilóta túl hirtelen mozditja el a botkormányt („betépi a gépet”) és a hátsó ülésben helyet foglaló oktató pi-

lóta szervezetét ez váratlanul éri, nem képes rá reagálni.

Mivel a pilóta G-tűrőképessége kisebb, mint a gép sárkányszerkezetének túlterhelést tűrő képessége, a technikai segítséget a magassági védőfelszerelés túlnyomásos oxigénlégzéses rezsímje szolgáltatja: a légutakra adott túlnyomást maszkon keresztül pillanatszerűen (aneroïd szenzor által vezérelt dinamikával) 30-110 Hgmm között változtatja. Ez az intrapulmonális nyomás tevődik át az intratorakális érkepletekre, majd a szívüregre kívülről, egyfajta nyomásnövekedést prezentálva, ami vérnyomás emelkedéshez vezet, az agy szintjén pedig segít fenntartani a perfúziót, ily módon a G-LOC elkerülhető. Természetesen ez a G-hatás és PBG (Pressure Breathing for G, azaz túlnyomásos lélegeztetés a G gyorsulás ellen) nyomásváltozás együtt jár a pitvari és kamrai átmérők dinamikus változásával, tartós légúti túlnyomás esetén pedig impedancia kardiográfiával rögzíthető módon a keringő vérmennyiség (Cardiac Output) jelentős csökkenését okozhatja [23]. Magyar Gripen pilótákon végzett IKG méréseink jó funkcionális rezerv állapot mellett is a pertérfogat csökkenését, tachycardiát, fokozott perifériás ellenállást és beszűkült pulzusnyomást igazoltak (7. ábra).

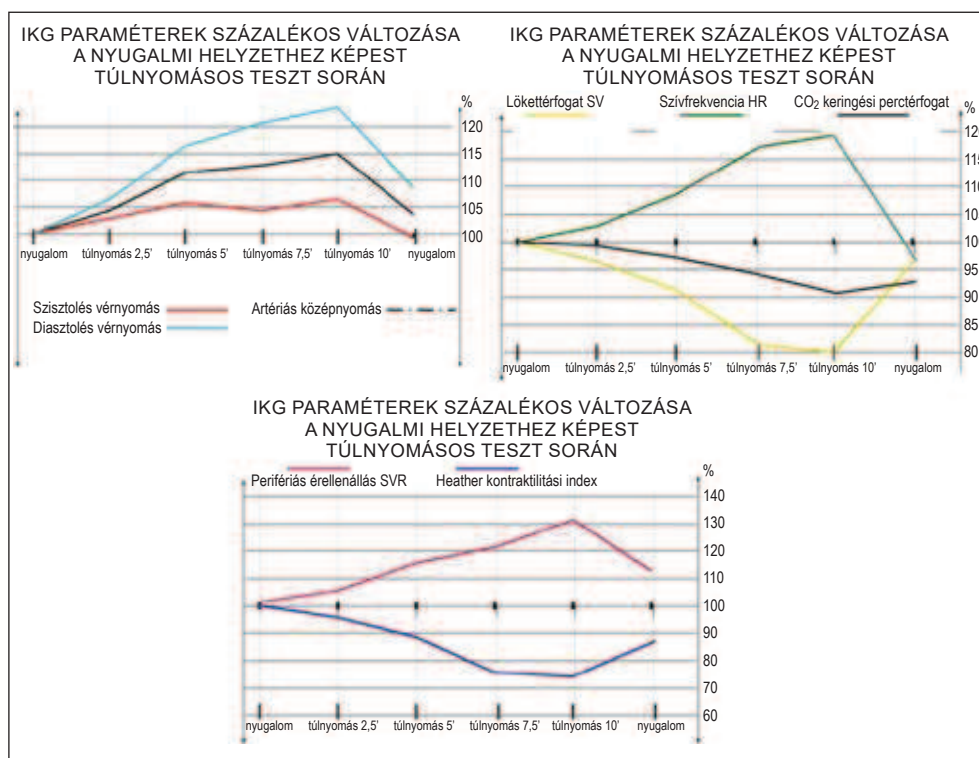
Maga a túlterhelés és a fenti légúti túlnyomás valószínűsíthetően szerepet játszott a Német Légierő (Luftwaffe) legutóbbi légikatasztrófájában, egyedülállóan dokumentált módon, regisztrált pitvarfibrillációs epizóddal. A repülőgép feketedoboza alapján a pontos légiút rekonstruálható volt 3D-ben, a „szívműködés feketedobozaként” pedig a pacemaker memóriája szolgált. A Német Repülőorvosi Intézet vezető kardiológusa előadása szerint 2010-ben a pilótánál ingervezetési zavar (Mobitz II) alakult

ki közepes balkamra hypertrofia mellett, kétkamrás duális PM-t ültettek be, majd 2013-ban vitamax terheléses EKG során bal mellkasfélben jelentkező nyomásérzés és VES párok léptek fel, sportszívét véleményeztek. A baleset alatt észlelt 200-400 f/min közötti irreguláris ritmus magas kamrai frekvenciával vezetődött át, földközeli manőverek (műrepülés vagy légiharc) során az agyi hypoperfúzió nyilvánvalóan végzetes lehetett. A légibaleset után a német repülőorvosi minősítési politika revízióra került. Hangsúlyosabban értékelik még a kevésbé komplex ritmuszavarokat is, illetve mélyrehatóbban kutatják az esetleges mögöttes strukturális rendellenességet, betegséget [26].

Intézetünk gyakorlatában a MiG-29-es átképzés során reális (repülés közbeni) Holter longitudinális EKG vizsgálat során mértük fel a magyar pilóták G-tűrőképességét, SZIROM és SZARPP szalagon (feketedoboz) elemezve a repülési paraméterekkel esetleges kedvezőtlen interakciókat. Halmozott kamrai extraszisztole kapcsán pedig nemcsak klinikai, hanem repülőorvosi indikáció alapján is végeztünk „reál Holter” vizsgálatot: repülés alatti stressz, tachycardia mellett elnyomható autonóm fókuszt a benignitás mellett szólt. Integrált fedélzeti orvosi-műszaki feketedoboz kialakítása, real time (telemetriás) módszerek, intelligens bioszenzorok fejlesztése és adaptálása hosszútávú kutatási célkitűzésünk, MEDICINA-TAGUÁN néven a Haditechnikai Intézettel közösen szabadalmat is kapott (8. ábra).

### **Pitvarfibrilláció klinikai repülőorvosi megfontolásai**

*Jelen publikációnak nem célja a PF teljes körű klinikai elemzése, csak annak bemutatása, hogy egy egyébként gyakori rit-*



7. ábra. IKG-val non-invazív monitorozott keringési paraméterek túlnyomásos légzés során [23]

muszavar elemzése és értékelése speciális repülési környezetben milyen speciális szempontokat igényel. A repülésélettani stresszorok részéről fenti kiélezett, hemodinamikai következményekkel és ritmuszavar provokáló képességgel elsősorban a katonai repülés csúcsát jelentő vadászpilóták körében számolhatunk (főleg a külső trigger provokálta magányos (és egyszeri) „lone” PF-ként felmerülő pitvarfibrilláció mellett inkább a vazovagális syncope, esetleg asystole mechanizmusával). A polgári (utaszállító) pilóták munkakörében a kabin hermetizáció a földi oxigénnyomáshoz közeli szinten tartott, effektív túlterheléssel sem kell számolnunk. Az ő minősítésükben a pillanatnyi cselekvőképesség és tartós munkavégzőképesség megítélésében a klinikai irányelvek job-

ban alkalmazhatók, a guideline-okban megfogalmazott diagnosztikus és terápiás elvek hangsúlyosak, az ott differenciált megközelítésben tárgyalt paroxizmás, perzisztens és permanens PF esetekre is vonatkozóan.

Rövid távon a pilóta populációban a pillanatnyi cselekvőképességet akár egy PF paroxizmus is rontja. A fő veszély a repülés közbeni figyelemelvonás, dyspnoe, szédülés, szubjektív rossz közérzet, és az akcelerált irreguláris ritmus, csökkent agyi perfúzió miatt romló mentális teljesítmény. Ugyanakkor, ha csak a polgári repülést tekintjük, a szinuszritmus fenntartásának (vagy a szinuszritmusba konvertálásnak) nincs olyan kitüntetett fontossága, ha a frekvencia kontrollal a szubjektív panaszmentesség és a mentális teljesítményt



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

garantáló agyi perfúzió biztosítható, a hirtelen cselekvőképtelenség veszélye kiküszöbölhető. Nemzeti kardiológiai műhelyviták és konszenzus kialakítása után 1999-ben *Michael Joy* brit kardiológus közölte az „1%-os számvetést”, amelynek lényege, hogy a szív-érrendszeri betegségek (elsősorban az akut coronaria szindrómák, ACS) esetén a populáció szintű prevalencia, korcsoport függő incidencia és természetesen az egyéni rizikó státusz alapján kell megfogalmazni a repülőalkalmasság kritériumait [12]. Ez a számvetés a későbbiekben az európai kardiológiai társaság folyóiratában is megjelent és a repülőorvosi alkalmasság-vizsgálatok jogszabályi kereteit rögzítő közös európai repülési hatóságok (JAA: Joint Aviation Authorities – Összeurópai Légügyi Hatóság) és a mai szervezet (EASA:

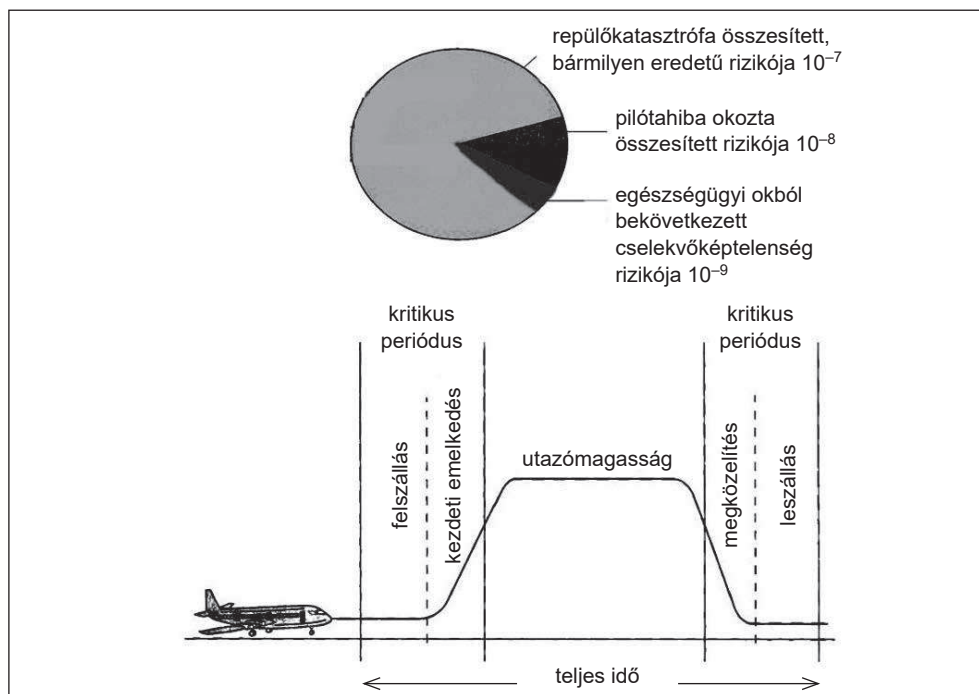
European Aviation Safety Agency – Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynökség) vezérfonalává vált [21]. Ennek kockázatelemzése alapján, ha egy klinikai entitás esetén az éves mortalitás számvetés 1% alatt van, vagyis ha a **pilóta cselekvőképtelenségi rátája  $1/10^6$  óra, kb 1% évente**, akkor a pilóta alkalmas arra, hogy kétpilótás üzemmódban repüljön. Természetesen a matematikai levezetés figyelembe veszi a repülési út hosszát, a kritikus felszállás és leszállás százalékos arányát és a szimulátorban elérhető sikeres „handover”, a repülőgép kormányzás átvételét célzó gyakorlás hatékonyságát. Ennek részletes ismertetése meghaladja e tanulmány kereteit (9. ábra).

Fenti számvetést alkalmazva, repülési környezetben tágabban értelmezve (nem csak ACS, hanem ritmuszavar

és egyéb nem kardiológiai klinikai entitások, nemcsak mortalitás, hanem a cselekvőképtelenségi ráta szélesebb dimenziójában), például a brit polgári repülő-egészségügyi hatóság algoritmikus megközelítése alkalmazható [4]. Kielégítő, rendszeresen ismételt non-invazív kardiológiai vizsgálati eszköztár alkalmazásával a pilóta „rehabilitációja”, munkaképessége teljes körűen vagy korlátozással helyreállítható. Ilyen esetekben a civil hatóság nagymértékben támaszkodik a kardiológus szakvéleményére, hatósági erővel előírva az általa javasolt vizsgálatokat, amelyek esetenként – a repülésbiztonság fontossága miatt – meghaladják a „földi”, nem fokozottan veszélyes munkakörben dolgozó klinikai betegnél, esetleg cost-benefit gazdaságossági elv mentén elvégzett drága műszeres vizsgálatokat. A folyamat végeredménye, hogy a kardiológus szakvé-

leménye, a műszeres vizsgálatok széles spektrumának (pajzsmirigy, májfunkció labor, terheléses EKG, Holter EKG, szívultrahang, sz.e. elektrofiziológiai vizsgálat, szívMR, myocardium perfúziós vizsgálat, és/vagy koronarográfia) indikáció szerinti alkalmazása után, megfelelő panasz-tünetmentes periódusok kiváráásával, fokozatosan visszaállítható a szakszolgálati repülési jogosultság. Ez előbb OML korlátozás (csak többpilótás üzemmódban repülhet, Only Multicrew Limitation, két év alatt hathavonta szívultrahang, évente Holter EKG), majd 2 év elteltével (ha csak „lone” jellegű, egyetlen PF epizód volt), akár a korlátozás nélküli 1. osztályú orvosi minősítés is elérhető, egyedül repülhet (évente 24 órás EKG Holter kötelező marad).

A műszeres vizsgálatok értékelési szempontjai a brit gyakorlat szerint lehetnek specifikusak, a klinikai gyakor-



9. ábra. 1%-os szabályhoz szükséges kockázatelemzés, repülés alatti cselekvőképtelenség megoszlása [8] [21]

lattól kismértékben eltérőek: terheléses EKG során Bruce protokoll, maximális erő kifejtésig vagy tünetmentes jelleggel, a beállított kezelés mellett. Legalább 9 perces terhelési periódus elvárt, szignifikáns ritmus vagy vezetési zavar, illetve ischaemiás jelek nélkül. A Holter EKG-n – fennálló szinuszritmus mellett – PF epizód, ill. 2,5 sec-nál hosszabb pauza nem észlelhető, kamrai extrasystole gyakorisága nem haladhatja meg a 2%-ot, komplex forma nem lehet. PF alapritmus esetén RR intervallum >300 msec és <3,5 sec (túl nagy pauza és túl gyors kamrai frekvencia kizárandó). Váltakozó (paroxizmális vagy perzisztens) alapritmus mellett – a fentiekben túlmenően – a szinuszritmus helyreállásakor ébrenléti állapotban nem lehet 2,5 sec-nál hosszabb pauza. Szívultrahang során is kicsit szigorúbb az elvárás a „földi halandókhöz” képest: nem lehet szignifikáns szelektív kamra megnagyobbodás, szignifikáns strukturális vagy funkcionális rendellenesség, az LVEF balkamra ejekciós frakció 50% fölötti értékével.

Még a brit rendszerben is a vizsgálati eredmények értékelése erősen centralizált: a hatóság által felkért, katonai és civil repülőorvosokból, kardiológusokból és más klinikusokból álló grémium hoz testületi döntést a kétséges esetekben. Az értékelés során a szövődemény stroke kockázatát is elemzik: a CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VAS érték szerint csak minimális, 0 és 1 score fogadható el az 1. osztályban (utasszállító pilóta OML többpilótás rendszerben), ez a 2. egészségügyi osztályban korlátozás nélküli, egyedül repüléshez megengedett (magánpilótaként). A klinikai szempontból frekvencia kontrollhoz megengedett gyógyszer paletta is mutat bizonyos repülési környezethez adaptált preferenciákat: sotalol, bisoprolol (bé-

tablokkolók), digitális, dronedarone (labor kontroll a májtoxicitás kivédésére szükséges) lehetnek elsővonalbeli szerek, valamint a diltiazem, verapamil. Civil repülő-egészségügyi hatósággal történt konzultáció után kivételesen flecainid, propafenon is alkalmazható, 6 hónapos stabilitást igazoló földi szolgálat után. Amiodaron nem elfogadható 1. egészségügyi osztályban (utasszállító és kereskedelmi pilóta esetében), illetve megszorítással alkalmazható 2. eü. osztályban, 200 mg/nap maximális adagban. Az éjszakai látás a hatóság által elfogadott szemész szakorvossal ellenőrizendő, vagy csak nappal, VFR-Visual Flight Rules „jóidős szabályok” szerint repülhet.

A tartós PF antikoaguláns terápia-jában a direkt orális antikoagulánsok DOAC klinikai bevezetése növelte a repülőorvos mozgásterét a civil pilóta repülőalkalmasságának elbírálásában. Korábban a warfarin esetében az INR/protrombin szint stabilitását 6 hónapos időtávlatban kellett igazolni (földi szolgálat mellett ezalatt legalább 5 INR mérés, ebből 4 a terápiás tartományban lévő célértékkel), majd a pilóta költségére a felszállás előtt 12 órával mobil mérőeszköz segítségével a terápiás INR értéket dokumentálni kellett teljes jogi felelősségvállalással. DOAC (pl. dabigatran, amelynek van antidotuma) esetében nincs ilyen szoros követés: ha nincs mellékhatás, 3 hónap után visszatérhet a repülésbe és csak a vesefunkciót kell időszakosan ellenőrizni. Antikoagulálás beállítása tehát csak alacsony (0-1) CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VAS score mellett engedélyezett, asszertívebb repülési letiltási protokoll szerint, a repülésbiztonság szem előtt tartásával, óvatos megközelítéssel történik. A mellékhatásokra vonatkozó HASBLED rizikóbecslési pontszám-

mátrix szintén a civil hatóság honlapján rendelkezésre áll. A LAPL (light aircraft) az ultrakönnyű repülőgépekre vonatkozó repülési engedély, mind ebben, mind a 2. egészségügyi osztályban az OSL (only safety pilot limitation – csak biztonsági pilótával) és OPL (only without passengers – csak utasok nélkül repülhet) korlátozás adható (10. ábra) [5].

Az elektrofiziológiai vizsgálat (EP) indikációs köre is szélesebb lehet a repülőorvosi klinikai esetekben: az esetismertetés leírásakor a török vizsgálati protokollban ugyan nem szerepelt, de a brit protokollban speciális indikációval végrehajtható. Figyelembe kell venni, hogy pl. rejtett járulékos pálya (hosszú QT szindrómák csoportja), chanelopathia (*Brugada* szindróma) hirtelen halálhoz vezethet. F-16-os amerikai vadászpilóta New York-i testépítő klubban került klinikai halál állapotába *Brugada* szindróma okozta kamrafibrilláció miatt, az edző reanimálta [2]. Addig tünetmentes amerikai pilótánál 40 éves korában, éves repülőalkalmassági vizsgálat kapcsán, a nyugalmi EKG-n észlelt SVES miatt indult kivizsgálás és igazolt *Brugada* szindrómát [25].

A szinuszritmus fenntartásának a repülési környezetben mindenképpen elsőbbsége van a kamrai frekvencia kontrollal szemben, de a gyógyszeres kezelés mellékhatásai óvatosságra intenek (akár I/c vagy III csoportú antiaritmiás szerrel van szó), a bétablokkoló hatás pedig a G-tűrőképességet csökkenti [10] [20]. A kezelési lehetőségek közül így a katéter abláció (a ritmuszavar pitvari szubsztrátjának eliminálása) klinikai bevezetése óta szintén jól használható alternatíva. Első széleskörű alkalmazásáról a pilótaállomány kezelésében már 2005-ben beszámoltak svájci kardiológusok [15].

Az egyszeri intervenció sikeressége különösen fontos, ha figyelembe vesszük a relatíve fiatalabb kort, jó általános állapotot, a kísérő krónikus, strukturális elváltozással járó szívbetegségek hiányát és azt a tényt, hogy hosszabb távon a komplex gyógyszeres antiarrhythmias kezelés több mellékhatással, nagyobb mortalitással jár (AFFIRM vizsgálat) [6]. Tartós, több támadáspontú EP-n alapuló kezelés (pl. isthmus abláció, pitvari overdrive pacemakerrel) azonban ebben a betegcsoportban még nem kivitelezhető, miközben más betegnél már jól használható a szinuszritmus megőrzésére (a PM monitorfunkciói révén pedig a PF paroxizmusok gyakorisága is felmérhető, ami az antikoagulálás dilemmájában segít dönteni). Ezt a hatékonyságot ismétlődő Holter EKG segítségével sem tudjuk elérni, így a mögöttes strukturális szívbetegség kizárási követelménye még hangsúlyosabb [16].

A repülőorvosi gyakorlatban különleges elbírálással KLGs a „lone” esetekben vagy a sikeres katéter ablációs kezelések után, helyreállt szinuszritmus bizonyításával, minimum 3 hónap földi szolgálat elteltével jön szóba a katonai repülési alkalmasság ismételt megítélése. (Bár az Európai Kardiológiai Társaság legújabb irányelv frissítése a „lone” megnevezést már hisztórikusnak, „félrevezetőnek és kerülendőnek” tartja, az USAF Amerikai Légierő Waiver Policy (Különleges Elbírálás) Repülőorvosi Szabályzata még használja [13] [27]. Minősítést csak és kizárólag a strukturális szívbetegség nélkül, egyszeri (esetleg azonosítható) provokáló tényező hatására kialakuló PF paroxizmus esetére tart lehetségesnek, mint pl. excesszív alkohol fogyasztás, ünneplés kapcsán a „holiday heart” szindróma, amely gyógyszeres kezelést nem igényel.)

$CHA_2DS_2Vasc$	1. eü. teljes	1. eü. OML vagy 2. eü. teljes	LAPL teljes	2. eü. OSL	LAPL OSL / OPL
0	NEM ALKALMAS	AC nincs			
1	NEM ALKALMAS	AC nincs vagy adható			
2	NEM ALKALMAS		AC hiánya nem elfogadható, AC adható	AC nincs vagy adható	
3	NEM ALKALMAS			AC nincs vagy adható	
4 vagy 5	NEM ALKALMAS			AC hiánya nem elfogadható, AC adható	AC nincs vagy adható
>5	NEM ALKALMAS				Egyedi kockázat értékelés

**10. ábra.** A civil repülőalkalmasság összesített elbírálása a sztrók rizikó és az antikoaguláns (AC) kezelés alapján [4] [5]

nyel és hemodinamikai tüneteket nem okoz (a 60 év alatti életkor specifikációja ebben nem szerepel, a pilóták populációja ennél sokkal fiatalabb.) A tachyarrhythmia katéter ablációja és a hyperthyreoidizmus adekvát kezelése külön pontban szerepel. Ismétlődő, flutter/pitvarlebegéssel járó vagy váltakozó forma, gyógyszeres kezelés kizáró ok. Béta blokkoló alkalmazása mellett G-túlterhelés korlátozása mellett, LPA (Low Performance Aircraft, alacsony teljesítményű) gépen repülhetnek Csak drón pilóták és ATC repülésirányítók esetében megengedőbb a szabályzat.

Az EASA (Európai Repülésbiztonsági Ügynökség) szabályzata szerint civil pilótáknál a pitvarfibrilláció/flutter esetében az első minősítés kiadása akkor lehetséges, ha az egyetlen aritmiás epizód ismétlődését a szakszolgálati hatóság nem tartja valószínűnek [19]. A megújításkor a vizsgált személy kielégítő kardiológiai kivizsgálás után alkalmasnak minősíthető. Sikeres ablációs terápia után

minimum két hónap, de általában egy év a biztonsági időtartam, OML (többpilótás) repülési korlátozás indokolt.

### Összefoglalás

A repülésben, különösen a katonai repülésben a repülésélettani stresszorok dinamikus és komplex együtthatása komolyan igénybe veszi az egyébként egészséges ember szív-érrendszeri alkalmazkodó képességét, mely az 1 G gravitációs környezethez és a 160 Hgmm-es tengerszinti parciális oxigén tenzióhoz evolúciós szinten adaptálva tartja fenn reflexszinten és a hosszabb léptékű, vegetatív idegrendszer útján szabályozott hormonális, neuroendokrin stressz reakciók szintjén a homeosztázist (vérgázok, vér pH normális értéke, normotónia és eucard szív működés paraméterei). A hypoxia és a gyorsulás-túlterhelés kapcsán elemeztük az élettani mechanizmust, amely ezt a szoros kontrollt kibillentheti, és a vegetatív dystonia kapcsán az agyi hypoxia-hypoperfúzió vagus



mediálta, bradycardiát provokáló hatása révén fokozhatja a ritmus-/vezetési zavarok lehetőségét, a pitvari elektromos aktivitás irregularitásának kialakulását. (A hypoxiás vagy középfül barotrauma okozta vagotonia indirekt módon csökkenti a pitvari refrakter periódust, ily módon pl. a pitvari extrákkal induló PF-nek nyit utat.) Túlterhelés kapcsán pedig a csökkent effektív keringő vérmennyiség (vénás visszatérés) okozza az agyi perfúzió elégtelenségét, majd a vagus mediált bradycardiát. Ez különösen akkor fenyegető, ha a botkormány gyors előre-hátra mozgásával a carotis baroreceptorok előbb gátlás alá kerülnek, bradycardiát (és hypotonia irányába neurális aktivációt) okoznak, majd innen kellene gyors ütemben a pulzus szám emelésével az agyi perfúziót biztosítani. Ez a *push-pull* („*húzd meg-nyomd meg*”) *effektus*, ami a magyar katonai repülésben is okozott halálos kimenetelű légibalesetet. A magassági védőfelszerelés, a túlnyomásos légzés pedig az intrapulmonális-intratorakális nyomás extrém változtatásával idézhet elő hirtelen jelentős keringő vérmennyiség csökkenést, miközben a pitvari pangás és falfeszülés fokozódik, szintén neurális és ANP (pitvari natriuretikus peptid) generált bradycardiát és pitvari instabilitást okozva. Az ANP natriuretikus hatása és a szekunder aldosteronizmus egyéb klinikai konstellációban (intracelluláris hypokalemia pangásos szívelégtelenségben, pitvari falfeszüléssel) hosszú távon is a PF irányába hat.

A klinikai gyakorlatban fontos kiindulási elv, hogy a PF mindkét nemben, több korosztályban (55-74 év között, illetve 75-94 év között) növeli a mortalitást [3]. A klinikai gyakorlattól eltérően a repülőorvosi, foglalkozás-orvostani rizikó értékelésében a PF nemcsak szövőd-

mény (sztrók) és nemcsak komorbiditás (diabétesz) miatt igényel asszertívebb és proaktív megközelítést. Szokatlanul tűnő „puha végpontok”, mint a túlterhelés és hypoxia miatti triggerelt PF (csökkent agyi perfúzió) lehetősége vagy önmagában a figyelemzavar, szédülés (tudatállapot romlás) is már pillanatnyi cselekvőképtelenségi kategóriába eshet, repülésbiztonsági szempontból minősítési kényszerrel. Ez főleg a diagnosztika területén nagyobb rugalmasságot, az eszköztár szélesebb alkalmazását indokolhatja. A terápia oldaláról a kezelésnek természetesen a „nil nocere” etikai elvet kell követnie: betegként a pilóta is kapjon meg a PF súlyosságának megfelelő minden adekvát kezelési modalitást, majd a repülésbiztonság elveivel összhangban fokozatosan, szakaszosan térhet vissza a részleges (egy bizonyos mértékig, tartós korlátozással megvalósuló) vagy teljes repülési szakszolgálati engedély kötetmeihez. Megfontolandó, hogy a tünetmentes (tehát nem észlelt, csak epizodikusan, véletlenszerűen, pl. éves alkalmassági vizsgálat során regisztrált PF esetében a pontos besorolás súlyosság-időtartam szerint könnyen alábecsüli a PF fennállásának időtartamát és így kezelési indikációját (különösen az antikoagulálás tekintetében). Természetesen az alapvetően egészséges (és egészségtudatos, hiszen a repülőkarrierjük ettől függ), rendszeresen ellenőrzött populációban, a kellő funkcionális aerob kapacitással rendelkező pilótaállományban a ritmuszavarok, így a PF és sztrók is még magasabb életkorban is jóval kisebb gyakorisággal várható [11].

A Nature honlapján megjelent friss szakértői konszenzus dokumentum új struktúrába helyezve vizsgálja azokat az „egészségmódosító tényezőket”, amelyek az elektromos aktivitás (megválto-

zott ionáramok), a trigger mechanizmus (kalcium túlterhelés) hemodinamikai kör (krónikus pitvari falfeszülés) és a szerkezeti összetevők (sejt hipertrófia, gyulladás és profibrotikus nyomvonal) pozitív erősítő feedback kapcsolatai révén, a pitvari remodelling folyamatának fő hajtóerejeként fontosak. Ezen „modifier” tényezők (fogaskerek) közé könnyebben besorolhatók a repülésélettani stresszor tényezők is, a fent részletezett patofiziológiai alapon [9].

A repülésélettani kihívások hatását a stressztűrő képességre, a humán teljesítő képességre kutatási projektben is vizsgáljuk, a GINOP-2.3.2-15-2016-00007 számú, „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen (VOLARE)” projekt keretében. A kutatási projekt során megvalósuló teljesítmény diagnosztikai vizsgálatok és a stressz monitorozást biztosító műszer – Fusion Vital cég Firstbeat Bodyguard2 szívfrekvencia varianciát mérő készüléke – együtt alkalmas lehet a pilótát érő repülés-élettani kihívások során a vegetatív idegrendszeret érő akut hatások jellemzésére, a szív-érrendszeri rezerv kapacitás és regeneráció megítélésére. Több olyan top kutatási téma van (pl. közel eszméletvesztés, A (almost-„szinte”)-LOC utáni teljesítménycsökkenés, hypoxia hangover/másnaposság esetén akut oxigénhiányt követő tartós fáradtság és teljesítménycsökkenés, dezorientációs stressz), ahol a beállított mérési módszerek alkalmasak lehetnek a pulzuslabilitás mérésével a repülési stressz reakció jellemzésére, az agyi vérátáramlás változásának együttes mérésével pedig objektivizálhatják

a repülés-élettani kihívás okozta repülésbiztonsági veszélyt. A cerebrális pulzoxymetria alkalmazásával pedig a stressz reakciót VR (virtuális valóság) szemüveggel végrehajtott szimulált repülés során barokamrában korreláltatjuk a magasságfüggő hypoxia (és rövidtávú respirációs alkalózis) okozta hypoxaemia (és csökkent oxigénhasználás) agyi keringésre gyakorolt hatásával.

Klinikai oldalról nézve: nagyobb biztonsággal tudjuk felmérni a vegetatív dystonia okozta ritmuszavart és a hirtelen cselekvőképtelenség veszélyét. Az összetett mechanizmus miatt, a tanulmányban említett repülésbiztonsági problémák (ritka, de könnyen légibalesethez vezető helyzetek) megelőzéséhez a repülésélettani kihívásokat jól ismerő, azokat megtapasztaló repülőorvos és a diagnosztikus-terápiás (gyógyszeres/műtéti/intervenciós kezelési) lehetőségekkel kompetens módon rendelkező klinikus-kardiológus szoros együttműködése szükséges.

### **Köszönetnyilvánítás**

*Külön köszönetünket fejezzük ki Dr. Végh Tamásnak, a Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centrum (DEOEC) docensének, aneszteziológusnak, valamint Tusor Bernadettnek, az Inco-Med Kft. operatív igazgatójának és Makk László úrnak, a Covidien ECE, S.R.O. cég piacfelveztetési menedzserének korábban nyújtott szakmai segítségükért. Jelenleg pedig a hivatalos jogutód Medtronic Hungaria Kft. önzetlen támogatásáért tartozunk köszönettel, Dinóczkiné Kázmér Katalin és Hegyközi Bálint segítségéért, az INVOS gyártmányú NIRS készülék rendelkezésre bocsátásáért a barokamrai kísérleti elrendezéshez.*

### Irodalom

- [1] Agostoni, P., Cattadori, G., Guazzi, M. et al.: Effects of Simulated altitude-induced hypoxia on exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Am. J. Med.*, 2000; 109:450. [1] Agostoni, P., Cattadori, G., Guazzi, M. et al.: Effects of Simulated altitude-induced hypoxia on exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Am. J. Med.* 2000; 109:450. DOI: 10.1016/S0002-9343(00)00532-5
- [2] Batchelor, A.J.: Brugada pattern electrocardiograms in pilots – the aeromedical dilemma Royal Centre for Defence Medicine, Birmingham, UK. ICASM Varsó, Repülőorvosi Világkongresszus, 2005
- [3] Benjamin, E.J., Wolf, P.A., D'Agostino, R.B., et al.: Impact of atrial fibrillation on the risk of death: the Framingham Heart Study. *Circulation* 1998; 98:946 url: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9737513>. DOI: 10.1161/01.CIR.98.10.946
- [4] CAA guidelines: Class 1/2- Atrial Fibrillation decision chart algorithm <https://www.caa.co.uk/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=4294971524>
- [5] CAA guidelines: Pilots with Atrial Fibrillation: Guidance for Certification/Assessment of Stroke Risk for Cardiologists and AMEs, <https://www.caa.co.uk/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=4294973022>
- [6] Corley, S.D., Epstein, A.E., DiMarco J.P., et al.: Relationships between sinus rhythm, treatment, and survival in the Atrial Fibrillation Follow-up Investigation of Rhythm-Management (AFFIRM) Study. *Circulation*, 2004,109: 1509–1513. DOI: 10.1161/01.CIR.0000121736.16643.11
- [7] Érdekes Világ: 3600 méteres szabadesés közben az oktató nyitotta az eszméletlen ejtőernyős ejtőernyőjét. url: <http://www.erdekesvilag.hu/szabadeses-kozben-ajult-el-egy-ejtoernyos-video/>
- [8] Ernsting's Aviation and Space Medicine, Fifth Edition, Edited by David P. Gradwell and David J. Rainford, CRC Press, 2016 by Taylor & Francis Group, LLC, ISBN-13: 978-1-4441-7995-8, 56., 136., 145., 555.
- [9] Fabritz, L., Guasch, E., Antoniadis, C. et al.: Expert consensus document: Defining the major health modifiers causing atrial fibrillation: a roadmap to underpin personalized prevention and treatment. *Nature Reviews Cardiology*, 2016, 13: 230–237. DOI:10.1038/nrcardio.2015.194
- [10] Fuster V, Ryden L.E, Cannom, D.S, et al. ACC/AHA/ESC 2006 guidelines for the management of patients with atrial fibrillation-executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines and the European Society of Cardiology Committee for Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 2001 Guidelines for the Management of Patients with Atrial Fibrillation). *Eur. Heart J.*, 2006, 27:1979–2030. DOI: 10.1093/eurheartj/ehl176
- [11] Hussain, N., Gersh, B.J., Gonzalez Carta, K. et al.: Impact of Cardiorespiratory Fitness on Frequency of Atrial Fibrillation, Stroke, and All-Cause Mortality. *American Journal of Cardiology*, 2018, 121(1): 41-49. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000291491731593X> DOI:10.1016/j.amjcard.2017.09.021
- [12] Joy, M.: Cardiological aspects of aviation safety – the new European perspective. *European Heart Journal*, 1992, (13): Supplementum. H , 21-26. DOI: 10.1093/eurheartj/13.suppl\_H.21
- [13] Kirchhof, P., Benussi, S. et al.: 2016 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS The Task Force for the management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) *European Heart Journal*, 2016, 37(38): 2893–2962, url: <https://academic.oup.com/eurheartj/article/37/38/2893/2334964> DOI: 10.1093/eurheartj/ehw210
- [14] Magnani, J.W., Rienstra, M., Lin, H., et al.: Atrial fibrillation: Current knowledge and future directions in epidemiology and genomics. *Circulation* 2011; 124:1982. Lippincott WilliamsWilkins url: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22042927> DOI: 10.1161/CIRCULATION-AHA.111.039677

- [15] Maire, R, Kappenberger, L, D. Shah, D.: Fitness to fly in pilots after catheter ablation of atrial fibrillation. ICASM Varsó, Repülõorvosi Világkongresszus, 2005
- [16] Nagy-Baló E., Hercku Cs., Clemens M., Tóth Zs.: Pitvarfibrilláció, pitvarlebegés strukturálisan ép szívű betegen – Mi legyen az elsõdleges ablációs célpont? – Meddig antikoaguláljunk? *Cardiologia Hungarica*, 2009, 39: 333-336. © Locksley Hall Media
- [17] Nehring, M.: Cardiac arrest during hypobaric chamber training. előadás a 2017. évi AsMA amerikai repülõorvosi kongresszuson. Königsbruck Repülõorvosi Élettani Kiképzõ Központ, Luftwaffe, Németország. [https://www.asma.org/asma/media/AsMA/pdf-meetings/2017%20Annual%20Meeting/posters-2017/201705\\_282\\_Nehring.pdf](https://www.asma.org/asma/media/AsMA/pdf-meetings/2017%20Annual%20Meeting/posters-2017/201705_282_Nehring.pdf).
- [18] Ozturk, C., Aparci, M., Cakmak, T. et al.: Atrial Fibrillation Presented with Syncope in a Jet Pilot During Daily Briefing on Squadron. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2014, 85(9): 965-969. DOI: 10.3357/ASEM.3922.2014
- [19] PART MED AMC (Acceptable Means of Compliance). Az Európai Parlament és Bizottság által kibocsátott 216/2008/EK rendelethez kapcsolódó 2011. november 3-án megjelentetett, a technikai követelményeket és adminisztratív folyamatok leírását tartalmazó 1178/2011/EK végrehajtási rendeletet kiegészítõ, elfogadható megfelelési módzatok és útmutatók. Melléklet a 2011/015/R EASA határozathoz.
- [20] Saliba, W. M. Wazni, O.M.: Sinus Rhythm Restoration and Treatment Success: Insight From Recent Clinical Trials, *Clin. Cardiol.*, 2011, 34(1): 12–22. url.: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clc.20826/pdf>. DOI: 10.1002/clc.20826
- [21] The Second European Workshop in Aviation Cardiology. *European Heart Journal* 1999. sppls D: 1-D136.
- [22] Sevre, K., Bendz, B., Rostrup, M.; Reduced Baroreceptor Reflex Sensitivity and Increased Blood Pressure Variability at 2400 m Simulated Cabin Altitude. *Aviat Space Environ. Med.*, 2002, 73: 632-4.
- [23] Szabó, S.A.: A katonai repülõ-hajózó állomány repülõorvosi minõsítése 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, 64., 84-85., 97-98.
- [24] Szabó, S.A.: A fizikai állóképesség és egészség-tudatosság repülésbiztonsági jelentõsége. [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_1/2017-1-12-379\\_Szabo\\_Sandor\\_Andras.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-12-379_Szabo_Sandor_Andras.pdf)
- [25] Walker, D., Johnson, M., Craig-Gray, W., Frank Loyd, F.: Brugada Syndrome in an Active Duty Air Force Senior Pilot. *Military Medicine*, 2008, 173(8):809, 809-813.
- [26] Wonhas, C.: Clinical Findings impairing G-tolerance. A cardiologic review. előadás az AMST 6. Felhasználói konferencián, Graz 2017. szeptember 16-17 [https://www.asma.org/asma/media/AsMA/pdf-meetings/Other%20Meetings/User\\_Congress\\_2017\\_Second\\_Announcement\\_2016-11-03\\_Web.pdf](https://www.asma.org/asma/media/AsMA/pdf-meetings/Other%20Meetings/User_Congress_2017_Second_Announcement_2016-11-03_Web.pdf)
- [27] Woodard, T., Van Syoc, D., Gore, S., Davenport, E. (ACS Chief Cardiologist): Air Force Waiver Guide (Az USAF Amerikai Légierõ Különleges Elbírálás Szabályzata), Pitvarfibrilláció, 91. o. 2015. februári frissítés, url: <http://www.wpafb.af.mil/Portals/60/documents/711/usafsam/USAFSAM-Wavier-Guide-171005.pdf>.

**Col. habil. S. A. Szabó MD, PhD,**  
**Lt.Col. (ret.) L. Németh MD,**  
**Lt.Col. Zs. Tótká MD,**  
**Brig.Gen. (ret.) Prof. A. Grósz**  
**MD, CSc**

### **Evaluation and aeromedical disposition of atrial fibrillation**

Atrial fibrillation (AF) is one of the most common type of cardiac arrhythmias, causing heavy burden in general health-care system due to the age dependent

increasing prevalence, associated with diagnostic and therapeutic expenditures. However, we need even more specific approach in aeromedical disposition regarding younger age-groups of military aircrew, where the support of working ability, the elimination of the potential danger of sudden incapacitation caused by aeromedical (physiological) stressors is essential. Therefore the workout of diagnostic algorithm is more detailed, extended by ground-based simulated stress tests (in barochamber, centrifuge) or upgraded by biomedical monitoring tools during real flight. On the other hand we can have limited access to the therapeutic means. Risk factors for AF shall be evaluated pronouncedly, deteriorating hypoxia and G-tolerance. The acute detrimental effects on mental per-

formance (caused by palpitation, or even by syncope) and long-term complications (thromboembolic events, heart failure) can pose risks for flight safety. It is a true indication to analyze the atrial fibrillation (and tachyarrhythmias) pointing out the aeromedical concerns and summarizing the specific disposition process based on a case description, national regulation, relevant USAF/US NAVY Waiver Policy guidances and civil aeromedical guidelines.

*Keywords: atrial fibrillation, aeromedical physiological stressors, hypoxia tolerance, G-tolerance, sudden incapacitation*

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