

# Teljesítménydiagnosztika alkalmazása a repüléstudományi kutatásokban

## Absztrakt

*A tanulmány bemutatja a humán faktor vizsgálatának rövid fejlődéstörténetét, a teljesítménydiagnosztika és funkcionális rendszerek vizsgálatának helyét az orvostudomány rendszerében (kutatási módszerek, a vizsgálatok műszerei és berendezései, értékelési módszerek, a tudományterület szerepe az alkalmassági vizsgálatok rendszerében). Ismerteti a teljesítménydiagnosztika alkalmazási lehetőségét a repülésben napjainkban (milyen hatása van a tudományos-technikai fejlődésnek az alkalmasságvizsgálatokkal szembeni szakmai követelmények változásaira. Elemzi a noninvazív eljárásokat és alkalmazási területét, az ergonometriás, spirometriás, HRV-vizsgálatokat, diagnosztikai eljárásokat és ezek alkalmazásának alternatíváit a pilóták és UAV-operátorok felkészítésében és teljesítményértékelésében.)*

## Bevezetés

A levegőnél nehezebb, gépi meghajtású repülőeszközök esetében sajátos paradoxon, hogy miközben a repülés effektív energetikai megvalósítása (háromdimenziós mozgás végrehajtása extrém magasság-, gyorsulás- és sebességtartományban) alapvetően technikai-technológiai fejlesztések révén valósul meg, aközben – bár az emberi erőre direkt módon nincs szükség – a fizikai teljesítőképesség és a szív-érrendszeri reakciók harmonikus, kompenzációs működtetésére igen, hogy a fenti fizikai paraméterek szervezetet erő és akut túlterhelési/kimerítési stresszreakciót okozó hatásait, amelyek ad absurdum hirtelen cselekvőképtelenséget okozhatnak, minimalizáljuk. Ily módon az egyik oldali repüléstechnikai/avionikai fejlesztés maga után vonja az orvosbiológiai kutatást-fejlesztést, amelynek elsődleges célja a repülés-élettani stresszorokkal szembeni tűrőképesség felmérése és javításuk lehetséges kutatása. (Természetesen ennek is van technikai összetevője, a repülőorvos – mint „erőnléti edző” – csak részben tudja az élettani reakcióképeséget optimalizálni, szükség van az életfenntartó rendszerek technikai-technológiai fejlesztésére is, természetesen a biológiai alany adottságainak, teljesítőképességének objektív figyelembevételével. Mindaddig, amíg élő ember (pilóta) vezeti a repülőgépet, csak a már meglévő antropometriai, mozgásszervi, erőnléti alapokra építkezve lehet, a biomechanika és a repülésélettan kutatási eredményeire támaszkodva a fizikai teljesítőképességet, a speciális repülőorvosi (hypoxia<sup>1</sup> és G gyorsulás elleni)

<sup>1</sup> Hypoxia: oxigénhiány, alapvetően a repüléssel együtt járó nagy magasságon az alacsony nyomás okozta formája.

tűrőképességet növelni. Ennek megoldásában szükség van az élettani kihívások és körélettani válaszreakciók széles körű ismeretére és a technikai megoldások antropomorf, ergonómiailag hatékony kivitelezésére.

### **A repülőorvostan és a fizikai teljesítmény történeti összefüggése**

Ma evidenciának tűnik, hogy ahhoz, hogy a pilóta alkalmazkodóképessége, munkaképessége maximumát nyújthassa, mind a fizikai, testi teljesítőképesség, mind a pszichés/lelki stressztűrő képesség, mind az információ feldolgozó képesség szempontjából kiváló teljesítményt kell nyújtania. Történeti áttekintésben ez nem volt mindig így, illetve egy-egy paramétert önkényesen kiragadva, a követelményszinteket eltorzítva vagy leegyszerűsítve értékelték. De a fizikai teljesítőképesség elvárt szintje mindig része volt a követelményeknek, ha máshol nem, az általános, katonaegészségügyi alkalmassági fizikai paraméterek meghatározásánál.

A repülésben (különösen a katonai repülésben) a humán faktor (kibernetikai szempontból a gép – repülési környezet – ember hármas rendszerében a pilóta) vizsgálata szorosan követte a haditechnikai kihívások és technológiai fejlődés emelkedő spirál jellegű fejlődését, sokáig azonban csak retrospektíve, dinamikusan visszaható jelleggel, lekövetve annak változásait, mérőldköveit (magassági tartományok meghódítása, hangsebesség átlépése, többszörös G gyorsulás és túlterhelés). Ez a reflexió sajnos sokáig csak a repülésbiztonság riasztó statisztikáiban, a bekövetkezett légi közlekedési balesetek tanulmányozása után, a következtetések levonásában és a bekövetkező hasonló balesetek elkerülésének jobbító szándékában volt követhető, *a repülési szabályzatokat így valóban vérrel írták*. Először tehát a balesetek körülményeinek, repülésélettani aspektusainak feldolgozása nyújtott lehetőséget a hasonló stressz-szituációk legközelebbi elkerülésére (mi történhetett, hogyan tudtuk volna elkerülni?). Ezt csak később váltotta fel magának a stressz-szituációnak a tudatos, kontrollált szimulációja földi (biztonságos) körülmények között, ahol valós idejű orvosi biológiai monitorizálás közben lehetett a még elfogadható élettani reakciót elválasztani a kóros, mindenképpen előzetesen kizárandó és kerülendő körélettani reakcióktól – ez vezetett a speciális kutatási metodikák és ennek megfelelően a repülőorvosi alkalmassági, minősítési elvek kidolgozásához.

A „levegőnél nehezebb repülőeszközökkel történő repülés” születésnapja 1903. december 17-e, amikor a Wright testvérek az általuk kifejlesztett első géppel (Flyer) a levegőbe emelkedtek (Észak-Karolina, Kitty Hawk). Az első repülés rövidebb és kisebb magasságú volt, mint a Boeing-747 Jumbo Jet magassága és szárnyainak fesztávolsága – ilyen értelemben még természetesen semmit nem jelzett előre a repüléssel járó, várható repülés-élettani kihívásokból. 1908-ban, amikor az amerikai hadsereg beszerezte az első repülőgépet, még a szárazföldi egészségügyi követelményeket alkalmazták, amely a fogászati követelményeket emelte ki (az amerikai polgárháború túlélő – és kissé elavult – emléképeként a dugót kellett kihúzni a löporos üvegből). Csak 1910-ben a német hadsereg vezette be az első minimális repülőegészségügyi követelményrendszert, előre vetítve a dinamikusan fejlődő katonai repülés okozta potenciális kihívásoknak való törvényszerű

megfelelést. Az amerikai hadsereg (US War Department) 1912. február 7-én publikálta az első repülőorvosi követelményrendszert, amelyet hamarosan követett az olasz (Italian Air Medical Service), a francia és a brit orvosi standard. Ezekben már szerepet kapott a normális látás (mélységlátás, távolságbecslés), hallás, dobhártyák épségének definíciója. Alkalmatlanságot jelentett a színvakság/szintévesztés, a közép- és belsőfül/hallóideg heveny vagy idült betegsége, vagy a légző-, keringési és idegrendszer bármely betegsége – természetesen erősen behatárolt műszeres vizsgálati lehetőségek mellett. Az egyensúlyozó képességet például zárt szemmel történő „egy helyben állás”, illetve „ugrás nyitott/zárt szemmel” helyzetben ellenőrizték. Az 1914-ben történt szigorítás az egészségügyi követelményekben a beválási arány csökkenését és ezzel az utánpótlás nehezítettségét okozta. Az egyik „kifinomult” teszt szerint a jelölteknek egy tűt kellett a hüvelykujj és mutatóujj közé lazán szorítaniuk. Ha a fejük mögött közvetlenül elsütött pisztolylövés okozta (egyébként óhatatlan) startle (ijedtségi) reakció miatt megszurta az ujját, és vér jelent meg, alkalmatlanná vált.

Az I. világháború első évében (csekély intenzitású légi harc mellett is) a brit és francia repülőorvosi szervezet szerint a magas veszteségráta alapvetően a humán faktor elégtelenségére volt visszavezethető: Az összveszteségből 2% (!) volt ellenséges repülővel történt légi harc miatti veszteség, 60% saját testi/érzékszervi defektus közvetlen következménye, a többi mechanikai, technikai, karbantartási ok vagy „baráti tűz” miatt történt. Az I. világháború alatt a nyugati fronton egy vadászpilóta átlag 6 hétig (!) élt és repült, utána lezuhant és meghalt (vagy nyomorék lett). Ritka kivétel volt Roland Garros, a párizsi teniszszentély névadója, aki a „nagy háború” előtt már körbepölyt a Földközi-tengert, kiváló pilótaadottságokkal rendelkezett, és majdnem túlélte a háborút: 1918 őszén, pár nappal a 30. születésnapja és a háború vége előtt lőtték le.

Ugyanakkor már az I. világháború katonai légi hadviselése rámutatott az emberi szervezetet potenciális meg/túlterhelő magasság-élettani kihívásokra: a német haditengerészeti légjáró hadtest (*German Naval Airship Division*) londoni légitámadásai ellen alkalmazott légi eszközök<sup>2</sup> 5000–6000 m magasságban repültek (16 400–20 000 láb), ahol a hideg, a hypoxia, a hajtóműzaj (akár 8 órás expozíciós idő alatt) már dokumentált, komoly élettani reakciókat, klinikai tüneteket váltottak ki: szédülés, fülzúgás, fejfájás, emelkedett pulzus és légzésszám, kimerés jelentkezett. (A fedélzeti sűrített levegőnek pedig kellemetlen olajos íze volt, amit a repülőszemélyzet egyébként is vonakodott használni, mivel a gyengeség jelének tekintették.)<sup>3</sup>

Az amerikai katonai egészségügyi szolgálat is a magas veszteségráta okaként a testi defektus (mindenféle szervrendszeri elégtelenség) hátterében döntő mozzanatként a légköri csökkent oxigénkínálata okozta azonnali vagy késleltetett szív-érrendszeri inadekvát válaszreakciót feltételezte. (Egyéb okként a harctéri kimerülés, akna shock [„gránátnyomás” okozta komplex polytraumatizáció a lökéshullám miatt] és az ideggyengeség merült fel.) A Brit Királyi Légierő (RAF) kezdett először speciális rehabilitációs céllal

<sup>2</sup> Dirigibles: kormányozható léghajók.

<sup>3</sup> Jeffrey R. Davis et al.: *Fundamentals of aerospace medicine*. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2008. 4.

is bíró gondozóhálózat kiépítésébe (Care of Flyer Service). Ennek eredményeként két év alatt a testi defektusproblémák aránya 60%-ról 12%-ra esett. Ehhez a csökkenéshez a fizikai teljesítőképességgel szembeni követelménytámasztás, a tervszerű előrehaladó repülőképzés, a fizikai és érzelmi problémákra adott szakszerű kezelés kétségtelenül hozzájárult.

Persze mindig voltak kivételek: a repülést annak idején „ülő foglalkozásnak” tekintették, a fizikai teljesítőképesség abszolutizálása nehezen is volt összeegyeztethető némely kiváló vadászrepülő tényleges harci teljesítményével, miközben esetlegesen komoly egészségügyi problémákkal küzdöttek. Például Richthofen báró német ász harci kiképzője Georg Zeumer idült tuberkulózisban szenvedett, krónikus köhögéssel, a 40 légi győzelemmel rendelkező Oswald Boelcke tüdőasztmás volt. A brit ász, a 34 éves Mike Mannock 73 légi győzelemig jutott, miközben fél szemére születési rendellenessége miatt vak volt. Az ausztrál Frank Alberry hadnagy földi ütközetben elvesztette a lábát, de múltábal – a brit uralkodó személyes kihallgatáson átadott engedélyével – a légi erőben elvégezte a pilótaképzést, és 7 győzelemig jutott. (Furcsa fintora a sorsnak, hogy az I. világháború után, az újonnan megalakuló ausztrál légierő visszautasította a jelentkezését.) És a nagy német ász, a „vörös báró” Manfred von Richthofen gépét (80 légi győzelem) végül is lelövő Roy Brown idült gyomorfájdalommal repült, emiatt rendszeresen szódabikarbonátot, tejet és brandyt fogyasztott. Eddie Rickenbacker (26 győzelem) komoly fülműtéten (mastoidectomy, a fül mögött csecsnyúlvány üreges csont celláinak feltárásával) esett át. Ezek alapján a repülőkarrier sikeres folytatása felveti a lelki tényezők, a lelki állóképesség és motiváció jelentős kompenzációs szerepét, a testi defektusokkal szemben.<sup>4</sup>

1917 májusában adta ki a már részletesebb és a harci repülések okozta élettani kihívásokkal jobban korreláló egészségügyi követelmény rendszerét a U.S. Army, amelyben már szerepelt a normális szemizomegyensúly, a szemnyomás, a látótér, a közelpont szerinti akkomodáció és a középfül nyomáskiegyenlítési képesség elvárt szintje, illetve forgószékvizsgálat történt.<sup>5</sup>

A háborús tapasztalatok (effektíve az elégtelen pilótateljesítmény és a magas veszteségráta) nyomán szigorították és tovább egységesítették a jelöltekkel szembeni elvárásokat mind az általános egészségügyi, mind a speciálisabb fizikai felkészültséget, teljesítőképességet jellemző paraméterek vonatkozásában. Így született meg Theodore C. Lyster vezetésével az első részletes repülőorvosi kézikönyv és szabályzat 1916-ban (amely komplett formában 1919-ben *Air Service Medical* néven került kiadásra). A vizsgálatok rendszerében kezdettől fogva jelen voltak a szimulált, a repülési környezet valamely aspektusát külön kiemelő, azt szimuláló, akár szélsőséges stressz-szituációt kialakító

<sup>4</sup> Ennek jelentőségét például a mai amerikai katona-egészségügyi minősítő gyakorlat is elfogadja, lásd például a *Man of Honor (Férfibecsület)* címen megfilmesített történetet az amerikai Master Chief Petty Officer Carl Brashear Master Diver (oktatóbúvárról), aki első afroamerikaiként hajófedélzeti baleset után, amputált lábbal érte el ezt a beosztást és rendfokozatot, és 10 évig maradt még szolgálatban.

<sup>5</sup> A Bárány-féle forgószékes vizsgálatot, amely a magyar Nobel-díjas Bárány Róbert emlékét őrzi, a mai napig számos légierő standard módon alkalmazza. Az elismerést 1914-ben a „vesztibuláris apparátus (egyensúlyszerv) fiziológiájával és kórtanával kapcsolatos munkáiért” ítélték oda.

egészségügyi vizsgáló eljárások. A britek a szív-érrendszeri teljesítményt és hypoxia hatását vizsgálták visszalégzőtasakkal (rezervoir), amelyben progresszíven csökkentették az oxigén résznyomását, hogy szimulálják a nagy magasságú parciális oxigénnyomás csökkenését. A franciák a vesztibuláris rendszer<sup>6</sup> és az idegrendszeri állóképességet vizsgálták (szintén váratlan puska lövés okozta stresszhelyzetben). Az olaszok a reakció-időket, a cselekvési gyorsaságot mérték és minősítették.

Az egységes minősítési elvek kidolgozása vezetett az első repülőorvosi központok létrehozásához, ahol a kidolgozott szabályrendszer de facto alkalmazásához nagyon hamar felzárkózott a jogszabályi háttérnek a kor tudományos színvonala fejlődéséhez igazított folyamatos korszerűsítése, vagyis a tudományos eredmények felhasználásával a kiválogatási elvek, diagnosztikus eljárások korszerűsítése és alkalmazása a repülőorvosi klinikai gyakorlatban. Kutatási vonalon is az amerikaiak intézményesítették először a repülőorvosi alkalmazott (később alap) kutatási tevékenységet, tudományos munkát. Dr. Lyster (ekkor már az amerikai repülőorvosi központ – U.S. Army Aviation Section – vezetője) 1917 májusában hozta létre Isaac H. Jones philadelphiai fül-orr-gégész kollégával az első repülőorvosi vizsgálóközpontot a philadelphiai egyetemi kórházban, amelyet 34 követ majd országszerte. 1917 decemberétől három hónapos európai tanulmányút keretében tanulmányozták az európai fejlődési tendenciát, majd visszatérve megalapították Long Island (New York) Hazelhurst Field területében az első kutató laboratóriumot is Air Service Medical Research Laboratory néven, amelynek William H. Wilmer (szemésorvos) lett a parancsnoka. A létesítményben korszerű alacsony nyomású barokamra működött, ahol úttörő kutatásokat végeztek a repülésélettanban kulcsszerepet játszó hypoxia tanulmányozására és a hypoxia elleni védelem technikai megoldásaira. A pilóta speciális fizikai teljesítőképességének elbírálására állandó bizottságot hoztak létre. Működését a már említett, komplett formában 1919-ben kiadott *Air Service Medical* repülő-egészségügyi kézikönyv írta le. Ebben már szerepelt az igény a flight surgeon – repülőorvos specialista – státuszára, pilóta képezésére is, hogy az orvosok első kézből szerezzenek tapasztalatot a repülés okozta megterhelésről, az orvosi biológiai kihívásokról. Így nem véletlen, hogy az 1921-ben elsőként végzett repülőorvos-csoportból Raymond E. Longacre saját tapasztalataival megerősítve állította össze a személyiségjellemzőkre vonatkozó követelményszintet. Az I. világháború után Hazelhurst Field magánrepülőtér lett (Roosevelt Field néven), a kutatólabor 1919-ben a közeli Mitchel Field-re költözött, 1926-ban költözött Texasba (San Antonio, Brooks Field), majd a Randolph Field repülőtérre és vissza a Brooks AFB légítámaszpontra, ahol a 2000-es évek elejéig az USAFSAM (Amerikai Légierő Repülőorvosi Iskolája) is működött. A „repülő orvos”, *flight surgeon* beosztás ma is létező, elfogadott orvosi diszciplína és katonai beosztás is egyben az angolszász országok többségében, bár tényleges repülési kötelezettséget csak az amerikai haderőnemeknél jelent. A RAF Brit Királyi Légierőben csak az andoveri speciális alakulatnál kötelező. Dr. Brathwaite orvosvezetési irányítása alatt

<sup>6</sup> Vesztibuláris rendszer: a belső fülben lévő egyensúlyérző rendszer (félkörös ívjáratok és zsákocskák/tömlőcske mint graviceptorok és accelerométerek egységes rendszere), amely a VIII. agyidegen keresztül juttat testképi-helyzetérző információkat az agytörzsbe és a kisagyba.

a csak repülés közben jelentkező térbeli dezorientáció (tájékozódó képesség elvesztése, illúziók) demonstrálása és a tűrőképesség fokozása a cél a katonaoorvos kollégák számára.<sup>7</sup> A repülőorvosi képzettség az úrkorszakban, az űrhajók/űrsiklók fedélzetén végrehajtott misszióspecialista beosztásokban is előnyt jelentett (bár fatális kimenetel is előfordult: a Columbia végzetes dezintegrációjakor a 2003. február 1-jei visszatéréskor az STS-107 misszió végén).<sup>8</sup>

Hasonlóképpen az európai nemzeteknél: a bekövetkező balesetek és háborús tapasztalatok a műszaki problémák mellett az egészségügyi követelmények fontosságára is rávilágítottak. Az 1920-as években az európai országokban is létrejöttek a repülőorvosi követelményeket kidolgozó és a vizsgálatokat végrehajtó speciális intézetek. Magyarországon az 1930-as években Merényi Scholtz Gusztáv légügyi orvos vezetésével alakult ilyen intézet. A repülőorvosi minősítés végrehajtása mellett nagy hangsúlyt fektettek a pilótateljesítmény orvosi biológiai hátterének kutatására, a standardok fejlesztésére barokamrai hypoxiás körülmények között, hiszen „talán a leghősiesebb és emberpróbálóbb vizsgálóeljárása egy pilóta teljesítő- és állóképességének a magassági repülés”.<sup>9</sup>

### **A repülőorvostan tudományrendszertani besorolása**

A repülőorvostan olyan alkalmazott orvostudományi ág, amely a potenciálisan veszélyes és ellenséges repülési környezetben az emberi teljesítőképesség határaival, fenntartásával, illetve megőrzésének lehetőségeivel foglalkozik. Mint alkalmazott tudomány erősen interdiszciplináris jellegű, sok tudományágat átfogó terület. Szorosan követi a repülőtechnika és avionika, valamint a kapcsolódó műszaki tudományok és a hadtudomány időnként robbanásszerű fejlődését, és megpróbál az új kihívásokra új megoldásokat kínálni. Jó példa erre a múltból (II. világháború és az azt követő évtized) a nagy sebességű, nagy magasságú repülések miatt kifejlesztett magassági védőfelszerelések tökéletesítése: hogyan alakult ki a komplex magassági ruha-sisak-oxigénlégző rendszer, az anti-G (gyorsulás és túlterhelés ellen védő) ruha. A háború utolsó éveiben a sugárhajtóműves vadászrepülőgépek megjelenése, a zuhanó- és nagy magasságú bombázások tömeges alkalmazása már jelezte az új élettani kihívásokat.<sup>10</sup>

A repülőorvostanban egyszerre érvényesül a megelőző preventív szemlélet és a diagnosztikai-terápiás gyógyító szándék. A diszciplína fejlődésében ennek megfelelően mindig tetten érhető az új mérőműszerek, diagnosztikus eszközök korai alkalmazása, validálása, indikációs körének kidolgozása azzal a céllal, hogy minél többet megtudjunk

<sup>7</sup> A szerző saját tapasztalata: 1999 Diploma in Aviation Medicine, King's College és Royal Air Force közös diploma tanfolyama.

<sup>8</sup> Küldetésspecialista David M. Brown és Laurel Clark, mindketten az Amerikai Haditengerészet (US Navy) ezredesei, repülőorvosok.

<sup>9</sup> Jesse Richardson Hildebrand: Man's amazing progress in conquering the air. *National Geographic Magazine*, 46. (1924), 112.

<sup>10</sup> A Messerschmitt Me 262 volt az első aktív csapatszolgálatba állított vadászrepülőgép, az Arado Ar 234 pedig az első bombázó-repülőgép, amelyet sugárhajtóművel láttak el. Paolo Matricardi: *A harci repülőgépek nagy könyve*. Budapest, Gabo, 2006. 233.

az extrém környezeti viszonyok között munkavégző emberről, annak élettani reakcióiról, teljesítményének korlátairól, pszichés stressz-szintjéről.

Ebből a szempontból különös jelentősége van az érzékszervi vizsgálatoknak, hiszen az információszerzési folyamat sikere alapvető a repülés sikeres és biztonságos végrehajtásához. A másik szervrendszer pedig a keringés, ahol a rövid távú reflexszintű alkalmazkodás és a hosszabb távú adaptáció vizsgálata során a szív-érrendszer egyes paramétereit vizsgálhatjuk. A különböző eszközök (longitudinális 24 órás EKG, vérnyomás monitorizálása, a billenőasztal-vizsgálat (a túlterhelések vagy éppen a súlytalanság modellezése) ezt a célt szolgálják. Ez viszont a sportorvostan teljesítménydiagnosztikai lehetőségeit is felhasználja a pillanatnyi teljesítőképesség regisztrálására és optimalizálására.

A repülőorvostan fejlődését a kezdetektől a jelenlegi világűrt meghódító korszakig (*aerospace medicine*, azaz repülő- és űrorvostan tudomány) a katonai igények és technikai fejlesztési lehetőségek diktálták, amelyben csak a legutóbbi időkben jelent meg a polgári repülőgépipar gazdaságosságra és repülésbiztonságra való törekvése is. A katonai meghatározottság és a légierő hadművelleti alkalmazhatóságának igénye megnyilvánul abban is, hogy a repülőorvosi tudásbázis mind nemzeti (például MTA rendszertani besorolás), mind nemzetközi (például NATO standardizációs szervezet) kategorizálás szintjén a hadtudományokhoz, azon belül a légiművelet támogató képességhez erősen kötődik, annak integráns része.

Hazánkban a Magyar Tudományos Akadémia négy tudományterületen tizenegy tudományos osztályt működtet. A tudományos osztály az Akadémiának egy vagy több, egymáshoz viszonylag közel álló tudományágazat szerint szervezett egysége. A tudományos osztály ellátja az Akadémia feladataiból a tudományágazatára háruló teendőket. A hadtudományok mint szubdiszciplína a kilencedik tudományos osztályba tartozik. A IX. osztály a Gazdaság- és Jogtudományok Osztálya, eredetileg e két nagy tudományterület akadémikus tagjainak testületeként jött létre. A későbbiekben újabb diszciplínák és szubdiszciplínák csatoltattak az Osztályhoz: a szociológia, a politikatudomány, a statisztika, a demográfia, a hadtudományok, továbbá a regionális tanulmányok tudományterülete is. Az MTA főtitkára az 1970-es években úgy fogalmazott: „A szervezéstudomány terén a világtörténelemben a hadtudomány járt az élen. Julius Caesartól vagy Hannibáltól kezdve egy folyamatos katonai szervezéstudomány van, amelynek vannak hadművészeti, stratégiai elemei is, és van alapvető klasszikus katonai szervezési anyaga. Tehát a hadtudomány klasszikus hagyományai és modern tapasztalatai lényegesen a polgári élet számára is.”<sup>11</sup>

Nemzetközi katonai szervezet szintjén a hadtudományi integráció még egyértelműbb. A NATO standardizáció szervezete az elérhető kompatibilitási szinteknek megfelelően a művelési eljárások, technikai berendezések egységesítésével foglalkozik. A Repü-

<sup>11</sup> Ács Tibor: Jubilál a Magyar Tudományos Akadémia Hadtudományi Bizottsága. *Hadtudomány*, 14. (2004), 3–4.



orvosi-technológiai együttes értékelése. (Egy lélegeztetőgép lehet bármilyen hatékony klinikailag, ha annak működése során a kabinban a diszkomfort, a légzési munka tudatosulása elvonja a pilóta figyelmét a harci feladatról, már csökkenti a harcképességet, és repülésbiztonsági kockázatot jelent.)



2.ábra: A repülő-egészségügyi ellátás működési területei

*Forrás:* Erich Rödiger repülő főszakorvos konferencia-előadása nyomán a szerző saját szerkesztése

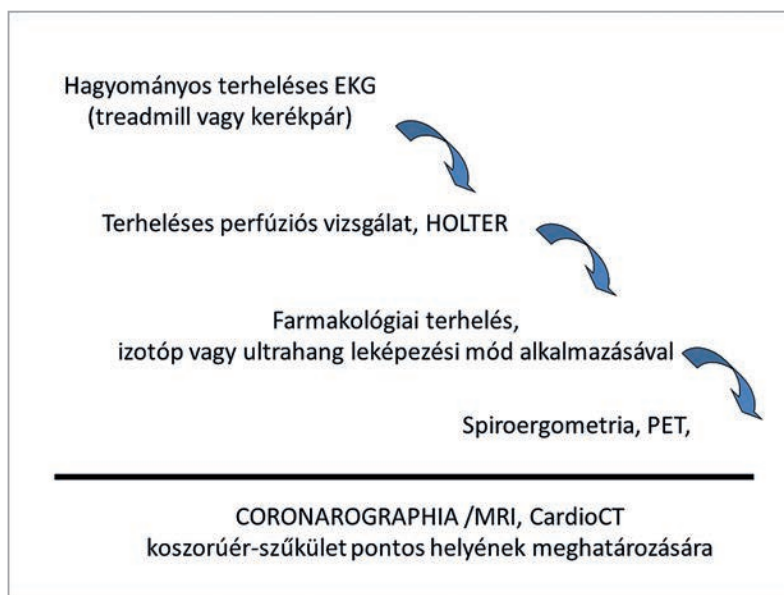
## Orvostudományi kutatási metodikák

Valamennyi légierő nagy erőfeszítéseket tesz annak érdekében, hogy már a kiválasztás során a repülésre legalkalmasabb, a legjobban teljesítő, a kombinált (fizikai, szellemi) stressz-szituációkat legjobban elviselő jelölteket válasszák ki, a kiképzés a lehető leggazdaságosabb legyen. A pilóta kiképzése rendkívül drága. A kiválasztás során az a cél, hogy a pilóta a befektetett összeget hosszú, tartalmas, előrehaladó, sikeres kiképzéssel és munkaalkalmassággal, hadrafoghatósággal hálálja meg.

Minden ország repülőorvosi szakintézetének és hatóságának szuverén joga, hogy saját kritériumrendszert állítson fel, természetesen a repülésbiztonság és a modern orvostudomány ismereteinek szem előtt tartásával. Vannak nemzetközi harmonizációs törekvések, az ICAO (az ENSZ Repülési Világszervezete) minimumkövetelményeket rögzít, a JAA (Joint Aviation Authorities) – Európai Közös Légügyi Hatóság –, majd 2011-től az EASA (Európai Repülésbiztonsági Ügynökség) szigorúbb egységes elveket

vall, de ezek csak a polgári pilótákra vonatkoznak.<sup>16</sup> A NATO repülőorvosi egyezményei (elsősorban a STANAG 3114 Egységes Védelmi Előírás) főleg a pilóták repülőorvosi kiképzését, centrifuga- és barokamratréningek protokollját igyekszik egységesíteni, a nemzeti orvosi követelményrendszerbe nem szól bele.

Minden ország repülőorvosi minősítési alapelve, hogy a kiválogatás, a szelekció során a legszigorúbb az elbírálás, hiszen itt a jövőbeli állapotromlást is valószínűsíteniünk, prognosztizálnunk kell: ami a normális civil életben talán sohasem okozna problémát, a katonai repüléssel járó megterhelések kapcsán hamar munkaképesség-csökkenéshez vezetne. A prognosztikai igény tekintetében viszont jelentős nemzeti különbségek lehetnek a fizikális és műszeres vizsgálatok spektruma tekintetében. Általában az antropometriai és a pszichológiai, a Magyar Honvédségben ezenfelül pedig a radiológiai (gerincrontgen) követelmények jelentik az első nagy próbatételt. Svédországban 1200 jelentkezőből mintegy 40 fő alkalmas Gripen-jelöltnek, hazánkban még rosszabb a beválási arány. Szilárd anyagi háttérrel rendelkező légierők esetében (RAF, USAF) a gyakorlati repülőképzés során is jelentős a lemorzsolódás, illetve csak ismétlődő repülőbalesetek esetén vezetnek be új metodikát, például az EEG-vizsgálatot az Amerikai Légierőben az F-104 Starfighter-en a repülőbalesetek után. (Ma már az EEG-anomáliák, ritmus rendellenességek megítélése egységesen nagyon szigorú a jelölteknél, még klinikai tünetek nélkül is.)



3. ábra: Kardiológiai diagnosztikai kaszkád

Forrás: a szerző saját szerkesztése

<sup>16</sup> 1178/2011 Regulation (Európai Unió rendelete), Annex IV. PartMed.

A klasszikus klinikai útmutatók alapján szisztematikusan egymásra építhető, EBM<sup>17</sup> ajánlási szintekkel bíró szív-érrendszeri vizsgáló eljárások a repülőorvosi minősítő eljárásokban szerepelnek, és kutatási célzattal is alkalmazhatjuk őket. Leggyakrabban a terheléses és képalkotó vizsgálatok egyfajta algoritmus szerinti összerendezése adja a legtöbb funkcionális és képi információt, például a szívről (3. ábra).

Ezek alkalmazása során a klinikai gyakorlatban alkalmazott szenzitivitási, specificitási, prediktív értékparamétereket használjuk, külön figyelemmel a Bayes-tételre, amely egy klinikai kórállapotra vonatkozóan fenntartást és óvatos értékelést javasol az adott populációban jellemző előfordulási arány (prevalencia) függvényében. Ennek megfelelően a terheléses EKG hagyományos mutatószámai (például az ST-szakasz eltérései) egy egyébként egészséges pilótapopulációban (különösen kísérleti hypoxia körülményei között) csak fenntartással értékelhetők szívizomkeringési zavar, csökkent terhelhetőség irányában. Ilyenkor a légzésfunkció kiegészítő paraméterei és a gyógyszeres (érzékenyített) vizsgálati metodikák lehetnek hasznosak a morfológiai leírás kiterjesztésével (ultrahang és/vagy izotópos *nuclear imaging*) képalkotó technikák alkalmazásával (4. ábra). Az arany standard még a koszorúér-feltöltéses érvizsgálat (koronarográfia), de az új generációs MRI (mágneses rezonancia) és CT (komputertomográfia) is dinamikus, funkcionális paraméterek egész sorát kínálja már.

**Fizikai (isotoniás/dinamikus) terheléses vizsgálatok**

**Dinamikus terhelés:**  $\max \text{VO}_2$  ( $\text{PTF} \times \text{AVDO}_2$ )

**Ergometriás vizsgálat:**  
pulzus, vérnyomás-reakció, EKG-eltérések

**Spiroergometriás vizsgálat:**  
 $\text{VO}_2\text{max}$  l/min, VE l/min,  
 $\text{VCO}_2$  l/min, RQ, oxigénpulzus,  
ventilációs határ VT

**Farmakológias terheléses vizsgálatok**  
dipiridamol-teszt, adenosin-teszt, dobutamin-teszt:  
myocardium perfúziós zavar (steal vagy direkt csökkenés)



4. ábra: Kardio-pulmonális rendszer jellemzése

Forrás: a szerző saját szerkesztése

<sup>17</sup> EBM (evidence based medicine): gyakorlati tapasztalatokon, evidenciák különböző szintjein megfogalmazott ajánlások, útmutatók rendszere.

A fizikai teljesítőképességet közvetlenül jellemző eljárások nemzeti összevetése során a terheléses EKG minden protokollja alkalmazható a repülőorvosi minősítő és kutatási célú vizsgálatokban, beleértve a vitamax/submax, steady state, kétlépcsős (100 W és 150 W) ergometria profiljait, amelyeknél a szimulált terhelés időtartama, az elérendő pulzustartomány, ischaemiás terhelési index lehet meghatározó. Néhány repülőorvosi intézet (például a svéd) alkalmaz kiterjesztett vizsgálatot a légzésfunkció jellemzésére (fizikai terhelésre vagy metacholin-tesztre provokálható tüdőasztma kizárására) és az anaerob ultrarövid terhelési periódusra vonatkozó laktátküszöb és Astrand-, illetve Wingate-teszt kivitelezésével (5. ábra). Összességében azonban leszögezhető, hogy a standard klinikai kardiológiai, teljesítménydiagnosztikai vizsgálatok csak egyfajta előszűrést jelentenek a speciális repülőorvosi diagnosztikai és terhelési vizsgálatok pozitív prediktív értéke szempontjából, a sikeres teljesítményhez a gyakorlás, tudatos felkészülés és lelki motiváció is szükséges. Mindig, minden katonaiállomány-kategóriában nehéz megítélni a beosztással járó fizikai követelményszinteket és a fizikai teljesítőképességgel kapcsolatos elvárásokat a tényleges munkavégzés és a harci (vagy legalábbis katonai célú, azaz harctámogató és biztosító szakágaknak és fegyvernemeknek megfelelő) alkalmazás során várható erő kifejtéssel, vagyis fizikai stresszel összhangba hozni.<sup>18</sup> A Magyar Honvédség által bevezetett fizikai alkalmassági minősítési rendszer az amerikai szárazföldi hadsereg (US Army) minősítési rendszerén alapul, a fizikai felmérés formáit (futás, felülés, fekvőtámasz) és a szintidőket, pontozási sémát is figyelembe véve, a magyar populációra alkalmazva.<sup>19</sup>

A légierő követelményei ettől eltérhetnek; nem véletlen, hogy a USAF Amerikai Légierő 12 éven át szüneteltette az AFPT (Air Force Physical Test) fitnesztesztet mint edzettséget felmérő, minősítő rendszert, részben a felkészülés és a minősítő felmérés (a futás) alatt bekövetkező és a közvéleményben kedvezőtlen visszhangot kiváltó, váratlan halálesetek miatt, helyette kerékpár ergometriás vizsgálatot végzett.<sup>20</sup> Az iraki háború tapasztalatai nyomán – az aktív és tartalékos állomány csökkent fizikai teljesítő képességét látva – 2004-től visszaállították ugyan a felmérés rendszerét, de azóta is folyik a vita arról, vannak-e a légierőnek és azon belül a pilótaállománynak speciális szempontjai. A megszerezhető összpontszámból az Amerikai Légierő most csak 50%-ot ad az aerob kapacitásra (a futásra), 30%-ot a testalkatra (ez gyakorlatilag a háskörfogat mérését jelenti)<sup>21</sup> és 20%-ot az izomerőre (felülésre és fekvőtámaszra).

A brit királyi légierő speciális PULHHEEMS minősítési rendszerében 8 szintű az osztályozás a katonai állományban, és még a pilóták között is különbséget tesznek: a minden

<sup>18</sup> Eleki Zoltán: *A katonákkal szemben támasztott fizikai követelményrendszer hatásfokának vizsgálata*. PhD-értekezés, ZMNE, 2004.

<sup>19</sup> FM 21-20 US Army. Az amerikai szárazföldi haderő testnevelési szakutatisása; Kovács Péter: *Terhelés- és teljesítmény-élettani mutatók vizsgálata a Magyar Honvédség és a civil szféra hadrafoghatóság szempontjából érintett területein*. PhD-értekezés, ZMNE, 2005. Tézisek.

<sup>20</sup> DOD Instruction with AFI 40-501.

<sup>21</sup> Háskörfogat férfiaknál 102 cm fölött magas kockázatú, kóros, a BMI testtömegindex 25 kg/m<sup>2</sup>-ig optimális.

körülmény között bevethető pilóták kategóriájától a csak honi bázison alkalmas hajózóig (mert például gyógyszeresedés miatt rendszeres ellenőrzést igényel)<sup>22</sup>.

A Magyar Honvédségen belül a repülő-hajózó állománynak életkorcsoport szerinti magas pontszámban teljesítenie kell a 10/2015. HM rendeletben<sup>23</sup> előírt futást, ugyanakkor az éves alkalmassági vizsgálat során a klinikai szempontból informatív kerékpár ergometriát is teljesíteniük kell, ahol a minimum 2,2 W/kg terhelési teljesítményszint kívánatos. A gyorsulás-túlterhelés tűrőképesség szempontjából a túlzott aerob kapacitás nem biztos, hogy előnyös. Aki sokat fut, annál a szív-érrendszer gyakran egy gazdaságos „alapjáratot” alakít ki, alacsony pulzusszámmal, nagyobb szívösszehúzóerővel, azaz „lökettérfogattal”. Ez a változó gyorsulások-túlterhelések mellett kifejezetten hátrányos lehet: a pilóta képtelen lesz a szívfrekvenciát kellő gyorsasággal felpörgetni („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 izomzattal) rontsa a G-gyorsulástűrő képességet.<sup>24</sup>

A futás mellett a teljesítmény jellemzésének, fejlesztésének másik lehetősége az izomerő-gyorsaságerő komponensek mérése, illetve tréning útján történő javítása. A USAF amerikai légierő kidolgozott egy súlyemelőprogramot, amely a vázizomzat tartós megfeszítésével és izometriás összehúzásával az anti-G feszítési manőver hatékonyságát volt hivatott növelni. Úgy találták, hogy 12 hetes speciális súlyemelőprogram révén az SACM (szimulált légiharc centrifuga programban) 53%-kal sikerült növelni a tűrőképesség idejét.<sup>25</sup> Később – az izületekre 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 (Sålténäs) légi bázison kiképzésben részt vevő magyar pilótáknak is rendelkezésére álltak Svédországban. Különösen a háti-ágyéki szakaszon a porckorongok tehermentesítése és a szalagok-izomrendszer erősítése lenne alapvető. A repült típussal egyértelműen összefügg a mágneses rezonancia képeken látható ágyéki I–IV csigolya elfajulása a nagy manőverező képességű gépeken repülő pilótáknál.<sup>26</sup>

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

<sup>22</sup> Szabó Sándor András – a brit repülőorvosi diploma tanfolyam tapasztalata, a RAF Cranwell légi bázis (Légierő Egyetem) meglátogatása kapcsán (1999); [www.army.mod.uk/servingsoldier/condofserv/health-care/PULHHEEMS](http://www.army.mod.uk/servingsoldier/condofserv/health-care/PULHHEEMS)

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

<sup>24</sup> Robert E. van Patten: G-Lock and the Fighter Jock. *Air Force Magazine*, Oct. 1, 1991.

<sup>25</sup> W: L. Epperson – R. R. Burton The effectiveness of specific weight training regimes on simulated aerial combat manoeuvre G tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 56. (1985), 6. 534–539.

<sup>26</sup> Dan-Avi Landau et al.: Cervical and lumbar MRI findings in aviators as a function of aircraft type. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 77. (2006), 11. 1158–1161.

kapacitással már képes megfelelni a Hornet által támasztott  $+G_z$  gyorsulástűrő képességi kihívásoknak: átlagos maximális oxigénfelvételük  $50 \pm 6$  ml oxigén/kg/min volt, ami 14 MET-nek felel meg.<sup>27</sup>

Ugyanakkor az izraeli légierőben a kiválogatás során szelekciós előnyt jelentett a nagyobb aerob kapacitás (Astrand-féle kerékpárteszt), sőt az anaerob teljesítményteszt eredménye is (magasugrás). Hosszabb távon természetesen a fizikai edzettség elválaszthatatlan az általános szív-érrendszeri rizikóprofil alacsony szintjétől, amelyre későbbi fejezetben térek vissza.<sup>28</sup> A jó fizikai állapot fenntarthatósága viszont a kezdetektől 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 betegségmentes periódust ígér.

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 javította a futási teljesítményt, de magasabb szívfrekvencia-tartomány mellett, tehát repülési környezetben alkalmazása ellentmondásos lenne.<sup>29</sup> Helyette szintén kanadai szerzők felvetik az izomerő-feszítés, különösen a légzőizmok erősítését, gyakoroltatását a G-tűrőképesség fokozására.<sup>30</sup>

A gyorsulás okozta akut adaptációt a sportorvostanban a Wingate-tesztel lehet leginkább modellezni, amelynek során az anaerob kapacitást mérjük (a módszert az 1970-es években, Izraelben, a Wingate Intézetben fejlesztették ki). A felmérés során a vizsgált személy a lábával, maximális frekvenciával hajt egy kerékpárt, amelyen azonnal szubmaximális (a maximális teljesítőképesség 80–90%-át elérő) teljesítményszintet kell elérni, ellenállással szemben, 30 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 (gyorsaság-erő komponens). 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.

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 szakaszát meghaladó teljesítményleadás. Ennek értéke valószínűsíti az alaktacid, foszfátokkal megszerezhető

<sup>27</sup> David Newman – S. W. White – R. Calister: Patterns of physical conditioning in Royal Australian Air Force F/A-18 pilots and the implications for  $+G_z$  tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 8. 739–744.

<sup>28</sup> J. R. Hoffman et al.: The relationship of physical fitness on pilot candidate selection in the Israel Air Force. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 2. 131–134.

<sup>29</sup> D. G. Bell – I. Jacobs: Combined caffeine and epinephrine ingestion improves run times of Canadian Forces Warrior Test. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 4. 325–329.

<sup>30</sup> Pearl Young et al.: Respiratory muscle training and performance of a simulated anti G strain manoeuvre. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78. (2007), 11. 1035–1041.

energiakészletet. Az átlagos teljesítmény kiszámítható a 30 másodperc alatt folyamatosan mért fordulatszám alapján számított pillanatnyi teljesítmények átlagaként, amely a bruttó anaerob kapacitást jellemzi.

De ez a folyamat („hirtelen csúcsra járatás”) is csak akkor működik, ha az agy és szív szintjén a vérátáramlás teljes, vagyis az akut agyi keringésromlás nem gátolja a vérnyomásreflexek megfelelő aktivációját! „Agyatlanul”, agyi keringés biztosítása nélkül a keringés összeomlása ezt a teljesítményt is lerontja, ami hypoxiában másodpercek alatt bekövetkezhet. Bár például a Svéd Légierő repülőorvosi intézetében minden repülő kategóriánál alkalmazzák a tejsavkülöb-meghatározást<sup>31</sup> és a Wingate-tesztet a szelekciós folyamatban, a G-tűrő képességet igazából a DFS<sup>32</sup>-centrifuga-tesztek során kell felépíteni a jelölteknek, és minősítő csúcsterhelés során igazolni a Gripen átképzés során (itt a centrifugában a maszkon keresztül akár túlnyomásos oxigénlégzésre is van mód, a rövid ideig alkalmazott speciális légzéstechnika<sup>33</sup> kiküszöböli a hypoxiát, javítja az agyi keringést).

|                                          | <b>Magyar<br/>honvédség</b>                          | <b>Svéd<br/>légierő</b>                                                | <b>RAF brit<br/>királyi légierő</b>            | <b>Német<br/>légierő</b>  |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Labor</b>                             | <i>teljes + drogtest is</i>                          | <i>teljes + drogtest is</i>                                            | <i>szűkített, 5 évente</i>                     | <i>teljes</i>             |
| <b>Röntgen</b>                           | <i>mellkas, teljes gerinc,<br/>ormelléküreg, fog</i> | <i>mellkas, fog</i>                                                    | <i>mellkas</i>                                 | <i>mellkas</i>            |
| <b>Antropometria</b>                     | <i>azonos paraméterek</i>                            | <i>azonos paraméterek<br/>+ bőrredőmérés</i>                           | <i>más géptípusra</i>                          | <i>más géptípusra</i>     |
| <b>Légzésfunkció</b>                     | <i>csak VICA-teszt</i>                               | <i>spirometria<br/>+ metacholinteszt</i>                               | <i>metacholinteszt<br/>(csak gyanú esetén)</i> |                           |
| <b>Terheléses EKG</b>                    | <i>azonos paraméterek</i>                            | <i>azonos paraméterek<br/>+ izomerőmérések<br/>+ laktátküszöbmérés</i> | <i>klinikai indikációval</i>                   | <i>azonos paraméterek</i> |
| <b>Szívultrahang,<br/>hasi ultrahang</b> | <i>azonos paraméterek</i>                            | <i>azonos paraméterek</i>                                              | <i>klinikai indikációval</i>                   | <i>azonos paraméterek</i> |
| <b>EEG</b>                               | <i>azonos paraméterek</i>                            | <i>azonos paraméterek</i>                                              | <i>azonos paraméterek</i>                      | <i>azonos paraméterek</i> |

5. ábra: Nemzeti szelekciós sajátosságok a repülőalkalmasság elbírálásában

Forrás: a szerző szerkesztése

<sup>31</sup> J. R. Hoffman et al.: The relationship of physical fitness on pilot candidate selection in the Israel Air Force. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 2. 131–134.

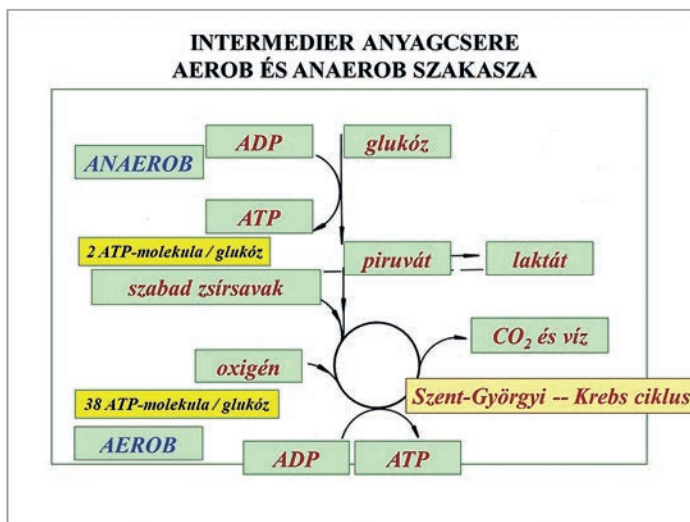
<sup>32</sup> DFS (dynamic flight simulator): dinamikus repülési szimulátor (centrifuga) Linköpingben.

<sup>33</sup> PBG (pressure breathing for G): túlterhelés elleni túlnyomásos légzési profil.

## A fizikai állóképesség repülélettani vonatkozásai

A pilóta fizikai állóképességének jelentőségét két fő szempontból értelmezhetjük:

1. a repülélettani paraméterek (gyorsulás, oxigénhiány) okozta pillanatnyi extrém fizikai teljesítményigény (például *dogfight* légiharc, műrepülés közben, illetve nagymagassági kihermetizációkor, vagyis a kabinnyomás hirtelen elvesztésekor kialakuló hirtelen hypoxiában vagy a túlnyomásos légzés okozta, fordított légzési ciklussal járó, erőltetett légzéssel járó erőfeszítés kapcsán).
2. A szív-érrendszeri kockázati tényezők okozta (alapvetően az érelmeszesedés progresszív folyamatához köthető) megbetegedés kockázatát alacsony szinten tartva, hosszú távra határozza meg a pilóta munkavégző képességét.



6. ábra: Intermediér anyagcsere és ATP-képzés

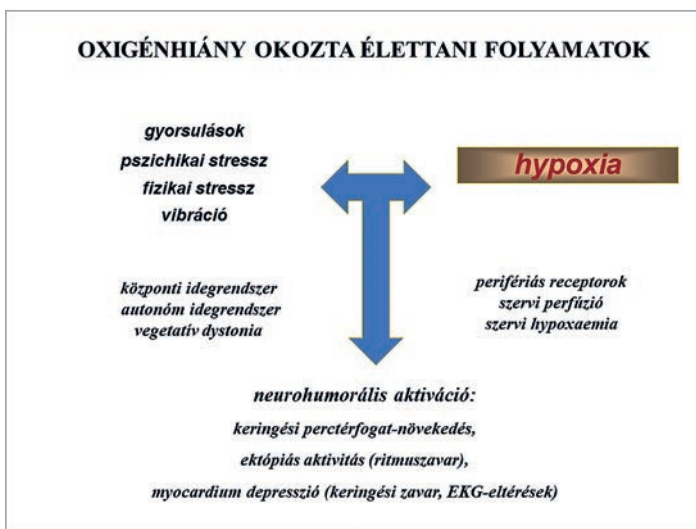
Forrás: Ernsting (2000) i. m. alapján a szerző szerkesztése

Hirtelen cselekvőképtelenséget leggyakrabban a fej-láb irányú gyorsulás/túlterhelés okozta akut agyi keringésromlás (G-LOC)<sup>34</sup> és a magassági oxigénhiány tud okozni, mindkettő, a túlterhelés/hypoxia függvényében, akár 15 másodperc alatt teljes eszméletvesztést provokálhat, így módon a legnagyobb repülésbiztonsági élettani kockázat. A hypoxia „még mindig csendes gyilkos”: a biokémiai háttérrel (a tengerszinti normális oxigénrésznyomás mellett teljes oxigenizációt és a nagymagassági hypoxiát, csökkent külső oxigénkinálatot, szöveti alacsony oxigénszintet) 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 (6. ábra) –, sem a légzés-keringés szintjén nem következik be olyan adaptív válasz, amely sejtszinttől a keringési-légzési-izomerő

<sup>34</sup> G-LOC (G induced loss of consciousness): túlterhelés okozta eszméletvesztés.

centrálisan szabályozott paraméterein át a Wassermann-ciklusok<sup>35</sup> akadálytalan felpörgetését lehetővé tenné.

Hypoxiában az agy szintjén a vegetatív idegrendszer speciális tónusvesztése miatt minimális a terheléses válaszreakció (5500 m-en 2-4 MET-nek felel meg nyugalomban), a légzés szintjén pedig kiesik a kis vérköri tüdőkeringés fokozódása és a passzív szén-dioxid-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 nagy vérkörben értágító hatású –, az utóbbi pedig a tüdőben lecsökkenő szén-dioxid-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>36</sup>-technikával közvetlenül mérhető, és bizonyítja a magassági hypoxia elhúzódó, agyi keringést rontó hatását. Vagyis mind az agyi légzés-keringés vezérlés, mind az oxigéntranszport-rendszer, mind a fizikai teljesítménnyel jellemzett vázizomzat fokozottan szenzitív az oxigénhiányra és szén-dioxid-kimosásra, komplex adaptációs zavar alakul ki. (7. ábra)



7. ábra: Oxigénhiány okozta egyensúlyvesztés a vegetatív idegrendszerben<sup>37</sup>

Forrás: a szerző saját szerkesztése

<sup>35</sup> Balogh Péter: *Bevezetés a sportdiagnosztikába*. Debrecen, Campus, 2015.

<sup>36</sup> NIRS (near infrared spectroscopy): infravörös tartományhoz közel 880 mikrométernél meghatározott agyi oxigénszint a homloklebeny fölé helyezett elektródákkal.

<sup>37</sup> Szabó Sándor András: *A katonai repülő-hajózó állomány repülőorvosi minősítése és kiképzése a NATO standardizációs egyezmények szellemében (Különös tekintettel a szív-érrendszeri adaptáció és readaptáció vizsgálatára komplex és szimulált repülési stressz környezetben)*. PhD-dolgozat. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2009. 84–85.

Ennek következménye, hogy a magasság függvényében az oxigénhiány és szén-dioxid-vesztés miatti agyi érzéskültség együtt érzeteti hatását, a mentális teljesítménycsökkenés sokkal kritikusabb, mintha csak az oxigénkínálat csökkenne le, de a szén-dioxid-szint változatlan marad.<sup>38</sup> A hypoxia hadműveleti körülmények között is érzeteti hatását: már tízezer láb alatt is hypoxia okozta kognitív zavarról számolnak be helikopterpilóták (számolási nehézség, dezorientáció, szédülés), 10 000–14 000 láb (3000–4200 m) közötti magasságon pedig Apache 64-D pilóták 70%-a egyértelműen teljesítménycsökkenést tapasztalt.<sup>39</sup>

Az aerob terhelhetőségnek sajnos nincs egyértelmű, biztos prediktív értéke a jó hypoxiatűrő képességre. Barokamrában (földi körülmények között szimulált magasságban) az éves repülőalkalmassági minősítő vizsgálat során az 5500 m-es magasságon hypobarikus hypoxiában nyújtott teljesítmény nem korrelál egyértelműen a fizikai (szív-érrendszeri) teljesítőképesség klinikai megítélésére alkalmazott kerékpár ergometriás teljesítménnyel. A klinikailag kivizsgált, „egészséges” és a kerékpárterhelésen az elvárt minimum 2,2 W/kg 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: vérnyomáscsökkenést, pulzuslassulást és a szellemi teljesítmény jelentős csökkenését, az önmentésre való képtelenséget. Ezt az ájulás közeli vagy a keringés tényleges összeomlását jelentő ájulásos rosszullétet a megelőző klinikai vizsgálatok eredményei nem jelezték előre, amelynek oka a hypoxia és a hiperventiláció, azaz az oxigénhiány és szén-dioxid-kimosás szokatlan együttállása miatt kialakuló egyedi megterhelés, amely az agytörzsi légzés- és keringésszabályozó központok, továbbá a szív-érrendszeri reakciók gyors alkalmazkodását igénylik.

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 ráakadódik 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 vérfestékmolekula számára rendelkezésre áll, hogy az egyébként is csökkent parciális oxigénnyomás gradiense mellett az oxigénfelvétel (szaturáció) megtörténjen.

A magassági terhelés alacsonyabb maximális keringési és légzési perctérfogatot eredményez, csökkent szívizompumpa-funkcióval és elérhető maximális teljesítménnyel. Beteg ember esetén már 3000 m-es magasságban mintegy 10%-kal csökken a fizikai teljesítmény MET-egységekben kifejezve.<sup>40</sup> 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 (például Afganisztánban). A magasság- és ter-

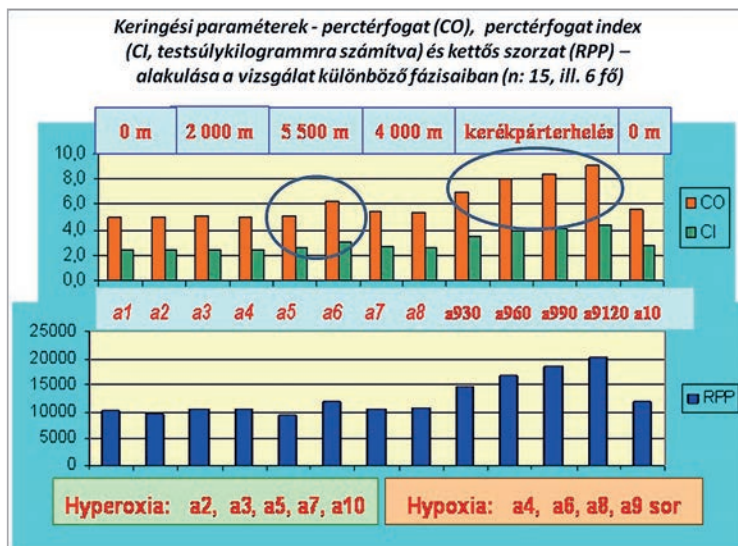
<sup>38</sup> Christopher Neuhaus – Jochen Hinkelbein: Cognitive responses to hypobaric hypoxia: implications for aviation training. *Psychology Research and Behavior Management*, 7. (2014), 297–302.

<sup>39</sup> Adrian Smith: Hypoxia symptoms reported during helicopter operations below 10,000 ft: a retrospective survey. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76. (2005), 8. 794–799.

<sup>40</sup> H. N. Hultgren: High altitude medical problems. In E. Rubenstein – D. D. Federman (eds.): *Scientific American Medicine*. New York, Scientific American Inc, 1990. 12.

helésfüggő akut hegyi betegség veszélyét a NATO publikációja is részletesen ismerteti. Felhívja a parancsnok figyelmét az akklimatizáció, a magassághoz és oxigénhiányhoz történő fokozatos hozzászokás – akklimatizáció – fontosságára, az akut hegyi betegség kialakulásának veszélyére.<sup>41</sup>

A terhelési kapacitás még sportolóknál, hegymászóknál is jelentősen beszűkül: a maximális oxigénfogyasztás ( $VO_2\max$ ) és pulzusszám csökken (a tüdő korlátozott oxigénfelvétele és a tüdőerek szimultán szűkülete mellett). Tengerszinten a  $VO_2\max$  46 l/min, P: 180/min normális értéke 6310 m-en  $VO_2\max$  1 l/min 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, mint a tengerszinten ugyanazon sportolók által elért eredmények! Normobáriás hypoxiában (tengerszinti össznyomáson, de az oxigén százalékos arányának csökkentésével) nemcsak barokamrában, de ROBD<sup>42</sup>- készüléken is mérhető a hypoxiás terhelhetőség csökkenése: itt 1/3–1/3 arányban a belélegzett levegő oxigénszintjének csökkenése, a tüdőkeringés romlása és a perifériás (láb) keringés visszaesése okozza a  $VO_2\max$ -vesztést.<sup>43</sup>



8. ábra: Keringéstiteljesítmény-jellemzők alakulása a hypoxiás terhelés fázisaiban (n: 6 fő)

Forrás: a szerző szerkesztése saját mérései alapján

<sup>41</sup> 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. Online: <https://nso.nato.int/protected/nsdd/CommonList.html>

<sup>42</sup> ROBD (Reduced Oxygen Breathing Device): csökkentett oxigéntartalmú (normobáriás) gázkeverék lélegeztető eszköz, 10,5% arányú oxigén kb. 5300 m-es magasságnak felel meg.

<sup>43</sup> J. A. Calbet et al.: Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 284. (2003), 2. R291–303.

Saját kísérleti elrendezésünkben impedancia-kardiográf segítségével vizsgáltuk barokamrában a nyugalmi és kerékpárterhelés maximális terhelési kapacitás alakulását. A 4000 m-es kerékpárterhelés alatt tapasztaltuk az élettani adaptáció jeleit, a perctérfogat és a frekvencia progresszív, fokozatos emelkedését a terhelési watt szám függvényében, de alacsonyabb terhelhetőséget mutató watt számig: 180–210 W helyett 90–120 W összteljesítményig. A terhelés nélküli nyugalmi hypoxia és a hypoxiás terhelés összevetése azt bizonyította, hogy az akut hypoxia még nagyobb magasságban is kisebb adaptációt igényel önmagában (pihenő ülőhelyzetben), mint alacsonyabb magasságban a terheléssel való kombinációja (8. ábra).

### **Emberi tényezők a légi járművek üzemeltetésében**

A repülés közben fellépő túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség fontos helyet foglal el a repülőorvosi és űrorvosi kutatásokban. „A 4-5. generációs vadászipülőgépek korában a katonai repülésben magasan képzett, »tökéletesen egészséges«, a repüléssel járó kombinált élettani stressz helyzetekre földi szimulációs helyzetekben (centrifuga, barokamra, forgó GYRO laboratóriumi létesítményben) felkészített pilótákra van szükség. Az ilyen pilóták kiválogatásának, felkészítésének és rendszerben tartásának összköltsége vetekszik a korszerű harci technika és csapásmérő képesség árával.”<sup>44</sup>

A pilóta nélküli repülőeszközök napjainkban már ígéretes komplett rendszert alkotnak, a jövőben „a hadsereg szemei” lehetnek. Ugyanakkor az operátor emberi esendősége, hibahajlama változatlan kockázati tényező, még a hagyományos pilóta vezette műveletekkel összehasonlítva is komoly költségkihatással jár katasztrófa esetén.

A hadműveleti tapasztalatokra alapozva ugyanakkor kimondható, hogy számottevően javítják a bevetések sikerességét, csökkentik a katonák közvetlen harci terhelését, és az ellenségnek történő közvetlen harci kitettségét, a sérülés veszélyét, fejlesztésük perspektivikus.<sup>45</sup>

Az UAV (pilóta nélküli légi járművek) bármilyen célú katonai alkalmazása, a polgári hasznosítás diverzifikálása (és a katonai alkalmazásokkal történő harmonizációja) már a 20. század utolsó évtizedében felvetette az UAV-k működtetésével kapcsolatos technikák, harcászati eljárások és műveletek összegzését. Figyelembe véve a rendkívül sokcélú alkalmazási lehetőséget (felderítés, precíziós csapásmérés, ellenséges légvédelem lefogása stb.) és az időkeret drámai lecsökkenését a célpont azonosításától a harcrintkezésig, szükség van a humán munkavégző képesség kiterjesztésére, javítására: ez magában foglalja az UAV irányítópult tervezését, a légi járművek interoperabilitását, a sokszoros UAV-eszközkészlet felügyeletét, menedzselését. (A humán operátor és az UAV közötti kapcsolat lehet direkt irányítású, mint a Predatornál, és lehet programozott vezérlésű,

<sup>44</sup> Szabó Sándor András: UAV (pilóta nélküli légi jármű) műveletek humán tényezőinek elemzése repülés-biztonsági szempontból. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 2. 482.

<sup>45</sup> „Eyes of the army”. *US ARMY roadmap for unmanned aircraft systems 2010–2035*. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama. Online: <https://fas.org/irp/program/collect/uas-army.pdf>

mint a Global Hawk-nál. A NATO-n belül számos bizottság, munkacsoport kezdett foglalkozni a témával: AG 7 (Air Group 7), HFM (NATO Védelmi és Kutatási Ügynökségen belül a Humán Faktor, Orvosi csoport) és az UAV Panel.

Az USAF Amerikai Légierő a Global Hawkon nehéz szállító, üzemanyag-szállító, helikopter/felderítő pilótákat alkalmazott, ezt a bevetések összetettsége, a változó harci körülmények és a rövid reagálási idő indokolták. Az egészségügyi követelmények az USAF AFI 48-123 szerint: II. katonai hajózó egészségügyi osztály standardok és a III. osztály szerinti FAA (polgári) egészségügyi standardok teljesítése (kereskedelmi műszeres repülési szint a pilóták és navigátorok számára). A minősített UAV-operátorok 2 éves forgásban kerültek ebbe a beosztásba. A haditengerészetnél és a tengerészgyalogságnál a haditengerészeti repülők lehettek UAV „mission commander” bevetési parancsnokok, egyéb személyzet magánpilóta-engedéllyel csak operátor. Az US ARMY-nál nem kellett minősített repülő-hajózó állományi besorolás, csak földi kiképzés, minden szakaszban.

Németországban az akkori szabályozás szerint az UAV-operátor mint parancsnoki pilóta (*pilot in command*) dolgozik, de az egészségügyi követelmények még megegyeznek az AT12 (légi forgalmi irányító) standardjaival. A brit Királyi Haditengerészet már 50 éve automatizált légi célokat alkalmaz, jelenleg MASE (Medium Altitude, 5000–25 000 láb közötti magasságon repülő, Short Endurance <4 óra időtartamú) UAV-típussal repülnek, nagyrészt előre programozott üzemmódban, amely azonban szükség esetén a kezelő által felülvezérelhető. Jelenleg nincs előírt légi tapasztalat/hajózó minősítés, az éves légi forgalmi irányító standardot kell teljesíteni. (A közeljövőben hajófedélzeti UAV-t terveznek, amelyet a Sea King Mk7 fedélzetéről operátor irányít.) A brit hadsereg Predatorait a Királyi Tüzérség személyzete üzemelteti, noha a hadsereg légi hadtestje szabja meg az egészségügyi követelményeket. Az amerikai hadseregben a tüzérség is üzemeltet UAV-eket. Az USAF-nál pilóták működtetik a drónokat, de az UAV-k típusa és szerepe különböző, több tényleges pilóta- (légi vezetési) tapasztalatot kíván, mivel kevésbé automatizáltak az ARMY verziójához képest. FAA transzkontinentális járatokra dolgoz ki irányelveket az UAV-k működtetésére (például a FEDEX-nél)<sup>46</sup>.

Az UAV-műveletek során a feladatok végrehajtásához szükséges elvárt mentális teljesítmény, érzékszervi teljesítőképesség szükségessé teszi az adott beosztásra jelentkező operátorok megfelelő egészségügyi alkalmassági vizsgálatát, szelekciós kritériumok meghatározását. Ezek a követelmények természetesen eltérnek a valós repülést (légi harcot) végrehajtó pilóta élettani teljesítménymutatóitól, mivel a repülésélettani stresszorok súlya, repülésbiztonsági kockázati szintje eltérő.<sup>47</sup>

Napjainkra az RPA-k alkalmazásának elterjedése napról napra növekszik. Csak az Egyesült Államok hadseregében több mint 4000 különböző pilóta nélküli repülőeszközt alkalmaznak. Ezeket a légi járműveket ugyan nem „hajózó” pilóta irányítja, de olyan komplex repülési és harci rendszerek, ahol a működtetésért felelős földi operátor felelőssége alapvető. Kiképzésük, hosszú távú munkaképességük biztosítása nem jelent

<sup>46</sup> FEDEX (Federal Express): Szövetségi Gyorsposta Szolgálat.

<sup>47</sup> Szabó (2013) i. m. 482–497.

akkora terhet, mint a pilóták hasonló felkészítése, így konkrét lehetőség nyílik arra, hogy az egészségügyi alkalmassági vizsgálatok spektrumát szűkítsék.

Az a követelménytámasztás, amelyet a szakemberek a kezelők számára megállapítanak, legyen az akár egészségi állapotára, cselekvőképességre vonatkozó, az legalább olyan jelentőségű, mint az „igazi” pilóta bármely, a repüléshez köthető képessége. Az operátor munkavégző képességének elemzése, a humán faktor hibalehetőségeinek kizárása ezért alapvető.

Az együttműködő országok meghatározták azt, hogy referenciaként az RPA-k következő osztályozása alkalmazható:

1. *kategória*: kisméretű, rövid hatótávolságú UAV, amely nem igényel licenc (szakszolgálati) engedélyt vagy regisztrációt, korlátozott/zárt/műveleti katonai területen működik.
2. *kategória*: közepes UAV, amely licencet vagy regisztrációt igényel. A felszállás és leszállás katonai/korlátozott területen, a repülési útvonal korlátozott légtérben történik.
3. *kategória*: közepes vagy nagyméretű UAV, amely engedélyt vagy regisztrációt igényel, mind korlátozott, mind ICAO által ellenőrzött (polgári) területen és légtérben működik, IFR vagy VFR repülési szabályok szerint. A légtér használata megosztott más polgári, pilóta vezette repülőgépekkel.

A NATO-tagországok hadseregeiben katonai repülőorvosi standardokat dolgoztak ki.

Az Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) már külön UAV-szekciót szervezett, ahol az előadásokon nagy hangsúlyt kapott a kiválogatás szempontjainak elemzése, a szellemi teljesítmény magas szinten tartásának hatékony módszerei és a kifáradás megelőzésének lehetősége.<sup>48</sup>

A hozzáférhető külföldi szakirodalom feldolgozását kiegészítik a hazai vizsgálati protokoll kialakítására irányuló, jelenleg is zajló, a humán tudományok széles körét felölelő kutatások is. Ezek egyrészt a jelöltek antropometriai vizsgálatát, motoros képességeik felmérését és földi körülmények között, szimulátorban nyújtott repülési teljesítményüket és mentális funkciók értékelését foglalják magukban. A kutatómódszertan alkalmazásával lehetőség nyílik a kognitív feladatot kísérő stresszreakció jellemzésére, ezáltal a tűrőképesség és beválási valószínűség megállapítására. A vizsgálati eredmények, amennyiben megfelelő validitási szint igazolja a kutatók hipotéziseit, úgy hosszú távon alátámaszthatják az alkalmassági kritériumok életszerűségét.

Az RPA-műveletekben az emberi hibaforrások skálája eltér az ember vezette légi járművön kiemelt szerepet játszó, a valós repülési környezetből és élettani stresszor tényezőkből eredő hibáktól. Míg a repülőgép fedélzetén a gyorsulás-túlterhelés, az oxigénhiány és a térbeli dezorientáció a leggyakoribb baleseti ok, addig az UAV-műveletek során az első két okcsoport egészében kiesik, a térbeli tájékozódó képesség elvesztésének pedig új típusai kerülnek előtérbe, ahol nem a mozgási élmény, hanem annak hiánya csapja be az emberi érzékszerveket, és vezet hamis helyzetérzékeléshez.

<sup>48</sup> Szabó (2013) i. m. 482–497.

Alapvető, hogy míg egy (különösen vadász-) repülőgép-vezető munkájának minőségét alapvetően befolyásolja a túlterhelés, vagy az esetlegesen meghibásodott légkondicionáló rendszer miatt bekövetkező hipobarikus hipoxia, addig ez pilóta nélküli légi járművet irányító operátornál periférikus szempontként sem jelentkezik. Utóbbiak tevékenységét viszont vélelmezhetően sokkal inkább meghatározza a monotónia, a csak műszereken keresztül történő nem ritkán jóval nagyobb késleltetéssel történő információ-visszacsatolás.

Mindezekből következik, hogy az egyezők mellett érdemben különböző követelmények, prioritások is megjelennek a pilóta nélküli légi járművek irányítóival szemben, így ezeket célszerű definiálni és érvényesíteni kiválasztásukkor. (Azaz, például nem feltétlenül a volt repülőgép-vezetők a legalkalmasabbak UAV-operátornak!).

### **Általános szempontok az UAV-operátorjelöltek kiválogatásában**

A modern légierő változó stratégiájában az azonnali reagálóképesség prioritást élvez. Ennek kvintesszenciája az új jelmondat: „Jelezd előre a jövő történéseit, győzd le a váratlant és formáld a jövőt.”<sup>49</sup>

A hagyományos, pilóta vezette csapásmérő eszközökhöz képest az Amerikai Légierő drón (RPAS, azaz UAV) műveleteiben a szimultán tömeges csapásmérő képesség új helyzetet teremt: míg a hagyományos vadászrepülőgép pilótája egyszerre néhány cél leküzdésére alkalmas fegyverzet közül választhat, kognitív döntés eredményeként, egyetlen „kibernetikus operátor”, azaz például egy UAV-operátor mint autonóm bevetésirányító számtalan légi célt tud kezelni, részben automatizált döntéshozatali mechanizmusok révén. Az új háborús zóna a telekommunikációs képességeket biztosító (hátszági) földi irányítóállomás (Ground Control Station) lesz, ahonnan az operátorok a bevetéseket irányítják. (Az USAF 330 000-es állományából jelenleg is 106 000 ember [32%] vesz részt speciális műveletekben, míg a tényleges hajózó állomány létszáma csak 23 800 fő [7%]).

Természetesen ez azt is jelenti, hogy egyre nagyobb számú – magas színvonalú operátori munkára képes – szakállományt kell kiválogatni. A repülő-hajózó állomány kiválogatásának menete a legtöbb légierőben azonos: a jelöltnek először az általános, katonatiszti pályaalakmassági (beleértve az egészségügyi) vizsgálatokon kell megfelelnie, alapvető pszichomotoros (műszeres) és kognitív tesztekkel kell megoldania, speciális repülőorvosi vizsgálaton kell megfelelnie. Utána pedig a repülő alapkiképzés során rendszeres szűrésen és válogatási teszteken kell átmennie, a legrosszabb teljesítményűek kiiktatásával. Nyilvánvaló, hogy a specializált repülőorvosi intézetek képesek a többcélú, teljes szűrési igénynek megfelelni, akár több vonatkozó alkalmassági rendelet minősítését alkalmazva, ezzel térben és időben lerövidítve a szelekció folyamatát. Itt döntő szerepe van a pszichológiai műszeres vizsgálatok komputerizált, számítógépes teszt bázisának, amelyek folyamatosan újraprofiláltak, előjelzik a jelölt teljesítménye alapján a beválási esélyt.

<sup>49</sup> Anne Mulrine: Drone pilots: Why war is also hard for remote soldiers? *The Christian Science Monitor*, 2012. február 28.

Ugyanez az elv követhető az UAV-operátorjelöltek esetében, azzal a különbséggel, hogy tekintve a bevetések harcászati jellegét, a legtöbb légierő saját állományából válogat, és a korábbi repülőfedélzeti, pilótatapasztalat határozottan előnyt jelent. Felmerül a kérdés, hogy a nagyobb, általánosabb populációból válogatva kiszűrhető-e a jelentkezők azon csoportja, akik jobb eséllyel, nagyobb valószínűséggel lesznek jó UAV-operátorok. A válaszhoz a videojátékokban nyújtott teljesítményt vizsgálták a Német Repülőorvosi Intézetben, összevetve a pilóták minősítéséhez is használt tesztekben nyújtott teljesítménnyel.<sup>50</sup>

Több szerző szerint a videojátékokat gyakran játszóknaál jobb a szem-kéz koordináció, jobb a vizuális rövid távú memória, és jobb a mentális térbeli forgatásos képesség. Gyorsabb lehet a reakcióidő, jobb a szelektív figyelmi képesség, tökéletesebb a párhuzamos feladatok megoldási képessége (multitasking). A konkrét összefüggést a videojátékban és a pszichomotoros alkalmassági teszteken nyújtott teljesítmény között kevesebben vizsgálták: Goeters és Lorenz 1985-ben úgy találta, hogy egy adott játék (PAC MAN) javította a térbeli tájékozódó képességet és koncentrációt, felfogási-érzékelési sebességet, reakcióidőt és koordinációt. Lang-Ree és Martinussen pedig 2008-ban írta le, hogy a számítógépes PC-szimulátorokon szerzett tapasztalatok javítják a pszichomotoros koordinációt és térérzékelést.

A pszichológiai profil szempontjából amerikai szerzők a két legszélesebb körben alkalmazott UAV-típus, az MQ-1 Predator és az MQ-9 Reaper operátorainak követelményrendszerét elemezték.<sup>51</sup> Műveleti pilóták és parancsnokok véleményét összegezték, hogy szerintük ki a „jó anyag” operátori kiképzésre a személyiségi jegyek, a kognitív szellemi képességek és a motiváció szempontjából.

Az általános intelligencián túl a vizuális nyomkövetés, a feladatok tér- és időbeli rangsorolása (térbeli orientációs képesség), gyors reakcióidő, tartós és megosztott figyelmi képességek a fontos kognitív jellemzők. A személyiségi jellemzők vonatkozásában a döntési érettség és határozottság, a pozitív hozzáállás, csoportszellem, rugalmasság és kitartás optimális keveréke fontos szempont.

A motiváció tekintetében a munkaköri elégedettség, az UAV-platform mint munkahely elfogadása és egyúttal a sajátos „háborús” szereppel azonosulás (akár távolról ölni) elsőrendű. Ugyanakkor e követelmények aránya, fajsúlyossága nem tisztázott abban, hogy az UAV-operátor sikeresen „repüljön”, harcoljon és győzzön.

### *A pilóta nélküli repülőeszközök kezelőivel szembeni követelmények*

A tudományos pályaalkalmasság-tan elméletének fő problémái:

- az alkalmasság mibenléte;
- megismerhetőség;

<sup>50</sup> C. Reeb – M. Eisl – A. Schwab: *PC-based flight simulator experience as a predictor for success in the German Armed Forces pilot aptitude test battery*. 2010. május 11, ASMA konferencia (Phoenix, Arizona) előadása.

<sup>51</sup> Wayne Chappelle – Kent McDonald – Katharine McMillan: *Important and critical psychological attributes of USAF MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper pilots according to subject matter experts*. Ohio, Wright-Patterson AFB, 2011.

- a vizsgálatok indokoltsága;
- validitás;
- felhasználhatóság;

gyakorlata pedig a legcélravezetőbb alkalmassági vizsgálatok módszertanának kidolgozására irányul.

Az alkalmassági vizsgálat a kiválasztási folyamat része, szakaszai:

- a tevékenység jellemzőinek figyelembevétele;
- az alkalmassági követelmények elbírálása;
- a kiválasztás célszerű módszereinek alkalmazása;
- a kiválasztással kapcsolatos döntés-előkészítés és döntés;
- a beilleszkedés és a beválás elősegítése.

Adott tevékenység végzésére az alkalmas, aki ismeretei, képességei és az egész személyisége (érzelmi adottságai, alkalmazkodása, motivációi, tulajdonságai) alapján az adott területen tartósan legalább átlagos teljesítményt tud nyújtani, egészségének károsodása és személyiségének torzulása nélkül. A vizsgálatnak egyidejűleg kell a rátermettség megállapítására és az alkalmatlanság kiszűrésére irányulnia. Az alkalmasság csak potenciálisan állapítható meg, a tevékenységvégzés gyakorlatában dől el, hogy a valóságos megfelelés, beválás létrejön-e.

Az *ember-tevékenységi kör* rendszer többértékű megfelelést jelent (egészségügyi, jogi, szakmai, vezetői stb.). Ennek alapján beszélünk az alkalmasság belső személyi (pszichológiai) feltételeiről:

- ismeretek (tudás);
- képességek, készségek;
- személyiség tulajdonságok.<sup>52</sup>

### *A fizikai alkalmassági vizsgálatok modellje*

Nagyon fontos felismerni azt, hogy az alkalmasság kérdésének pszichológiai aspektusain kívül rendkívül nagy jelentősége van a fizikai teljesítőképességnek is. Ez a megállapítás fokozottan igaz a hadsereg tevékenységére vonatkoztatva, mivel e képesség csak ezeknek a fontos alkotórészeknek az ideális megléte esetén áll fenn, és biztosítja a katona számára a megfelelő harcképességi szintet. A fizikai alkalmasság minden katona hadrafoghatóságának fontos alkotó eleme.

Az amerikai szakirodalmi források szerint a katonai alkalmasság struktúrája a következő:  
A katonai alkalmasság alapelemei:

- technikai;

<sup>52</sup> Kevin W. Williams: *An assessment of pilot control interfaces for unmanned aircraft*. Federal Aviation Administration DOT/FAA/AM-07/8, Office of Aerospace Medicine Washington, DC 20591. Online: [www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200708.pdf](http://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200708.pdf)

- értelmi;
- érzelmi (emocionális);
- fizikai alkalmasság.

A fizikai alkalmasság komponensei:

1. állóképesség;
2. erő;
3. erő-állóképesség;
4. ízületi mozgékonyosság;
5. testösszetétel.

A technikai alkalmasság nélkül a katonának nem lehetnek megfelelő szintű ismeretei (elméleti és gyakorlati), jártasságai és készségei, amelyek nélkül nem tud majd harcolni. Értelmi és érzelmi alkalmasság nélkül hiányzik a harchoz szükséges motiváció és akarat, fizikai alkalmasság hiányában nem lesz elegendő ereje a harchoz.

Fizikai alkalmasság alatt az amerikai szakértők azt az állapotot értik, amikor a katona teljesen egészséges, képes arra, hogy magas fokú mozgáskoordinációt igénylő feladatokat hajtson végre, és szervezete képes jelentős kifáradás után minimális időintervallum alatt regenerálódni, valamint a váratlan helyzetekben rövid határidő alatt képes maximális teljesítményt nyújtani.

### *A harci kiképzettség és a túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség közötti összefüggések*

Az elfogó vadász, vadászbombázó és sportrepülő pilóták számára a túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség rendkívül nagy jelentőségű, mivel a korszerű repülőgépek manőverező képességének kihasználása nagymértékben függ e képesség fejlettségi szintjétől, ugyanakkor a pilóták kis hányada képes kihasználni repülőgépének manőverező képességét teljes mértékben. Az egyéni tűrőképesség nagysága jelentős mértékben befolyásolja a különböző harci feladatok végrehajtásának minőségét. Kísérletekkel bizonyították, hogy a légi harc során lezajló tűzharc pontosságát nagyban befolyásolja a pilóta túlterhelésekkel szembeni tűrőképessége. A túlterhelés után fellépő negatív hatás az, amely alacsony tűrőképességű pilótáknál a motoros és pszichikai funkciók zavaraiiban nyilvánul meg, és gátolja a légi tűzharc és az összetett műrepülő figurák végrehajtásának képességét.

A túlterhelés hatására a szervezetben többnyire kedvezőtlen élettani változások lépnek fel a keringési rendszerben, amelyek a vér tehetetlenségi áramlásával magyarázhatóak. Az áramlás iránya a gyorsulás irányával ellentétes. Például a fej-far irányú túlterheléskor (kiemelés zuhanórepülésből, hintagyakorlatok) a vér mint folyadék gyakorlatilag aka-

dálytalanul folyik. A fejtől elfolyik, és a test alsó területeiben gyűlik össze, és az agy részleges hipoxiáját okozza, csökkenti a szív és a tüdő vérellátását.<sup>53</sup>

A túlterhelés alatt a szervezetre neuro-reflex tényezők is hatnak. A szövetek és a belső szervek deformációja, amely a tehetetlenségi erő hatására megy végbe, szokatlan afferens impulzusokat vált ki, főleg az érrendszer receptoraitól eredőket, amelyekben a túlterhelések hatására fellépő deformációk a legjelentősebbek. Nagyon komoly szövödmények léphetnek fel a szervezetben a szív elmozdulásának eredményeképpen. Így például 5 G túlterhelés hatására fellépő lefelé irányuló 5 cm elmozdulás az agyi erekben a vérnyomás körülbelül 20 Hgmm-nyi csökkenését eredményezi. A légzőszervek funkcionálásának a túlterhelés hatására csökkenő feltételei, az intenzív izomfeszítés miatt fellépő oxigénzsükséglet növekedésével egyidejűleg a növekvő szív működés eredményeképpen a szervezetben hypoxiás változások léphetnek fel. A vér lecsökkent oxigéntelítettsége fokozza a túlterhelésnek a pilóták szervezetére kifejtett káros hatását. A tűrőképesség növelésében fontos szerepe van a kardiovaszkuláris (szív-ér) és respiratórikus (légző-) rendszer magas szintű általános működőképességének, a vér oxigénfelvevő képességének a magasabb szintű oxigénfelhasználó képességnek, mivel ezek a tényezők kompenzálják a túlterhelés hatására fellépő keringési zavarokat.

### **Sporttudományi, sportélettani módszerek alkalmazási lehetőségei a repüléstudományi kutatásokban**

A sporttudomány tárgya a sportteljesítmény elemzése, megértése, értelmezése és fokozása. Nem képez önálló, független tudományterületet. Szoros kapcsolatban áll más tudományterületekkel. Ahhoz, hogy saját kutatási kérdéseit meg tudja válaszolni, a fő tárgyat képező sportolást és fizikai aktivitást tanulmányozni, értelmezni és elemezni tudja, szüksége van más tudományterületek gyakorlati tapasztalásaira, módszertanára és eredményeire, ezért interdiszciplináris tudományterület.<sup>54</sup> A sportélettan az a tudományterület, amely a sport és a fizikai aktivitás hatására a szervezetben bekövetkezett strukturális és funkcionális változásokat tanulmányozza. Ebből kifolyólag a sportélettan olyan tudományterületek ismereteit is tartalmazza, mint például anatómia, biokémia, pulmonológia, kardiológia, molekuláris biológia stb.

Az első rendszeres sportélettani kutatások az 1800-as évekre tehetők, amikor Antoine-Laurent Lavoisier és Pierre-Simon Laplace kiemelték az oxigén jelentőségét az anyagcseré-folyamatokban. Hill és Meyerhof 1922-ben kapták meg a fiziológiai és az orvostudományi Nobel-díjat. Hill terhelés alatt tanulmányozta az oxigénfogyasztást; kutatásainak eredményeként bevezette az állóképesség és a kardiorespiratórikus rendszer méréseire a mai napig is használatos, „maximális oxigénfogyasztás” fogalmát. Meyerhof az oxigénfogyasztás és az izomban felhalmozott tejsav-koncentráció kapcsolatát tanulmányozta.

<sup>53</sup> Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótanélküli légi járművek műveleteiben. *Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia*, 25. (2013), 2. 314.

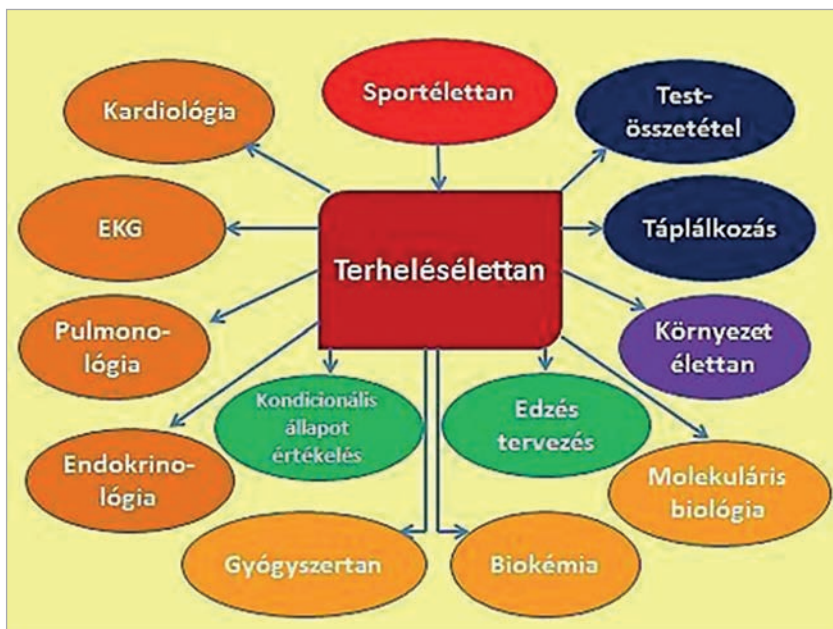
<sup>54</sup> Perényi Szilvia – Petridis Leonidas: *Bevezetés a sporttudományokba*. Debrecen, Campus, 2015.

Az Egyesült Államokban az első szervezett terhelésélettani laboratóriumot a Harvard Egyetemen létesítették 1927-ben. Tanulmányozták a változó környezeti körülmények között végzett munka, a magaslat, a száraz vagy nedves levegő szervezetre gyakorolt hatásait. Vizsgálták a terhelés alatti anyagcsere-folyamatok és a sav-bázis egyensúly változásait is.<sup>55</sup>

Az 1960-as években a sportélettani kutatásokat elsősorban a versenysporttal összefüggő teljesítmény-élettani vizsgálatok jellemezték. Kiemelten vizsgálták a különböző edzésmódszerek hatását a fizikai teljesítményre, és ezzel összefüggésben tanulmányozták a szervezetben végbemenő akut és krónikus adaptációs (alkalmazkodási) folyamatokat is.

Az 1980-as évektől kezdve – miután felismerték a fizikai aktivitás pozitív hatását az egészségre – az addigi kutatási irány kiegészült a sportolás, a fizikai aktivitás hatásainak az általános egészségügyi állapot javításával és a betegségek megelőzésével (prevenció) kapcsolatos vizsgálatokkal.

A sportélettan a teljes test, a szervek, szervrendszerek működését és szabályozását tanulmányozza fizikai terhelés során (lásd 9. ábra). A terhelésélettan a sportélettan részét képezi, a fizikai terhelés hatására bekövetkezett akut és hosszú távú alkalmazkodási folyamatokat vizsgálja.



9. ábra: A terhelésélettan határterületei

Forrás: Robergs 2010 alapján<sup>56</sup>

<sup>55</sup> Robert A. Robergs – Scott O. Robergs: *Exercise physiology. Exercise, performance, and clinical applications*. Mosby-Year Book, 1997.

<sup>56</sup> Robert A. Robergs: *What is exercise physiology?* Online: [www.unm.edu/~rrobergs/426L1History.pdf](http://www.unm.edu/~rrobergs/426L1History.pdf)

A versenysportban a teljesítmény-élettan kap nagyobb hangsúlyt: a teljesítmény és a teljesítőképesség mögötti élettani folyamatok tanulmányozása annak céljából, hogy a kutatók felismerjék azon mechanizmusokat, amelyek lehetővé teszik a teljesítmény növelését az élettani funkciók szempontjából. A szabadidősportban, amelynek jelentősége népegészségügyi szempontból folyamatosan növekszik, a sportélettan az egészség megőrzésében, az akut és krónikus betegségek megelőzésében kap fontos szerepet.<sup>57</sup>

A teljesítmény sok tényező függvénye, biológiai és pszichikai folyamatok mellett szociális, gazdasági és egyéb környezeti tényezők is fontos szerepet vállalnak kialakításában. Bármelyik tényező teljes vagy részleges hiánya a teljesítmény csökkenéséhez vezethet. A teljesítmény komponensei folyamatos kölcsönhatásban vannak egymással, így kiegészítik egymást.

A teljesítménynek két nagy összetevője van. Az egyik összetevő a teljesítőképesség, amely a szervezet azon képességeit tartalmazza, amelyeket az elvégzett munkával, a felkészülés során fejlesztünk: a fizikai, szellemi és pszichikai tulajdonságok/képességek. A másik összetevő a teljesítőkészség, amely a személy adott, pillanatnyi érzelmi állapotát, magatartását foglalja magában.

A teljesítőkészség a téthelyzetekben realizálódó állapot. A teljesítőkészség, a motoros képességekhez hasonlóan, szerzett és öröklött tulajdonságok mentén alakul ki, összetett pszichofizikai folyamatok eredményeként. Nádori<sup>58</sup> szerint a teljesítőkészség függ a személyiségtől, személyiségvonástól, mentális és szellemi beállítódástól, valamint a motivációtól.

Az edzettség a szervezet alkalmazkodásának a következménye. A szervezet a terhelések kivédése érdekében morfológiai, szerkezeti és működési változásokat indukál, amelyek eredménye a szervezet magasabb funkcionális szintje, azaz magasabb edzettségi állapota. Bár tipikusan az edzettségről annak fizikai komponensei jutnak eszünkbe, az edzettség komplex állapot, a sportoló egész személyisége jelenik meg benne.<sup>59</sup>

Az edzettséget feloszthatjuk általános és speciális edzettségre. Az általános edzettség a szervezet valamennyi tulajdonságában bekövetkezett általános változások összessége. A speciális edzettség pedig konkrét mozgásfeladatok és terhelési jellemzők hatására csak a fejleszteni szándékozott képességekben létrejött változások összessége. Nem kérdéses, hogy a magas teljesítmények eléréséhez speciális edzettségre van szükség, ugyanakkor a speciális edzettség nélkülözhetetlen előfeltétele a magas és jól megalapozott általános edzettség kialakítása.

Az edzettség nem megfelelő színvonala egyben korlátozó tényezője is a teljesítménynek. Alacsony edzettségi szint esetén nagyobb annak a valószínűsége, hogy a pillanatnyi aktuális állapot alacsonyabb teljesítményt eredményezzen, illetve kisebb a negatív hatások korrigálásának esélye.

<sup>57</sup> Robert A. Robergs – Steven J. Keteyian: *Fundamentals of exercise physiology: For fitness, performance, and health*. Boston, McGraw-Hill, 2003.

<sup>58</sup> Nádori László: *Az edzés elmélete és módszertana*. Budapest, Sport, 1981.

<sup>59</sup> Dubecz József: *Általános edzéselmélet és módszertan*. Budapest, Rectus Kft., 2009.

### *Teljesítménydiagnosztika*

Ma a sporttudományi tevékenységek egyik fő iránya új teljesítménymérési lehetőségek kidolgozása és fejlesztése, a teljesítőképeség minél pontosabb mérése és diagnosztizálása. A technológiai fejlesztéseknek és a mérési módszertan fejlődésének köszönhetően egyre több és egyre pontosabb, az edzettségben bekövetkezett változásokra fokozottan érzékeny vizsgálati protokoll és próba került kidolgozásra. Ezek a próbák nemcsak az aktuális állapotok rögzítésére irányulnak, hanem a várható teljesítmény becslésére, a potenciálisan kialakítható edzettségi szintnek előrejelzésére is törekednek.<sup>60</sup>

Az adatok minősége szorosan összefügg az alkalmazott módszertan és az eszközök minőségével. Ahogy fejlődik a teljesítményméréshez kapcsolódó technológia, úgy egyre pontosabb és részletesebb teljesítménymérés valósítható meg, ugyanakkor az emberi teljesítményről szerzett ismereteink serkentően hatnak a technológiai fejlesztésekre.

A teljesítménymérésnek három fő szakasza van: a mérési eljárások és protokollok kiválasztása; a mérés végrehajtása; az eredmények értékelése. A mérési eljárások és protokollok kiválasztása nem könnyű feladat. A megfelelő próba kiválasztásához több szempontot is figyelembe kell venni. Laboratóriumi vizsgálatoknál rendszerint szakképzett személyzet bevonása szükséges, akik jól ismerik az alkalmazott eszközök működését és tulajdonságait.

Az értékelés során nem könnyű az adatok mögötti információkat felismerni és a megfelelő következtetéseket levonni. Az elemzés eredményei alapján hasznos információkat kaphatunk arról, hogy az alkalmazott módszereknek összességében milyen hatásuk van, milyen alkalmazkodásokat váltanak ki, és milyen képességeket tudnak fejleszteni. Fontos, hogy tisztában legyünk azokkal a tényezőkkel, amelyek az adott teljesítményt döntően meghatározzák.

### *A teljesítményt meghatározó tényezők<sup>61</sup>*

#### **Motoros képességek**

„Motoros képességen valamely mozgásos tevékenység öröklött és szerzett koordinációs és kondicionális összetevőit értjük.” A motoros képességek fajtái a koordinációs képességek és a kondicionális.

„A koordinációs képességek azok a motoros tulajdonságok, melyek egymással és kondicionális képességekkel szoros összefüggésben, elsősorban a mozgások végrehajtásának célszerű szabályozását segítik elő.” A koordinációs képességekhez tartozik a gyorskoordinációs képesség, az egyensúly-érzékelés, a mozgásátállítódás, a térbeli tájékozódó képesség, kinesztétikus differenciáló képesség, reagálóképesség és a ritmusérzék.

<sup>60</sup> Perényi–Petridis (2015) i. m.

<sup>61</sup> Petridis Leonidas: *A sportteljesítmény fizikai összetevőinek diagnosztikája*. Debrecen, Debreceni Egyetem, 2015.

„A kondicionális képességek azok a motoros tulajdonságok, amelyek egymással és a koordinációs képességekkel szoros összefüggésben a mozgásos cselekvés gyorsasági, erőbeli, állóképességi, hajlékonysági és izomlazasági feltételeit teremti meg.”<sup>62</sup> A gyorsaság az erő és az állóképesség összekapcsolódásával további képességek jöttek létre: gyors erő, erő-állóképesség, gyors-erőállóképesség és a gyorsasági állóképesség.

### Erő

„Izomerőn a külső erők és a mozgás közben fellépő erők, ellenállások legyőzésének a képességét értjük az izomzat aktív erő kifejtésének (rövidülés és feszültségnövekedés) segítségével.”<sup>63</sup>

Az erő összefüggései különös figyelmet érdemelnek az állóképességgel és a gyorsasággal. Megkülönböztetünk: maximális erőt, gyors erőt és erő-állóképességet. Az erő kifejtés nagyságát két tényező határozza meg alapvetően:

- a gerincvelő mellső szarvaiból érkező idegingerület jellege;
- az izom tömege és válasza az idegingerületre.

A maximális izomerő „az az izomerő, amelyet az izomzat – az adott edzettségi fokon – maximális számú működési egység egyidejű aktiválódása révén képes kifejteni”. Megkülönböztetünk maximális statikus és dinamikus erőt. A maximális erőt statikus vagy dinamikus feltétele mellett mért erővel, illetve a megmozgatott teher nagyságával fejezzük ki. „Gyorsasági erőn értjük az ideg- izomrendszernek azt a képességét, amellyel viszonylag nagy ellenállásokat igen nagy gyorsaságú összehúzóerővel győz le. Mérhetően jelenti azt az időegységre jutó dinamikus erőt, amellyel valamely meghatározott mozgásban ellenállást győzünk le.”<sup>64</sup> Az erő-állóképesség viszonylag hosszan tartó, nagy erő kifejtéseknél fejeződik ki. Ez a képesség olyan sportágaknál nagyon fontos, ahol a legfőbb szerepet a teljesítményerő és az állóképesség összetevője jelenti.

### Gyorsaság

„A gyorsaság általános definíciójaként – valamennyi mozgásra – elfogadható a következő: képesség, a mozgások lehető nagy sebességű végrehajtására, adott feltételek mellett. Amikor (lokomotorikus mozgások esetében) nyugalomból vagy viszonylag lassú mozgásból, lassú iramból olyan hosszan tartó, magas iramba váltunk át, amely maximális sebességet eredményez, felgyorsulásról beszélünk. A jelenség hátterében a gyorsulási képesség áll.”<sup>65</sup>

<sup>62</sup> Harsányi László: *Edzéstudomány I.* Budapest–Pécs, Dialóg Campus, 2000. 186.

<sup>63</sup> Nádori (1981) i. m. 79.

<sup>64</sup> Nádori (1981) i. m. 80.

<sup>65</sup> Nádori (1981) i. m. 102.

Két fő csoportba soroljuk a gyorsaságtípusokat: az egyetlen mozgáselemre vonatkozó úgynevezett mozgásgyorsaság az egyik, a ciklikus mozgások esetében értelmezhető gyorsaság a másik. Ez utóbbin belül beszélünk kell a felgyorsulási képességről és a távközi haladás képességéről is. A ciklikus mozgások gyorsasága inkább a gyorsasági állóképességben, míg az aciklikus mozgások gyorsasága inkább a gyorsasági erőben juthat kifejezésre. Ezen összes gyorsaságfajták akkor kamatoztathatók igazán, ha magas szintű reagálás, illetve akciógyorsaság is párosul hozzájuk. Melyek a versenyzőt körülvevő környezetből érkezett ingerekre adott minél gyorsabb válaszreakciókban tükröződnek.

### Állóképesség

„A szervezetfáradással szembeni ellenálló képességét hosszan tartó sportbeli erő kifejtéseknél állóképességnek nevezzük. Az állóképes egyén viszonylag magas intenzitással, hosszú ideig tud munkát végezni.”<sup>66</sup> Ez a képesség leginkább egész napon át tartó versenyeken, sorozatmérkőzéseken, hosszú távú ciklikus mozgásokban kerül érvényre. Elsősorban az állóképesség a szív- és keringési rendszer, a légzőrendszer, az anyagcsere, az idegrendszer működésétől függ. A szervek és szervrendszerek koordinált működése szükséges. Ez utóbbi teszi lehetővé a gazdaságos energiamozgósítást és felhasználást. A mozgáskoordinációnak pedig szintén jelentős szerepe van az állóképességben.

### Ügyesség

Ügyességen egy olyan összetett koordinációs képességet értünk, amelynek segítségével a sportmozgásokat, feladatokat gyorsan, célszerűen tudjuk megoldani. Ebben a képességben különösen a mozgásszabályozó, alkalmazkodó és átállító, valamint a mozgástanulási képesség hangsúlyozott.

### Ízületi mozgékonyaság

Az ízületi hajlékonyság valamely ízületben nagy mozgáskiterjedést tesz lehetővé. Megkülönböztetünk általános, speciális, aktív és passzív hajlékonyságot. Az ízületi mozgáskiterjedést több dolog is befolyásolja. Ezek lehetnek külső, illetve belső faktorok. Belső faktorok: ízületi felszínek, izmok rugalmassága, inter- és intramuszkuláris koordináció. Külső faktorok: életkor, nem, pszichikai állapot, környezeti hatások, bemelegítés, fáradtság. Az ízületek mozgáskiterjedése a sportteljesítményeket nagymértékben befolyásolja, hiszen a hajlékonyság mozgáskoordinációs probléma is. Ha a sportoló nem rendelkezik a sportágának megfelelő flexibilitással, akkor gazdaságtalanul fogja felhasználni

<sup>66</sup> Nádori (1981) i. m. 110.

a meglévő energiáit. Viszont ahhoz, hogy ezt a mozgásterjedelmet ki tudjuk használni más képességekre is szükség van. A megfelelő koordináció és technika elengedhetetlen.

A hajlékonyság fejlesztése kizárólag akkor hasznos, ha hozzá harmonikusan társul erő, gyorsaság, koordinációs képességek fejlesztése.

A flexibilitás nemcsak a mozgásterjedelem kiterjedésének növelése miatt fontos, hanem nagyon nagy szerepe van a sérülések megelőzésében is. Ezért használunk a bemelegítésben és a levezetésben is egyaránt stretching gyakorlatokat.

## A teljesítménydiagnosztikai vizsgálatok alapjai

A teljesítménydiagnosztikai mérések értékelésénél ismerni kell azokat az anyagcseré-folyamatokat, amelyek a terhelés során egy adott intenzitáshoz tartoznak. A terhelési mód, a vizsgálati protokoll jelentősen befolyásolja a szervezet aktuális válaszreakcióit. Az adatok elemzésénél pedig tisztában kell lenni az egyes szervrendszerek adaptációs folyamataival és lehetőségeivel is.

A laboratóriumi vizsgálatok legfőbb előnye a vizsgálati protokollok pontossága, megbízhatósága és a vizsgálati környezet kontrollált állandósága. A mérések megbízhatósága révén a kapott adatok és eredmények elfogadhatók, a valós helyzethez közelítő következtetések vonhatók le belőlük. Másik előnyük, hogy a mérés szerkezetének megfelelően az adott teljesítményt elemeire tudjuk bontani, és az alkotórészeket külön is értékelhetjük. A laboratóriumi vizsgálatok hátránya, hogy időigényesek és költségesek.<sup>67</sup>

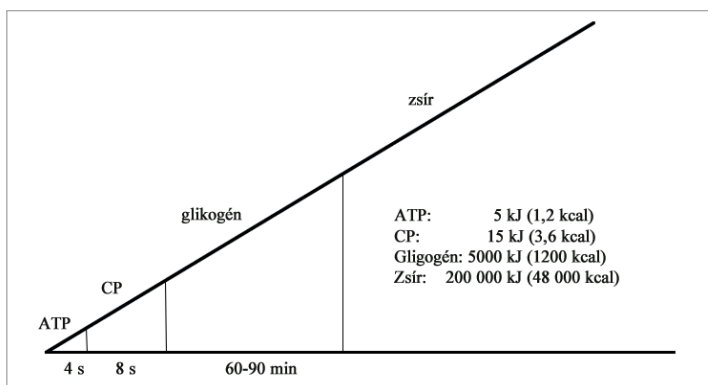
### *Energiaszolgáltató folyamatok*

A nagy intenzitású terhelések csak néhány másodpercig végezhetők, míg az alacsony intenzitású terhelés akár órákig is fenntartható. Ebből következik, hogy a terhelés intenzitása befolyásolja a terhelési időtartamot. A fizikai aktivitáshoz szükséges energia mennyisége az elvégzendő munka típusától, idejétől, illetve a mozgás gazdaságosságától is függ. Az izom-összehúzódáshoz szükséges energiát ATP-ből (adenozin trifoszfát) biztosítja a szervezet, nemcsak terhelés alatt, hanem nyugalmi állapotban is. Az ATP folyamatosan felhasználódik, és folyamatosan újraépül (reszintetizálódik). A szervezetünkben mintegy 51 g ATP áll rendelkezésünkre, ami nyugalmi helyzetben körülbelül 30 másodpercre elég, ugyanakkor 24 óra alatt a szervezet mintegy 145 kg ATP-t használ fel és szintetizál újra.<sup>68</sup>

Fizikai terhelés, edzés során a szervezetünkben az ATP reszintézise lényegében két úton, anaerob (O<sub>2</sub>-hiány) és aerob (O<sub>2</sub> mellett) módon mehet végbe, amely folyamatokat a tápanyag-felhasználástól függően további folyamatokra oszthatunk.

<sup>67</sup> Jákó Péter – Martos Éva – Pucsok József: *A sportorvoslás alapjai*. Print City, 1998.

<sup>68</sup> Ádám Veronika: *Orvosi biokémia*. Budapest, Medicina, 2001.



10. ábra: Az energianyerő rendszerek energiatartalékai

Forrás: Chan et al. 2006 alapján<sup>69</sup>

Az ATP-képződés sebességéből és az energiatartalékok maximálisan felhasználható idejéből látszik, hogy az anaerob folyamatok elsősorban a rövid ideig tartó, nagy erő kifejtést igénylő terhelésekben, míg az aerob folyamatok elsősorban a közepes vagy alacsony intenzitású, de tartós terhelésekben játszanak szerepet. (10. ábra)

Az egyes anyagcsere-folyamatok szigorúan nem határolhatók el egymástól, az adott terhelési szakaszban az egyik vagy másik anyagcsere út dominanciája figyelhető meg.<sup>70</sup>

#### Anaerob folyamatok:

- Anaerob alaktacid folyamat: a kreatinfoszfát (CP) anaerob hasadása során, az energiadús foszfátkötés átkerül az ADP-re. ATP-képződés sebessége körülbelül 2,5 mol/min, időtartam 8-10 másodperc.
- Anaerob laktacid út: az izomglikogén tejsavvá való alakítása anaerob glikolízis segítségével. ATP-képződés sebessége körülbelül 2,0 mol/min, időtartam 40-60 másodperc.

#### Aerob folyamatok:

- Az izomglikogén piruváttá való alakítása aerob glikolízis, majd oxidatív foszforiláció. ATP-képződés sebessége körülbelül 1,0 mol/min, időtartam 60-90 perc.
- Zsírsavak béta oxidációja. ATP-képződés sebessége körülbelül 0,7 mol/min, időtartama szinte korlátlan.

Az egyes folyamatok különböző típusú edzésmódszerekkel fejleszthetők, és így a szervezet teljesítőképessége növelhető. (1. táblázat)

<sup>69</sup> KM Chan – Lyle Micheli – Angela Smith – Christer Rolf – Norbert Bachl – Walter Frontera – Talia Alenabi (eds.): *F.I.M.S. Team physician manual*. Karger, 2006.

<sup>70</sup> Györe István: A teljesítménydiagnosztikai vizsgálatok célja, eredmények felhasználása az edzői munkában. *Magyar Edző*, 11. (2008) 2. 47–49.

1. táblázat: *Energianyerő rendszereken alapuló klasszikus edzésmódszerek*

| Energianyerő rendszerek                | Edzésmódszer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anaerob alaktacid rendszer             | <ul style="list-style-type: none"> <li>– gyorsasági erőedzés</li> <li>– gyorsasági edzés                             <ul style="list-style-type: none"> <li>reakció gyorsasági edzés</li> <li>gyorsulási gyorsasági edzés</li> <li>maximális gyorsasági edzés</li> </ul> </li> <li>– intenzív intervalledzés                             <ul style="list-style-type: none"> <li>ismétlésees edzés</li> </ul> </li> <li>– erőedzés                             <ul style="list-style-type: none"> <li>maximális erőedzés</li> <li>explozív erőedzés</li> <li>gyorsasági erőedzés</li> </ul> </li> </ul> |
| Anaerob laktacid rendszer              | <ul style="list-style-type: none"> <li>– intenzív intervalledzés                             <ul style="list-style-type: none"> <li>tömbös edzés</li> <li>intervall–íram edzés</li> <li>ismétlésees edzés</li> </ul> </li> <li>– erőedzés                             <ul style="list-style-type: none"> <li>erő állóképesség edzése</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                            |
| Aerob és anaerob rendszer kombinációja | <ul style="list-style-type: none"> <li>– állóképességi edzés</li> <li>– intenzív intervalledzés</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Aerob rendszer                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>– állóképességi edzés                             <ul style="list-style-type: none"> <li>extenzív állóképességi edzés</li> <li>fartlek edzés</li> <li>intenzív állóképességi edzés</li> </ul> </li> <li>– extenzív intervalledzés                             <ul style="list-style-type: none"> <li>intervall állóképességi edzés</li> </ul> </li> <li>– erőedzés                             <ul style="list-style-type: none"> <li>erő állóképesség edzése</li> </ul> </li> </ul>                                                                            |

*Forrás:* Gemser – de Koning – van Ingen Schenau 1999 alapján<sup>71</sup>

*Terhelésélettani vizsgáló módszerek*<sup>72</sup>

A vizsgálatok kiválasztásának szempontjai:

- a mérni kívánt képesség;
- a vizsgálat célja;
- a vizsgált személyek sportága, versenyszáma;
- a vizsgált személyek életkora, képzettsége és edzettségi állapota;
- a rendelkezésre álló időkeret és pénzügyi források;
- a vizsgált személyek korábbi ismeretei és tapasztalata;
- az időjárás és környezeti tényezők.

Az anaerob teljesítmény meghatározására elsősorban a Wingate-teszt, míg az aerob folyamatok jellemzésére különböző spiroergometriás vizsgálatok alkalmazhatók.

<sup>71</sup> Henk Gemser – Jos de Koning – Gerrit Jan van Ingen Schenau: *Handbook of competitive speed skating*. Lausanne, Switzerland, International Skating Union, 1999.

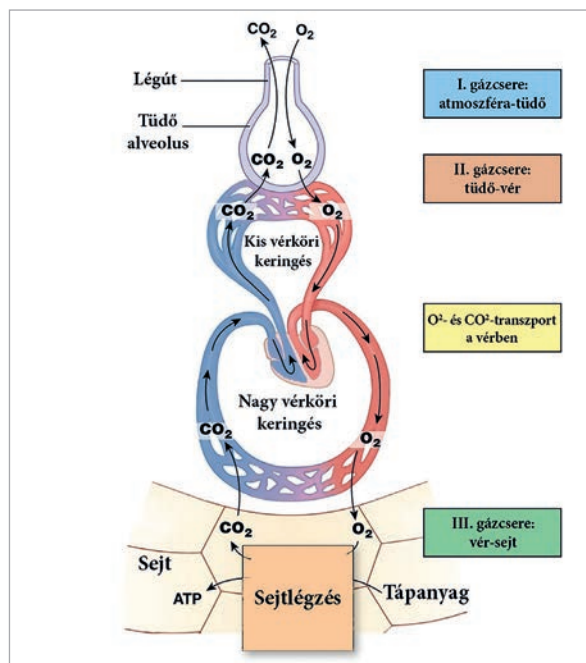
<sup>72</sup> Petridis (2015) i. m.

## Wingate-teszt

A supramaximális intenzitású vizsgálat kerékpár vagy kar ergom-en történik, és 30 másodpercig tart. A kerékpár ellenállása állandó, és általában a testtömeg 7,5%-ának felel meg. A 30 másodperces terhelésből meghatározható a legjobb öt másodperc teljesítménye, amely a maximális anaerob teljesítménynek felel meg (alaktacid terhelés), míg a 30 másodperc átlagteljesítménye, a teljes anaerob kapacitásnak felel meg (alaktacid és laktacid terhelés). A mérés során meghatározható a fáradási index is, vagyis a legjobb és a leggyengébb öt másodperc teljesítményének különbsége.<sup>73</sup>

## Spiroergometriai laborvizsgálatok<sup>74</sup>

Az oxigén felvétele és a szén-dioxid leadása a tüdőben folyik. A gázcserét a légzőrendszer, a gázok szállítását pedig a vérkeringési rendszer biztosítja. Ez a két rendszer anatómiailag, működésében és szabályozásában szorosan kapcsolódik egymáshoz, ezért az élettan és a klinikai orvostudomány a kardiorespiratorikus rendszer elnevezést alkalmazza.



11. ábra: Az emberi szervezet gázcsere szinterei

Forrás: a szerző szerkesztése

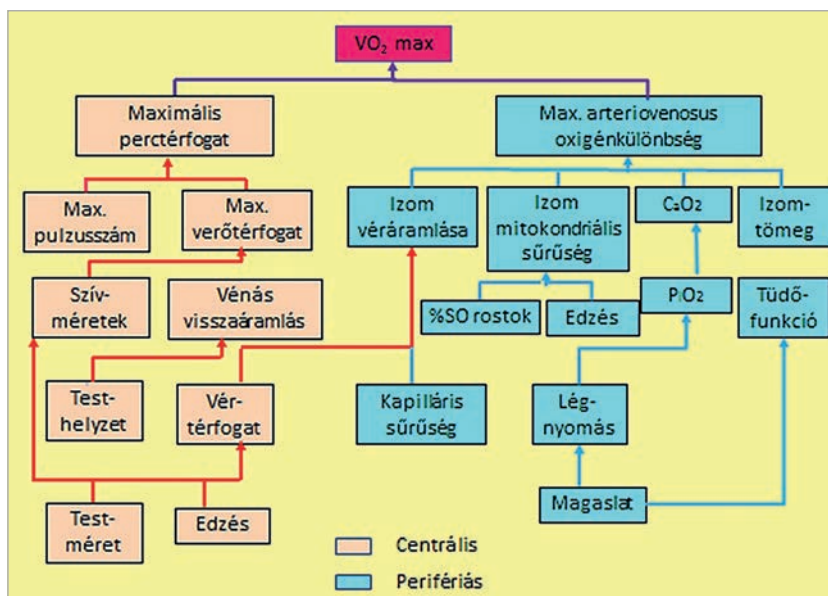
<sup>73</sup> Tarak Driss – Henry Vandewalle: The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: A critical review. *BioMed Research International*, 2013.

<sup>74</sup> Jákó–Martos–Pucskok (1998) i. m.

A tüdőn belül a gázcsere színtere az alveoláris tér, ahol a keringő vér az alveoláris gázzal érintkezik. A vér oxigénellátását és a keletkezett szén-dioxid leadását az alveoláris tér és a vér között folyamatosan zajló külső gázcsere biztosítja. A belső gázcsere a kapillárisok vére és a sejtek közötti gázkicserélődés. (11. ábra)

Spiroergometria a szív, keringési és a légzőrendszer működésének vizsgálatára alkalmas eljárás, de közvetve alkalmas az egészség és a teljesítőképesség megítélésére is. A kardiorespiratorikus állóképességet a maximális  $O_2$ -felvétellel jellemezhetjük, így ezen vizsgálatok elsődleges célja a maximális  $O_2$ -felvétel meghatározása.<sup>75</sup>

A Fick-törvény szerint az  $O_2$ -felvétel egyenlő a szív perctérfogat és az artériás-vénás  $O_2$  különbség szorzatával, így mind azon változások, amelyek a centrális vagy perifériás tényezőket érintik, hatással lesznek a maximális  $O_2$ -felvételre. (12. ábra)



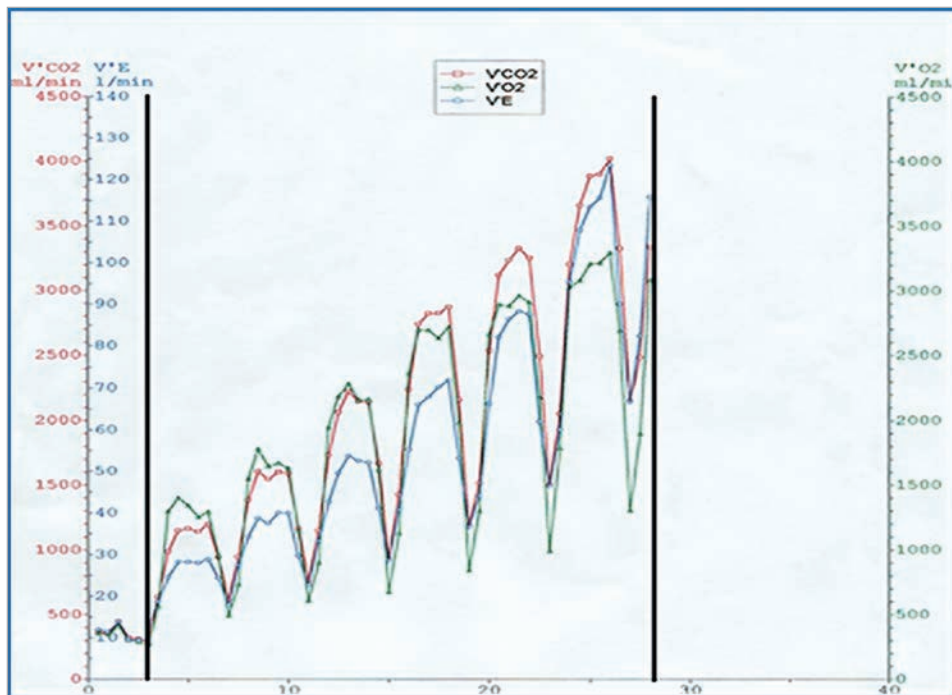
12. ábra: A maximális oxigénfelvételt meghatározó centrális és perifériás tényezők

Forrás: Robergs–Roberts (1997) i. m. alapján

A „vita maxima” (teljes kifáradásig tartó) tesztek időtartama 8–12 perc, pihenő nélkül. Történhet futószalagon vagy kerékpár-ergom-en. A terhelés intenzitása fokozatosan emelkedik, és a teljes kifáradásig tart. A terhelés a vizsgálat alatt folyamatos, nincs benne pihenődő. Célja a  $VO_2$  max pontos meghatározása. A vizsgálat kiegészíthető nyugalomban és a terhelés végén tejsavméréssel, vagy a sav-bázis háztartás paramétereinek meghatározásával. Akkor megfelelő a vizsgálat, ha a  $VO_2$  elér egy maximum értéket (nem emelkedik tovább), a respirációs kvóciens értéke 1,1 ( $RQ = CO_2/O_2$ ), vagy annál nagyobb, a pulzusszám eléri az életkornak megfelelő maximális értéket (220 – életkor), és a vértéjsav-koncentráció meghaladja a 8 mmol/l feletti értéket.

<sup>75</sup> Jákó–Martos–Pucsok (1998) i. m.

A többlépcsős tesztek (13. ábra) lényege, hogy a terheléses lépcsők (1–5 perc) között pihenődő (0,5–2 perc) beiktatásával az intenzitás (sebesség, watt) növelésével jutunk el a maximális teljesítményig. A módszer hátránya, hogy a maximális  $O_2$  felvételének mintegy 97–100%-át éri csak el a vizsgált személy. Előnye viszont, hogy lehetőségünk van a pihenődők alatt azon metabolikus (tejsav, sav-bázis) paraméterek meghatározására, amelyek felhasználásával pontosabb információt kapunk az optimális edzéstervezéshez.



13. ábra: Többlépcsős terheléses vizsgálat (3'/1' pihenés)

Forrás: a szerző szerkesztése

### *Spiroergometriás vizsgálatok során mért paraméterek<sup>76</sup>*

VE (l/min) = légzési perccventiláció, a ventilált levegő mennyisége literben egy perc alatt. Nyugalomban ennek az értéke 8–16 l/min között mozog, míg terhelés során elérheti edzett sportolónál a 200 l/min feletti értéket is. Értéke függ az életkortól, a nemtől, a testméretektől és az edzettségi, illetve egészségi állapottól.

BF = légzésszám. Értéke nyugalomban 8–16 légzés/perc. Terhelésre felnőtteknél elérheti a 55–60 légzés/perc értéket is, fiataloknál még ennél is magasabb lehet. Értéke függ a kortól edzettségtől és a légzéstechnikától. Ha a légzésszám a 60/min értéket meghaladja, a légzés felületessé válik, nem jut elegendő idő a gázcserére.

<sup>76</sup> Szóts Gábor: *Biokémia*. Budapest, Magyar Testnevelési Egyetem, 2005.

$RQ$  = respirációs kvóciens. A kilélegzett szén-dioxid és a belélegzett oxigén hányadosa. Értékéből az aerob-anaerob folyamatok arányára lehet következtetni. Ha értéke 1,0 vagy magasabb, akkor a szervezet döntően anaerob úton biztosítja a terheléshez szükséges ATP-mennyiséget.

$HR$  = szívfrekvencia (pulzusszám). Edzés-bradycardiáról beszélünk, ha nyugalomban a pulzusszám 60 ütés/perc alatt van. A maximális érték általában 220 – életkor, de az edzettség mértéke és a mozgásforma jelentősen befolyásolja az értékét.

$VO_2$  (l/min) = az oxigénfelvétel abszolút értékben. Értéke az életkorral csökken, függ a nemtől, testmérettől, az edzettségi állapottól. Az oxigénfelvétel értékét testtömegre vonatkoztatva alkalmazzuk ( $VO_2$ /kg/min) a vizsgálatok során, így ezek az adatok már kevésbé függenek a testméretektől. Maximális értéke nőknél 60-65 ml/kg/min, férfiaknál 75 ml/kg/min felett is lehet.

$VCO_2$  (l/min) = a  $CO_2$ -leadás abszolút értéke. A maximális értéke elsősorban a respiratórikus folyamatok szabályozásától függ.

### Anaerob átmenet meghatározása

Könnyű terhelés alatt a rendelkezésre álló oxigén mennyisége elégséges ahhoz, hogy a működő izmok számára szükséges energiát a szervezet túlnyomórészt aerob anyagcsere útján állítsa elő. Ha növeljük a terhelést, a rendelkezésre álló oxigén mennyisége már nem elég a szervezet igényének kielégítésére, és megindul az anaerob glikolízis is, nő az izomban és a vérben a tejsav-koncentráció. Ha az intenzitást tovább növeljük, egyre inkább az anaerob energiaszolgáltatás veszi át a fő szerepet, az izomban a tejsavtermelés tovább fokozódik. Az a pont, ahol a tejsav szintje hirtelen emelkedni kezd, az az anaerob átmenet zónája. A szakirodalom ezt a küszöbértéket a 4 mmol/l vértejsav-koncentrációban határozta meg.<sup>77</sup> Ez az érték azonban egyénenként és sportáganként is változhat.

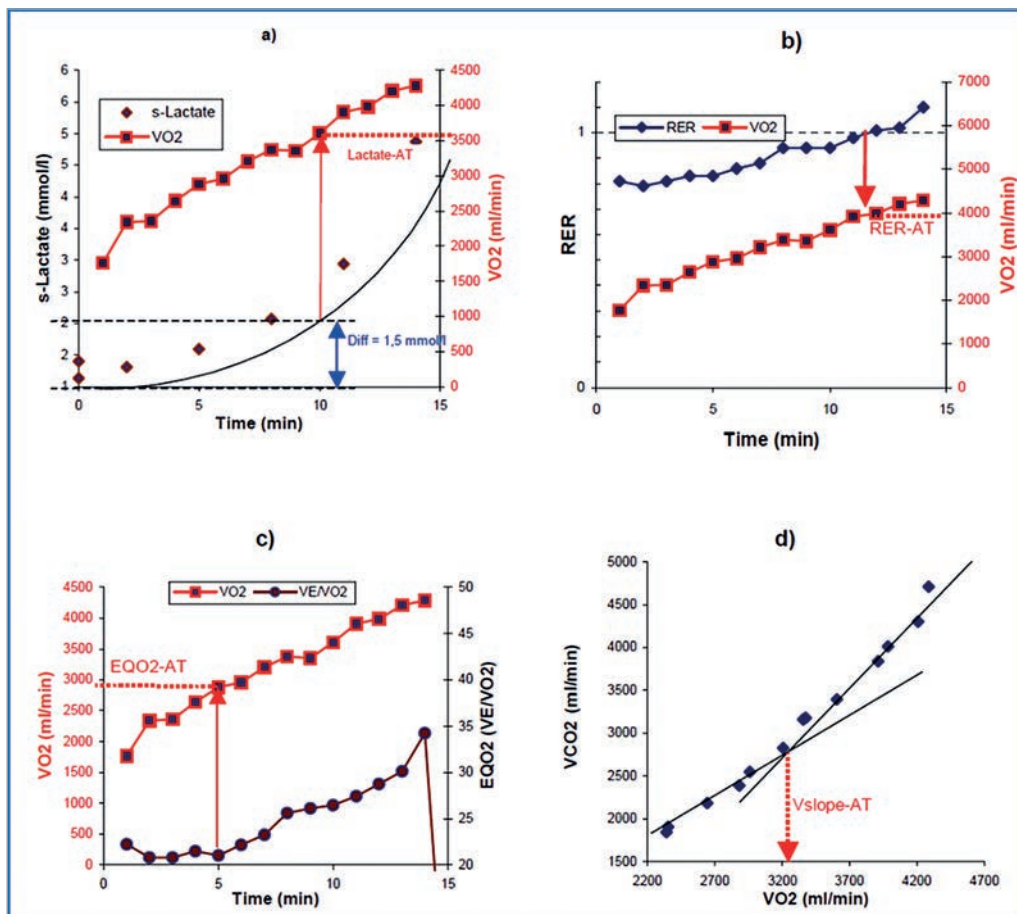
Az anaerob átmenetet noninvazív módon is meghatározhatjuk „vitamax” terhelések során spiroergometriás vizsgálattal. A fizikai aktivitás kezdetén egy ideig a légzés lineárisan nő a terhelésintenzitás emelkedésével, majd az intenzitás további növelésére a ventiláció emelkedése meredekké válik. Azt a határt, ahol légzési percventiláció hirtelen megemelkedik, ventilációs küszöbnek nevezzük.<sup>78</sup> A ventilációs küszöb meghatározásának további lehetőségei: az  $RQ = 1$  értékből, a  $VO_2$ - $VCO_2$  (Vslope-módszer) vagy a  $VCO_2$ - $VE$  összefüggésből számított átmenetek (14. ábra).

Ahol a légzés fokozódásának linearitása megszűnik, és a  $VE/VO_2$  arány (egy milliliter  $O_2$ -hez szükséges ventilált levegő mennyisége) megemelkedik, légzési küszöbnek nevezzük. Ilyenkor rövid késedelem után a  $VE/VCO_2$  ( $CO_2$  légzési ekvivalens) is nő. A ventilációs küszöb azzal magyarázható, hogy a vér laktátkoncentrációjának növekedése együtt jár a pH csökkenésével és a  $paCO_2$  emelkedésével. Mindkét változás stimulálja

<sup>77</sup> H. Heck et al.: Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6. (1985), 3. 117–130.

<sup>78</sup> Alfred Aigner: *Sportmedizin in der Praxis*. Springer-Verlag, 1986.

a légzőközpontot. Így alakul ki egyszerre, azonos terhelési intenzitásnál a tejsav- és a ventilációs küszöb.<sup>79</sup>



14. ábra: Ventilációs küszöb meghatározásának lehetőségei és összehasonlítása

Forrás: Solberg et al. 2005 alapján<sup>80</sup>

### Szervrendszerek adaptációja

A terheléses vizsgálatok során a szervezet adott intenzitású terhelésre bekövetkező életani válaszreakcióit elemezzük, illetve értékeljük. A szervezetet ért akut és krónikus hatások befolyásolják a vázizomzat, a szív- és érrendszer, a keringés, a tüdő, a légzés,

<sup>79</sup> Robert A. Robergs – Farzenah Ghiasvand – Daryl Parker: Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287. (2004), 3. R502–R516.

<sup>80</sup> Geir Solberg et al.: Respiratory gas exchange indices forestimating the anaerobic threshold. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4. (2005), 1. 29–36.

a kiválasztó rendszer és az idegrendszer szabályozását, működését. Az ingerek gyakoriságától és intenzitásától függ (a genetikai adottságok mellett), hogy az egyes szervrendszerek hogyan alkalmazkodnak (adaptálódnak).

### Vázizom<sup>81</sup>

A gyakorlatok minőségétől és mennyiségétől függően a rendszeres sportági edzések az izomtömeg gyarapodásához, izomhipertrófiához vezetnek (2. táblázat). Az izomrost-eloszlás nemcsak egy adott izmon belül, hanem az izmok között és az egyének között is rendkívül különböző, az edzés minőségét tekintve (állóképességi, erő- vagy gyorsasági edzés) kismértékben átalakulhatnak, de többnyire genetikailag meghatározottak.<sup>82</sup> A gyorsasági edzés edzésmódszereit a táblázat mutatja. Állóképességi edzés hatására elsősorban a lassú izomrost mérete növekszik, nő az izmok kapillarizációja (elsősorban a lassú rostokban), nő a mitokondriumok száma és mérete.

2. táblázat: Erőedzés általános edzésmódszerei

| Edzés formája      | Intenzitás/mennyiség                                                                                                                                                                                                              | Hatás                                                                                                                             | Regenerációs idő |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Állandó intenzitás | 4–6 sorozat, 4–6 ismétlésszám a max. terhelés 85%-án minden egyes gyakorlatnál<br>Pihenőidő 2'<br>Sorozatok közti pihenőidő 6'<br>Végrehajtás gyorsasága függ a tömegtől                                                          | Maximális erő<br>Izomhipertrófia<br>Növeli a motoros egységek számát                                                              | 48–72 óra        |
| Állandó intenzitás | 4–6 sorozat, 10 ismétlésszám a max. terhelés 70%-án<br>Pihenőidő 2'<br>Sorozatok közti pihenőidő 6'<br>Gyors végrehajtás                                                                                                          | Explozív erő és gyorsasági erő<br>mérsékelt maximális erővel                                                                      | 48 óra           |
| Gyorserő piramis   | $12 \times (50\%) - 2 \times (60\%) - 12 \times (70\%) - 12 \times (60\%) - 12 \times (50\%)$ ,<br>4–6 sorozat gyakorlatonként<br>Pihenőidő 2'<br>Sorozatok közötti pihenőidő 6'<br>Gyors végrehajtás                             | Gyorserő fejlesztés                                                                                                               | 48 óra           |
| Ellentétes módszer | $8 \times (70\%) - 20 \times (40\%) - 8 \times (70\%) - 20 \times (40\%)$ vagy $8 \times (80\%) - 20 \times (50\%) - 8 \times (80\%) - 20 \times (50\%)$<br>6–8 sorozat gyakorlatonként<br>Pihenőidő 1'–2'<br>Sorozatok között 6' | Az ingerek változatossága egyfajta adaptációt idéz elő a neuromuszkuláris rendszerben<br>Maximális és explozív erő alkalmazkodása | 48–72 óra        |

<sup>81</sup> Frenkl Róbert: *Sportélettan*. Budapest, Magyar Testnevelési Egyetem, 1995.

<sup>82</sup> Jákó–Martos–Pucsok (1998) i. m.

| Edzés formája            | Intenzitás/mennyiség                                                                                                                                                                                                | Hatás                                                                                                         | Regenerációs idő |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Kis piramis              | $10 \times (70\%) - 8 \times (85\%) - 3 \times (95\%) - 1 \times (100\%) - 3 \times (95\%) - 8 \times (85\%) - 10 \times (70\%)$<br>1 piramis gyakorlatonként<br>Pihenőidő 2'–4'<br>Sorozatok közötti pihenőidő 6'  | Komplex megközelítése a gyors az explozív és a maximális erőnek                                               | 48–72 óra        |
| Széles piramis           | $15 \times (60\%) - 12 \times (70\%) - 8 \times (80\%) - 5 \times (85\%) - 8 \times (80\%) - 12 \times (70\%) - 15 \times (60\%)$<br>1 piramis gyakorlatonként<br>Pihenőidő 1'–3'<br>Sorozatok közötti pihenőidő 6' | Komplex megközelítése az állóképességnek a gyorsasági erőnek és maximális erőnek                              | 48 óra           |
| Köredzés                 | 20–40 × (40–60%)<br>20–40 × (40–60%)<br>20–40x(40–60%) 3–6 sorozat, gyors iramban,<br>pihenőidő 30"–1'<br>Sorozatok közötti pihenőidő 6'                                                                            | Fő izomcsoportok váltakozva terheltek<br>Anyagcsere folyamatosan terhelt<br>Cél: erő állóképesség fejlesztése | 16–24 óra        |
| Állandó intenzitás       | 3–6 sorozat, a maximális ismétlésszám 60%-ban, 25–40% maximális terheléssel<br>Relatív gyors iram<br>Pihenőidő 30"–1'<br>Sorozatok közötti pihenőidő 6'                                                             | Cél: anaerob rendszer fejlesztése erő állóképességgel                                                         | 16–24 óra        |
| Frekvenciaedzés alacsony | Munkavégzés 1'<br>20–24 ismétlésszám sorozatonként (45 lökés/perc)<br>Pihenőidő 1'–2'<br>Sorozatok közötti pihenőidő 6'                                                                                             | Gyorsaság fejlesztése az erő állóképességben<br>Hangsúly a maximális ellökésen<br>Anaerob rendszer            | 16–24 óra        |
| Frekvenciaedzés magas    | ua., optimális iram (60–65 lökés/perc)                                                                                                                                                                              | Hangsúly a mozgás ritmusán                                                                                    | 16–24 óra        |

*Forrás:* Gemser – de Koning – van Ingen Schenau (1999) i. m. alapján

### 3. táblázat: Gyorsasági edzés edzésmódszerei

| Edzés formája                                                     | Intenzitás                                       | Mennyiség                                                                                                | Hatás                                                                                                     | Regenerációs idő |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Reakciószakasz, reakcióedzés                                      | Maximális koncentráció és 100% erőkifejtés       | Munka max. 6" ismétlésszám 6–20<br>Megnyugvási idő 1'–6'                                                 | Kondicionálás és a reakcióidő lerövidítése                                                                | 24–48 óra        |
| Gyorsulási szakasz<br>Erőedzés összes formája<br>Startgyakorlatok |                                                  | Munka max. 6"<br>Ismétlésszám<br>Max. 6<br>max. 6'                                                       | Starthoz kapcsolódó maximális gyorsulás, technika+maximális gyorsulás képessége, neuromuscularis rendszer | ua.              |
| Gyorsulások                                                       | Ellenállással vagy ellenállás nélkül 100% felett | Munka 1"–6"<br>Ismétlésszám 20 felett<br>egy szériában<br>Pihenőidő 1'30"–6', szériák közti pihenőidő 6' | Specifikus erőfeladatok, gyorsulás tökéletesítése, gyors rostok edzése, enzimrendszerek (MK-LDH)          | ua.              |

| Edzés formája                                                                                                   | Intenzitás | Mennyiség                                                                                          | Hatás                                                                                                                               | Regenerációs idő |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Általános feladatok:<br>Emelkedőn futás<br>Rövid ugrások<br>Mélybeugrások<br>Megállított ugrások                | 100%       | ua.                                                                                                | ua.                                                                                                                                 | ua.              |
| Maximális sebességi szakasz ismétléses forma                                                                    | 100%       | Munka 4''–8''<br>Ismétlésszám 8 felett<br>Pihenőidő 4'–6'                                          | Magas frekvencián végzett mozgás koordinációja, stimulálja a gyors izomrostokat, enzimszisztemek (MK-LDH), foszfát energia rendszer | 12–48 óra        |
| Általános feladatok:<br>Gyorsasági munka<br>Koordinációs futás<br>Lejtő és emelkedő futás Szupramaximális futás | 100%       | Munka 20–60 m<br>Ismétlésszám 10 felett<br>Pihenőidő 4'–6'                                         | Reakció szakasz reakció edzés                                                                                                       | ua.              |
| Gyorsasági állóképességi szakasz<br>Rövid-gyors futások                                                         | 100%       | Munka 6''–10''<br>Ismétlésszám 18–20 egy szériában<br>Pihenőidő 1'30'' a szériák közötti pihenő 6' | Növeli a foszforraktárakat, enzimszisztemek (MK), stimulálja a gyors izomrostokat                                                   | 12–48 óra        |

*Forrás:* Gemser – de Koning – van Ingen Schenau (1999) i. m. alapján

### Szív- és vérkeringési rendszer<sup>83</sup>

A vérkeringés központja a szív. A szívizom ritmikus összehúzódása (systole) és elernyede (diastole) révén áramlik a vér az érrendszerben.

Akut terhelés hatására a perctérfogat emelkedik, a vérkeringés felgyorsul, a szív frekvenciája (pulzus száma) és az ütőtérfogat (pulzustérfogat) is jelentősen emelkedik. A terhelés során a szisztolés vérnyomás növekszik, míg a diasztolés vérnyomás nem változik, vagy csökken. A vénás rendszerben raktározódó vér bekerül a vérkeringésbe, ezzel növelve a keringő vér mennyiségét. Létrejön a keringés redisztribúciója is, amely során a gyomor-bél rendszert és a vesét ellátó arteriolák összehúzódnak, míg a vázizom erei kitágulnak. Így a perctérfogat akár 90%-a is átáramolhat a vázizomzaton, fokozva ezzel az oxigénellátottságát. A nyugalmi értékhez képest nő az artériás-vénás oxigén-differencia is.

A különböző típusú terhelések hatására a szív- és vérkeringési rendszerben is eltérő adaptációs folyamatok figyelhetők meg. A bal kamrai átalakulás sportáganként változik az edzés során a szívet érő eltérő intenzitású és tartamú haemodinamikai terhelés hatá-

<sup>83</sup> Frenkl (1995) i. m.

sára. Állóképességi sportolókban (kerékpár, sífutás, evezés, kajak-kenu) a szívperctérfogat nagymértékben megnő edzés alatt, a terhelés csúcsán akár 30 l/min is lehet, és ezen a szinten marad az edzés végéig. Ezt a verőtérfogat nagyfokú növekedése teszi lehetővé, ami a csökkent utóterhelés és fokozott előterhelés eredménye. A szisztolés vérnyomás akár 200 Hgmm-ig történő növekedését is észlelték evezősökben egy-egy kimerítő edzés során.<sup>84</sup> A bal kamrai remodelling állóképességi atlétákban nagymértékű üregnövekedéssel és mérsékelt falvastagodással jellemezhető. Az üregméret abszolút értékei a normál tartomány felső határán kívül eshetnek, nemritkán abba az intervallumba, amely már primer patológiás állapotokkal, mint például a dilatatív cardiomyopathiával is átfedést mutat.<sup>85</sup> A falvastagság abszolút értékei is általában nagyobbak, mint a nem-sportoló kontrollokban, de csak ritkán haladják meg a normál határokat, és esnek a hipertrófiás cardiomyopathia tartományába.

Erőatlétáknál (súlyemelés, erőemelés, dobó sportok) a vázizomfeszülés jelentősen nő edzés alatt, és ha meghaladja a maximális akaratos kontrakció 70%-át, a perifériás véráramlás szignifikáns csökkenését okozza.<sup>86</sup> Következésképp a fokozott szimpatikus neurális aktivitás a szisztolés artériás vérnyomás növekedését eredményezi, hogy a véráramlást helyreállítsa.<sup>87</sup> A vérnyomás-emelkedés mértéke az edzés intenzitásától, a kontraháló izommennyiségtől, valamint a megnövekedett intrathoracalis és intraabdominalis nyomástól függ. Erőatlétáknál a bal kamrai remodelling enyhe falvastagodással (az abszolút értékek nem haladják meg a fiziológiai felső határt) és nem számottevő üregméret-változással jár.<sup>88</sup>

A kevert (aerob és anaerob) sportágakban (labdarúgás, jégkorong) az edzés során a rövid, intenzív izomtevékenység (mérsékelt térfogat- és nyomásterheléssel) és a nyugalmi periódus váltakozik egymással. Ezen sportolókban a morfológiai adaptáció az abszolút bal kamra méretének mérsékelt növekedését és enyhe falvastagodását jelenti, amely nem haladja meg a normálértékeket.

A technikai sportágakban (vitorlázás, asztalitenisz, lovassportok) a verseny kritikus szakaszaiban a szívfrekvencia és a szisztolés vérnyomás jelentős emelkedése következik be a szimpatikus aktivitás eredményeként. A vitorlázóknál a versenyeken vagy a lovaglónál tereplovaglás során a szívfrekvencia akár 200/min is lehet.<sup>89</sup> Még sincs azonban tartós nyomás- és térfogatterhelés, és nincs jelentős változás a bal kamrai morfológiában sem.

<sup>84</sup> P. S. Clifford – B. Hanel – N. H. Secher: Arterial blood pressure response to rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26. (1994), 6. 715–719.

<sup>85</sup> Pelliccia A. et al.: Upper limits of physiologically induced left ventricular cavity enlargement due to athletic training. *Circulation*, 90. (1994), 1165.

<sup>86</sup> P. W. Humphreys – A. R. Lind: The blood flow through active and inactive muscles of the forearm during sustained hand-grip contractions. *Journal of Physiology*, 166. (1963), 1. 120–135.

<sup>87</sup> J. H. Mitchell: J. B. Wolfe memorial lecture. Neural control of the circulation during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22. (1990), 2. 141–154.

<sup>88</sup> Antonio Pelliccia et al.: Absence of left ventricular wall thickening in athletes engaged in intense power training. *American Journal of Cardiology*, 72. (1993), 14. 1048–1054.

<sup>89</sup> M. Bernardi et al.: Cardiovascular load in off-shore sailing competition. *Journal of Sports Medicine Physical Fitness*, 30. (1990), 2. 127–131.

## Légzőrendszer

A légzőrendszer legfontosabb feladata, hogy biztosítsa a gázcserét ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) a külvilág és a szervezetünk között. A gázcsere a lég hólyagocskák és a hajszálerek membránján keresztül diffúzióval történik.

A fizikai terhelés kezdetén a légzés azonnal fokozódik. Ennek szabályozásában számos tényező vesz részt. A szabályozó központ az agytörzsben található, ide fut be az információ a kemo- és mechanoreceptorokból, az izmokból és az agy felsőbb szintjeiből. Innen továbbítódik az információ a légzőizmok és segédizmok felé.<sup>90</sup> A fizikai terhelés kezdetén az idegi mechanizmusoknak van a legnagyobb jelentősége, ezt követően kapcsolódnak be a humorális tényezők. Ha a terhelés a laktátküszöb alatt zajlik, mivel itt még nem csökken a pH, a légzési stimulust a kemoreceptorokat ingerlő megemelkedett  $\text{CO}_2$ -koncentráció jelenti. A laktátküszöb felett zajló terhelésnél a szén-dioxid szintjének emelkedésén kívül a vér pH értékének csökkenése is elősegíti a ventiláció növekedését, bár extrém alacsony pH bénítja a légzőközpontot. Egyes szerzők szerint nem a vér pH-értéke a meghatározó, hanem az intracelluláris pH függ össze a ventiláció fokozódásával.<sup>91</sup>

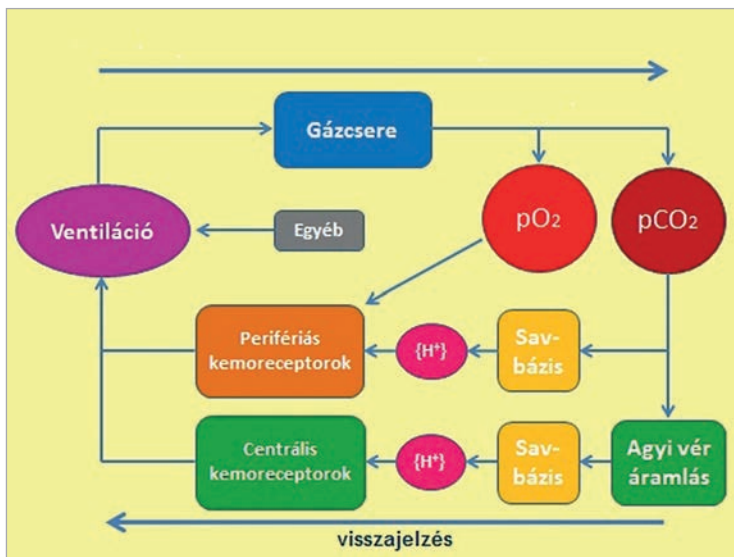
Kemoreceptorok találhatók perifériásan (aortaív, carotis), amelyek a vér  $\text{CO}_2$ -,  $\text{H}^+$  és pH-értékeire érzékenyek, és centrálisan (medulla oblongata, agytörzs), amelyek a  $\text{CO}_2$ -koncentráció változásait érzékelik. Ha a vérben terhelés hatására emelkedik a  $\text{CO}_2$  szintje, több  $\text{CO}_2$  jut át a vér-agy gáton, és a liquorban  $\text{H}^+$ -ná és  $\text{HCO}_3^-$ -tá alakulva serkenti a légzőközpontot. Ennek hatására fokozódik a ventiláció, amely növeli a  $\text{CO}_2$ -eliminációt a tüdőn keresztül.<sup>92</sup>

Akut terhelés során a ventiláció azonnali emelkedése jön létre, nő a légzési frekvencia és a légzési volumen. A fizikai terhelés kezdetén a légzés azonnal fokozódik. A szabályozás központjai az agytörzsben, a híd és a nyúltvelő felső szélénél találhatóak, ide futnak be az információk a kemoreceptoroktól. A terhelés alatt bekövetkező ventilációváltozás elsősorban a vér  $\text{pO}_2$  és  $\text{pCO}_2$  változásának az eredője. A vér  $\text{pO}_2$ -változása közvetlenül a perifériás kemoreceptorokra hat, míg a vér  $\text{pCO}_2$  változása mindkét szabályozó rendszert érinti, de csak közvetve, az agyi véráramláson, illetve a sav-bázis rendszeren keresztül (15. ábra).

<sup>90</sup> Fonyó Attila: *Az orvosi élettan tankönyve*. Budapest, Medicina, 2011.

<sup>91</sup> N. L. Jones: Hydrogen ion balance during exercise. *Clinical Science*, 59. (1980), 2. 85–91.

<sup>92</sup> P. N. Ainslie – J. Duffin: Integration of cerebrovascular  $\text{CO}_2$  reactivity and chemoreflex control of breathing: mechanisms of regulation, measurement, and interpretation. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 296. (2009), R1473–R1495.



15. ábra: A ventiláció kemoreflexes szabályozása

Forrás: Ainslie–Duffin (2009) i. m. alapján

A tüdő alkalmazkodási reakciói kevésbé feltűnőek, mint a szív- és keringési rendszerben végbemenő változások. Rendszeres edzés hatására a légzés gazdaságossága és a légzési küszöb is javul, de ezért inkább az anyagcsere-folyamatok adaptációja és a kardiovaszkuláris funkció javulása a felelős. Maximális terhelésnél a nagyobb ventilációt a légzésmélység növekedése okozza, mivel a légzési frekvencia csak kismértékben változik.

Az állóképesség, vagyis a kardiopulmonális rendszer fejlesztésére alkalmazható módszereket a 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat: Edzés módszerek az állóképességi edzéshez

| Edzés formája                   | Intenzitás                                                                                                                                                             | Mennyiség               | Hatás                                                                                                                                                             | Regenerációs idő |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Állóképességi edzés<br>Extenzív | Általában:<br>HR 180–életkor<br>Elit sportolók:<br>HR anaerob küszöb–20                                                                                                | Min. 45’<br>Min. 3×/hét | O <sub>2</sub> -kihasználás,<br>keringés, szívizom,<br>kapillarizáció, vér-<br>nyomás-szabályozás<br>glikogénfeltöltés,<br>enzimrendszerek, aerob<br>teljesítmény | 6 óra            |
| Fartlek                         | Általában: HR steady<br>state állapot körül<br>Elit sportolóknál:<br>rövid távon az anaerob<br>küszöb felett (10”–20”),<br>hosszabb távon az ana-<br>erob küszöb alatt | ua.                     | ua.                                                                                                                                                               | ua.              |

| Edzés formája                          | Intenzitás                                                                                                                   | Mennyiség                                                                                                   | Hatás                                                                                                                                        | Regenerációs idő                                     |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Intenzív állóképesség                  | Általában: max.<br>HR-nyugalmi HR<br>Elit sportolóknál:<br>anaerob küszöb körül                                              | 6x4'-3x20'                                                                                                  | aerob teljesítmény                                                                                                                           | 12-48 óra                                            |
| Extenzív intervall<br>Klasszikus forma | Általában: HR munka<br>után 180, megnyugvás<br>után 120<br>Elit sportolóknál: HR<br>az anaerob küszöb<br>fölött (4 mmol/l)   | Munka 20"-60" egy<br>szériában 40 ismétléssel<br>Pihenő 1'-1'30",<br>a szériák közötti pihenő<br>5'-6'      | ua., de fő hatása<br>a kardiovaszkuláris<br>rendszere van                                                                                    | 24-36 óra                                            |
| Modern forma                           | Általában: HR munka<br>után 180, megnyugvás<br>után 125-140<br>Elit sportolóknál: munka végén<br>az anaerob küszöb<br>felett | Munka 3' felett,<br>20 ismétlésszámmal<br>egy szériában<br>Pihenő 1'-2', szériák<br>közti<br>pihenő 6'      | kardiovaszkuláris<br>rendszer                                                                                                                | 24-36 óra                                            |
| Intenzív intervall<br>Tömbös edzés     | HRmax 90-100%<br>(220-életkor)                                                                                               | Munka 15"-45"<br>18-20 ismétlésszámmal<br>egy szériában<br>Pihenő 30"-90", szé-<br>riák között 6'-8' pihenő | max. O <sub>2</sub> felvétel,<br>tejsavpuffer-kapacitás,<br>enzimrendszer (LDH),<br>hormonrendszer,<br>anaerob tejsavas energi-<br>arendszer | 48-72 óra, ami<br>függ az izom-<br>sejt-károsodástól |
| Interval iram                          | Maximálisan<br>80-90%                                                                                                        | Munka 1'-3' ismét-<br>lésszám 8-12 Meg-<br>nyugvás 3'-6'                                                    | ua.                                                                                                                                          | ua.                                                  |

*Forrás:* Gemser – de Koning – van Ingen Schenau (1999) i. m. alapján

## A túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség és a fizikai felkészültség

Több kísérlettel bizonyított a fizikai felkészültség különböző összetevőinek és az emberi szervezet munkavégző képességének jelentősége a túlterhelések elviselésében. Többek között egzaktan bizonyított szignifikáns a kapcsolat a túlterhelések elviselése és a hasprés izomereje között. Ennek a ténynek a magyarázata az, hogy a jól fejlett izomzattal rendelkező emberek hatékonyabban tudnak ellenállni a belső szervek elmozdulásának a hasprés és a lábizmaik megfeszítésével.<sup>93</sup>

A túlterhelés elviselése szempontjából nagy jelentőséggel bírnak bizonyos presszor-depresszor mechanizmusok, amelyek a túlterhelés természetes hatására a repülés és a speciális felkészülés során alakulnak ki. Élettani és pedagógiai kísérletekkel bizonyították, hogy a speciális felkészítés eszközeivel jelentősen növelhető a szervezet kompenzációs képessége a pozitív túlterhelésekkel szemben.

Az eddigiekből következik, hogy a tűrőképesség mértéke egyenes arányban áll a fizikai felkészültség összetevőivel. Ezért megfelelő irányú fizikai felkészítéssel jelentősen fejleszthető e képesség.

<sup>93</sup> Вейднер-Дубровин Л. А. et al.: *Вопросы научного обоснования физической подготовки в Вооруженных Силах СССР*. ВДКИФКиС, Москва, 1964.

Mivel a korszerű harci gépeken történő repülés alatt a túlterhelések hatása jelentős mértékben megnőtt, fokozott figyelmet kell szentelni olyan gyakorlatok rendszeres végrehajtására, amelyek a has-, törzs- és lábizomzatot erősítik, és növelik ezeknek az izomcsoportoknak a statikus terhelhetőségét.<sup>94</sup> A fizikai kiképzés eszközeinek gyakorlati hatékonyságát sok tudományos kísérlet bizonyította. A speciális felkészítés eredményességét vadászrepülőgépeken végzett repülési kísérletekkel vizsgálták, amelyek során a gépekbe automatikus túlterhelés-regisztráló, valamint a kardiorespiratórikus és kardiovaszkuláris rendszerek működését regisztráló műszereket építettek be. A kísérletekkel kapott adatok hatáselemzése alapján állapították meg a speciális felkészítés azon eszközeit, amelyek a túlterhelésekkel szembeni tűrőképességet növelték. (5. táblázat)<sup>95</sup>

5. táblázat: Túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség növelése fizikai felkészítéssel

|                                        |                                                                      | Edzésszerek           |               |                  |                      |                  |                              |                            |                  |            |                 |              |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|------------------|----------------------|------------------|------------------------------|----------------------------|------------------|------------|-----------------|--------------|
| Az edzéshatás összetevői               |                                                                      | Centrifuga            | Tornakerek    | Ugróasztal       | Szökdeléspáros lábon | Görgőgyakorlatok | Szertorna (különböző szerek) | Hasizomerősítő gyakorlatok | 200 m síkfutás   | 50 m úszás | 25 m búvárúszás | Műugrás      |
| A terhelés nagysága                    | Ismétlésszám vagy a gyakorlatok végrehajtási ideje foglalkozásonként | 4-6 gyak. hely (30 s) | 30 fordulat   | 30-50 elem       | 75-100               | 30-40            | 10-15 gyakorlat              | 15-30                      | 2-4              | 4-6        | 3-5             | 10-15        |
| A gyakorlatok edzéshatásának jellemzői | A túlterhelés nagysága és összehatásideje                            | 5-6 g<br>3-4 s        | 4-5 g<br>10 s | 1,5-3 g<br>5-8 s | 3-4 g<br>7-10 s      | ±1 g<br>1-2 min  | ±1 g<br>0,5-1 min            | –                          | 2-3 g<br>20–40 s | –          | –               | 2-4 g<br>3 s |
|                                        | Kardiovaszkuláris terhelés a pulzusszám alapján                      | 140-200               | 120-170       | 130-180          | 140-190              | 100-130          | 90-120                       | 90-120                     | 160-220          | 150-200    | 120-170         | 100-120      |
|                                        | A terhelés hatása a láb- és hasizmokra                               | ++*                   | +             | ++               | ++                   | +                | +                            | ++                         | ++               | ++         | ++              | –            |
|                                        | A terhelés hatása a légzőrendszerre                                  | ++                    | +             | +                | +                    | +                | +                            | +                          | ++               | ++         | ++              | –            |
|                                        | Mellkasi légzés szükségessége                                        | ++                    | –             | –                | –                    | –                | +                            | ++                         | –                | ++         | ++              | –            |
| Edzéshatékonyság                       | A túlterheléssel szembeni tűrőképesség növekedése                    | 6-7 g-ig**            | 6-7 g-ig      | +                | +                    | +                | +                            | ++                         | ++               | +          | +               | +            |
|                                        | Gyorsasági állóképesség fejlődése                                    | ++                    | –             | +                | ++                   | –                | –                            | –                          | ++               | ++         | +               | –            |
|                                        | A hasprés izomerejének növekedése                                    | +                     | +             | +                | ++                   | –                | +                            | ++                         | ++               | +          | +               | –            |
|                                        | Akarati tulajdonságok fejlesztésének lehetősége                      | ++                    | ++            | ++               | –                    | –                | +                            | –                          | +                | +          | ++              | ++           |

\* – a hatékonysági fok: ++: nagy; +: kicsi; –: jelentéktelen. \*\* – a túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség jelentős növekedése azoknál volt regisztrálható, akiknek nem volt repült órájuk nagy túlterheléssel.

Forrás: a szerző szerkesztése

<sup>94</sup> Szportyivnaja Medicina. 1987. Fizkultura I Szport. Moszkva.

<sup>95</sup> Dunai Pál: Túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség növelése a fizikai felkészítés eszközeivel. *Repüléstudományi Közlemények*, 10. (1998), 25. 17–23.

A tűrőképesség mértéke a maximális és szubmaximális erőteljességi övezetek munkavégző képességének nagyságával egyenesen arányos, ezért elengedhetetlen a pilóták és a hallgatók speciális felkészítése során a rövid- és a hosszútávutak alkalmazása. A futóedzések a gyorsasági állóképesség növekedéséhez vezetnek, amelynek fejlettségi szintje a lehető legteljesebben jellemzi a kardiovaszkuláris rendszer működését.<sup>96</sup> Az elvégzett kísérletek adatai szerint a 200 m-es síkfutás eredménye és a maximális légzésvisszatartási képesség nagymértékben jellemzik a túlterhelésekkel szembeni tűrőképességet.

Fontos kiemelt figyelmet szentelni a terhelésre adott védelmi reakciók és kompenzáló mechanizmusok fejlesztésére is. Ez speciális eszközökön végzett edzésekkel és olyan gyakorlatok végrehajtásával érhető el, amelyek a test három dimenzióban történő mozgásával járnak (akrobatikus gyakorlatok). Pozitív hatás érhető el a mellkasi légzés képességének kialakításával, és ha ezt összekapcsoljuk a láb- és hasizmok statikus terhelésével.

### *Túledzettség*

Túledzettségről akkor beszélünk, amikor váratlan teljesítménycsökkenés következik be állandó vagy fokozott terhelés hatására. Ez az állapot a terhelés és a regenerációs idő közötti hosszú távú kiegyensúlyozatlanságnak köszönhető. A kezeletlen túledzettség a túledzettségi szindrómához vezethet, olyan állapothoz, amelyet a folyamatos fáradtság és a kimerültség tünetegyüttese jellemez. A túledzettség és a túledzettségi szindróma neuroendokrinológiai, immunológiai és pszichológiai elváltozások sokaságát indukálja. Az eltérő klinikai tünetek miatt, nagyon sok egymással részben ellentmondó hipotézis keletkezett már a túledzettség eredetével kapcsolatban.<sup>97</sup> A legfontosabbak a következők: Pszichés teória, Monotónia hipotézis, Glikogén depleciós hipotézis, Neuro-endokrin disbalance elmélet, Citokin elmélet.

A klinikai tünetek alapján kétféle túledzettséget különböztetünk meg: a szimpatikust és a paraszimpatikust.

- A szimpatikus túledzettség tünetei:
  - terhelés utáni mérsékelt pulzusmegnyugvás;
  - magas nyugalmi pulzus;
  - korai elfáradás;
  - étvágycsökkenés, tömegvesztés;
  - gyenge sportteljesítmény;
  - izomfájdalom;
  - nyugtalan alvás;
  - idegesség, ingerlékenység;
  - fokozott izzadás, veritékezés.

<sup>96</sup> Frenkl (1995) i. m.

<sup>97</sup> Roger Vogel: „Übertraining”: Begriffsklärungen, ätiologische Hypothesen, aktuelle Trends und methodische Limiten. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»*, 49. (2001), 4. 154–162.

- A paraszimpatikus túledzettség tünetei:
  - terhelés utáni normál vagy gyors pulzusmegnyugvás;
  - alacsony nyugalmi pulzus;
  - normál étvágy, állandó testtömeg;
  - gyenge sportteljesítmény;
  - depresszió, letargia;
  - fáradtság;
  - aluszékonyság;
  - alacsony vérnyomás;
  - alacsony vércukorszint;
  - terhelést követő alacsony tejsav-koncentráció.

| Állandó fáradtsággal és csökkent teljesítménnyel járó kórképek                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Leginkább előforduló                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kevésbé gyakori                                                                                                                                                                                                                                                            | Ritkán előforduló                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• allergia</li> <li>• terhelés indukált asztma</li> <li>• alvászavar</li> <li>• vashiányos anaemia</li> <li>• teljesítménykényszer</li> <li>• fertőzések akut mononucleosis légúti, húgyúti fertőzés</li> <li>• túledzettség</li> <li>• hangulat ingadozás</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• dehidráció</li> <li>• diabetes</li> <li>• táplálkozási zavar</li> <li>• hepatitis</li> <li>• hydrothyroidism</li> <li>• krónikus fertőzések</li> <li>• gyógyszer mellékhatás</li> <li>• táplálkozás<br/>↓ CH / fehérje</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• endokrin betegség</li> <li>• mellékvesevelő ↓ ↑</li> <li>• szívbetegség</li> <li>• HIV</li> <li>• malabszorpció</li> <li>• tüdőbetegség</li> <li>• tumorok</li> <li>• vesebetegség</li> <li>• neuromuskális betegségek</li> </ul> |

16. ábra: Állandó fáradtsággal, csökkent teljesítménnyel járó kórképek

Forrás: Noel McCaffrey: *Overtraining* (PowerPoint-bemutató) alapján a szerző szerkesztése

A paraszimpatikus tünetegyüttes nagyon hasonlít a szervezet terhelésre bekövetkezett adaptációjára, így nagyon nehéz a differenciál diagnózisa. Az eltérő tünetek ellenére közös bennük a teljesítménycsökkenés. Ergom-es vizsgálatok során a túlterhelés hatására a kerékpárosoknál a maximális pulzusszám, akár 5 ütés/perccel csökkent, míg a maximális teljesítmény is 3%-kal csökkent. Női állóképességi sportolóknál a futószalagos teszten a maximális sebesség csökkenése és a  $VO_2\max$  4%-os csökkenése mellett egyéb, nem

specifikus tüneteket (például alvásproblémákat) figyeltek meg.<sup>98</sup> A túledzetségnél két állapotot különböztetünk meg, a túlterhelést és a túledzetségi szindrómát. A túlterhelés során a pihenés hatására a szervezet rövid idő alatt teljesen regenerálódik (max. 1-2 hét), míg a túledzetségi szindróma esetén a pihenés ellenére sincs megfelelő regeneráció, a teljes javulás akár több hónapot is igénybe vehet.<sup>99</sup>

A túlterhelés, túledzetség nem mérhető egyetlen paraméterrel, több különböző vizsgálat szükséges a diagnózis felállításához. A túledzetség diagnosztizálása előtt ki kell zárni a hasonló tüneteket okozó, szervi eredetű megbetegedéseket. (16. ábra) A túledzetség megelőzésében gondosan előre meghatározott napi-, hetirendre van szükség optimális terhelés-időtartammal és megfelelő pihenőidőkkel.

### *A kifáradás elemi és járulékos tényezői a repülésben*

Külön kell elemezni a tartós munkavégzésből fakadó szellemi teljesítménydeficitet. A valós repülést végrehajtó harci pilótánál (például bombázóbevetésen) jól ismert probléma a hosszú távú repülés közben fellépő idegi fáradtság és testi vegetatív tünetek jelentkezése. Németországban az EuroHawk operátorai 3×8 órás missziós időbeosztással hajtották végre feladataikat, a Predator harci/bombázó pilóták 12 órás misszió esetén 2 fős személyzetként, 2 óránként váltották egymást.

Az UAV-operátorok munkája során szintén jelentkezhetnek a folyamatos munkavégzés okozta problémák: felborul a 24 órás napi munkarend és a munkahét ciklusa, miközben a folyamatos váltáshoz szükséges állomány általában nem áll rendelkezésre. Ennek következtében a kognitív éberség, mentális reakcióképesség adott napszakhoz köthető szintje felborul az alvás és munkafázis rendszertelen változásával. A hosszantartó UAV-műveletek és az aktív munkaidőszak napszaki vándorlása aktív Predator-pilótánál is okozott már hirtelen teljesítménycsökkenést, a műveleti helyzet átláthatóságának elvesztését és „bealvást”. A kognitív éberség időbeli alakulását függvényként felfogva számos algoritmust dolgoztak ki különböző változókkal, ahol a legfontosabbak: a pilanatnyi teljesítménypotenciál, a teljesítményhanyatlás időgörbéje, az alvás alatti regeneráció időgörbéje és a napszaki együtharó értéke. Ezeket együttesen a napi ébrenlét és alvás mennyiségi viszonya határozza meg, amelyek alapján komplex kockázatelemzés végezhető az elemi és járulékos domének tényezőinek súlyozott analizisével. (17. ábra)

<sup>98</sup> U. Hartmann – J. Mester: Training and overtraining markers in selected sport events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32. (2000), 1. 209–215; valamint Axel Urhausen – Wilfried Kindermann: Diagnosis of overtraining: what tools do we have? *Sports Medicine*, 32. (2002), 2. 95–102.

<sup>99</sup> W. P. Morgan et al.: Psychological monitoring of overtraining and staleness. *British Journal of Sports Medicine*, 21. (1987), 3. 107–114.



17. ábra: A kifáradás elemei és járulékos tényezői

*Forrás:* Szabó kutatói jelentése alapján<sup>100</sup>

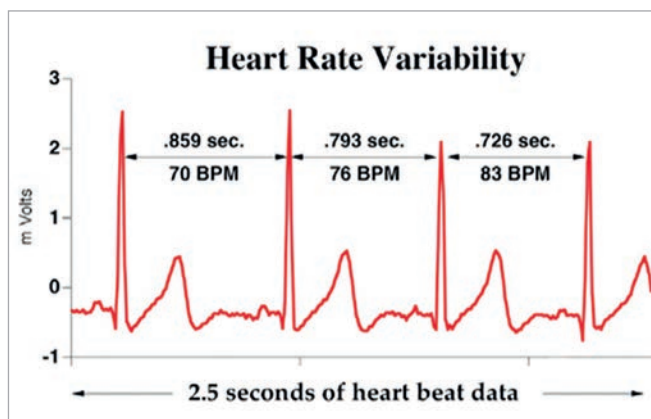
A nappali és éjszakai műszakperiódust összehasonlítva megállapítható, hogy az éjszakai műszak (22 óra 30 perc és 07 óra között) első nyolc napjában a munkahatékonyság a kritikus 75% alá csökkenhet. A felmérés nem veszi figyelembe az egyéni különbségeket és a gyógyszeres, pszichostimulánsok okozta teljesítménynövekedést, és adatait természetesen valódi műveleti körülmények között elvárt és mért teljesítményadatokhoz kell hasonlítani.

## A szívfrekvencia-variabilitás (HRV)

A túlterhelés diagnosztikájában az individuális értékeléshez a rendszeres orvosi ellenőrzés mellett a szívfrekvencia-variabilitás (HRV) vizsgálata is nagy segítséget adhat. A HRV összetett élettani mutató, amelyet a szív spontán elektromos ingerképzésében meghatározó szinuszcsomó pacemakersejtjeinek ingerleadási frekvenciája határoz meg.<sup>101</sup> Az egyes szívösszehúzódások (az EKG-n az R hullám) nem pontosan azonos időben követik egymást. (18. ábra)

100 Szabó Sándor András: *UAV (pilóta nélküli légi jármű) műveletek virtuális környezetben*. Kutatói jelentés III. Nemzeti Közszoigszolgaleti Egyetem, TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata.

<sup>101</sup> Kovács Levente: *Akut és krónikus stressz vizsgálata tejelő teheneken a szívritmus változékonyság meghatározásával*. PhD-értekezés, Gödöllő, 2014.



18. ábra: R–R-távolságok változása nyugalomban

Forrás: a szerző szerkesztése

A légzésciklus, a légzési aritmia, a testhelyzetváltozás, bármely külső inger kiváltotta stressz, a mozgás, a genetikai adottságok is befolyásolják az egymást követő R–R-távolságok különbözőségét. Az ezt leíró módszer a szívfrekvencia-változékonyság elemzése (HRV- [Heart Rate Variability] analysis).

A HRV módszerét az orvostudományban csak az 1980-as évek végétől kezdték kutatni. Többen is igazolták, hogy a HRV egyéb élettani változóktól függetlenül értékelhető előrejelzője az akut szívizominfarktus után bekövetkező hirtelen szívhalálnak.<sup>102</sup>

A szervezet vegetatív válaszát a szimpatikus és paraszimpatikus aktivitás mindenkori egyensúlya határozza meg, így önmagában a pulzusszám mérése nem minden esetben tájékoztat pontosan a viselkedés hátterében zajló idegrendszeri folyamatokról. A pulzusszám növekedését, bár többnyire a szimpatikus tónus erősödése okozza, eredményezheti a vagus tónus csökkenése és a két idegrendszeri ág együttes változása is.<sup>103</sup>

### *Lineáris elemző rendszer*

A HRV *lineáris dinamikájának vizsgálatára* számos módszert fejlesztettek ki. A legtöbb szerző az *időtartományban* számolt paramétereket tartja a legegyszerűbb kifejezési módnak.<sup>104</sup> A szívverések közötti időtartamok változékonyságát a HRV jelzőszámaival határozhatjuk meg, amelyek közül egyesek a vagus, míg mások a szimpatikus idegi

<sup>102</sup> R. E. Kleiger et al.: Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *American Journal of Cardiology*, 59. (1987), 4. 256–262.; P. K. Stein et al.: Traditional and nonlinear heart rate variability are each independently associated with mortality after myocardial infarction. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, 16. (2005), 1. 13–20.

<sup>103</sup> Robert M. Carney – Kenneth E. Freedland: Depression and heart rate variability in patients with coronary heart disease. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 76. (2009), 2. 13–17.

<sup>104</sup> Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93. (1996), 1043–1065.

aktivitást jelzik. Ezek a mutatók az R–R-adatsorok különbözőféleképpen számított statisztikai változékonyságát fejezik ki, ezért az időtartományban végzett elemzést a HRV statisztikai értékelésének is nevezik. Leginformatívabb jelzőszáma az RMSSD, amely a szív működés rövid távú változékonyságát tükrözi, és a vagus tónus jelzője.<sup>105</sup> Az SDNN és a vele szoros korrelációban lévő SDANN a szív működés hosszú távú változékonyságát tükrözik, és értéküket a szimpatikus és a paraszimpatikus idegrendszeri hatások egyaránt befolyásolják.

6. táblázat: Időtartományban számolt paraméterek

| Jelzőszám                | Meghatározás                                                                                 |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDNN (ms)                | Az R–R-távolságok teljes jelszakaszra számított szórása                                      |
| SDANN (ms)               | Az 5 perc alatt érzékelt R–R-távolságok átlagértékeinek szórása                              |
| SDNN <sub>index</sub>    | A teljes jelszakasz 5 perces szakaszai alatt érzékelt R–R-távolságok szórásainak átlagértéke |
| HR (min <sup>-1</sup> )  | A HR-értékek egy adott jelszakaszra számított átlaga                                         |
| STD (min <sup>-1</sup> ) | A HR-értékek szórása                                                                         |
| RMSSD (ms)               | A szomszédos R–R-távolságok különbségének négyzetgyöke                                       |
| NN50 count               | Az egymástól 50 ms-nál nagyobb mértékben eltérő R–R-távolságok száma                         |

E mutatók könnyen számíthatóak, azonban kevésbé informatív paraméterek a stressz vizsgálata szempontjából.<sup>106</sup> Az NN50 count értékei szoros összefüggésben állnak az RMSSD-jelzőszámmal, és humán vizsgálatokban jól mutatják a paraszimpatikus tónus változásait.

Az R–R-távolság különbségek teljesítményeloszlása a frekvencia függvényében a power-spektrum domain (PSD-) módszer; ez az eljárás először elvégzi az adatsorok lineáris interpolációját, majd ezeket az újrászámolt adatokat gyors Fourier-transzformáció (Fast Fourier Transformation, FFT) segítségével harmonikus összetevőire bontja, és frekvenciatartományban ábrázolja. Az R–R-távolságok négyzetében fejezi ki a teljesítményt, és a frekvenciatartományok teljes teljesítményhez való hozzájárulását százalékokban fejezi ki.<sup>107</sup>

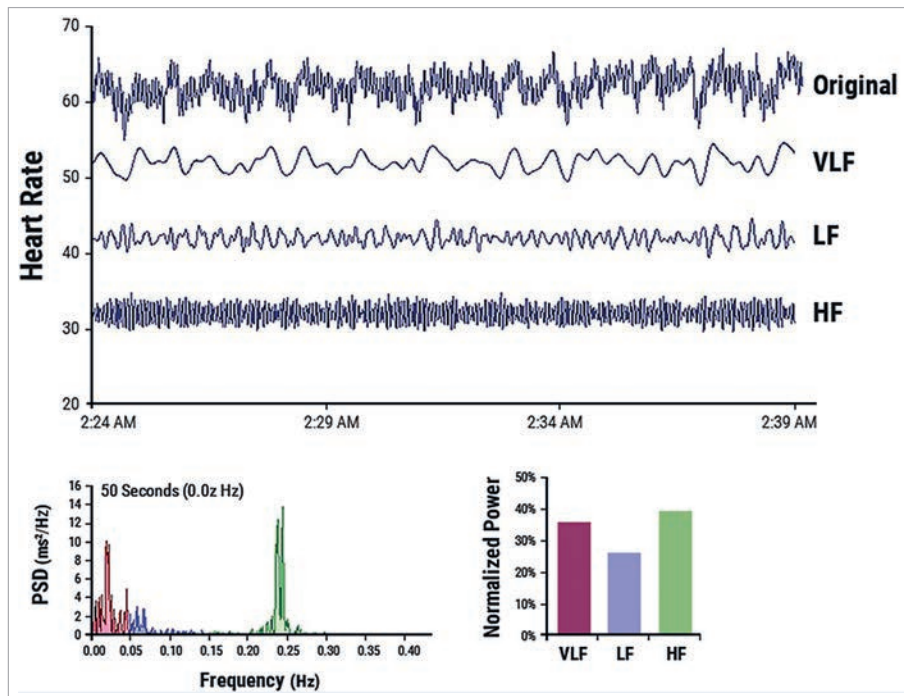
Az R–R-sorozat rövid távú ingadozásai a HRV-spektrum három tartományában pontosulnak. (19. ábra) A frekvenciaanalízis egy speciális formája a teljesítményanalí-

<sup>105</sup> J. L. Kanters et al.: Short- and long-term variations in non-linear dynamics of heart rate variability. *Cardiovascular Research*, 31. (1996), 400–409.

<sup>106</sup> E. von Borell et al.: Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals: a review. *Physiology and Behavior*, 92. (2007), 293–316.

<sup>107</sup> Varga-Pintér Barbara et al.: Chen-stílusú Taiji gyakorlók nyugalmi szívfrekvencia-variabilitása és edzés közben mért pulzusszám változása. *Sportorvosi Szemle*, 51. (2010), 4. 117–156. 123.

zis. Praktikussága miatt a rövid idejű felvételeket gyakrabban alkalmazzák, alaposabb vizsgálatra azonban a 24 órás felvétel alkalmasabb.



19. ábra: Teljesítményanalízis

Forrás: a szerző szerkesztése

A High Frequency (HF, nagy frekvenciájú)  $\geq 0,15$  változások, a légzésváltozásnak (légzési aritmia) köszönhetőek, és kizárólag a Vagus-tónus (X. agyideg) változásaiból adódnak, mivel a paraszimpatikus blokádnak (atropin) megszünteti a HF-csúcsot, míg alfa- vagy béta-blokkolók vagy a renin-angiotenzin blokádnak nem befolyásolják a HF-komponens értékét. A légzésszám változásával a szinusz aritmia megfelelően a spektrális értékek is változnak, azaz a HF kisebb légzésszámnál kisebb, nagyobb légzésszámnál nagyobb értéket vesz fel. Ezért az értékelésnél figyelembe kell venni a percnkénti légzésszámot is.

A Low Frequency (LF, alacsony frekvenciájú) sáv 0,004–0,15 Hz, ami az artériás nyomás változása miatt alakul ki; kimutatták azt is, hogy az LF-mutató a vérnyomás periodikusan jelentkező úgynevezett Mayer-hullámain tükrözi az R–R-sorozatban<sup>108</sup> a vérnyomás szabályozásában szerepet játszó baroreflex révén.<sup>109</sup> Az LF változásait a szimpatikus és paraszimpatikus hatások együtt alakítják.

<sup>108</sup> K. F. Morris et al.: Respiratory and Mayer wave-related discharge patterns of raphé and pontine neurons change with vagotomy. *Journal of Applied Physiology*, 109. (2010), 189–202.

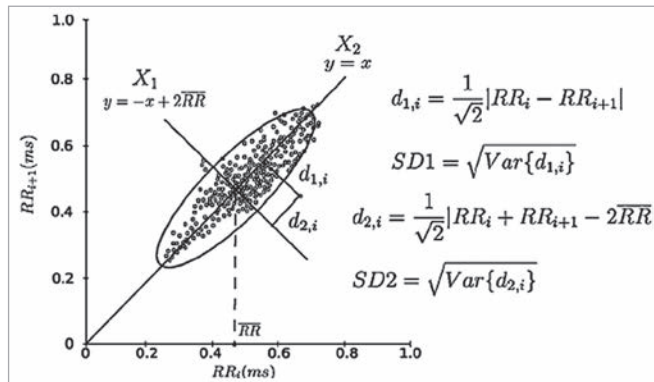
<sup>109</sup> R. I. Kitney et al.: Transient interactions between blood pressure, respiration and heart rate in man. *Journal of Biomedical Engineering*, 7. (1985), 217–224.

A Very Low Frequency (VLF, nagyon alacsony frekvenciájú) sáv  $\leq 0,04$  Hz, a perifériás vazomotoros aktivitásnak köszönhető, változásait szintén a szimpatikus és paraszimpatikus hatások együtt alakítják.

Az LF-HF arány a két rendszer aktuális viszonyát mutatja, így a vegetatív egyensúlyra utal.

### Geometriai elemző módszer

A HRV Poincaré-grafikonnal való elemzése az úgynevezett geometriai elemző módszerek egyike. Eredményességét és pontosságát nem befolyásolja a rögzített adatok minősége, ezért jó alternatívája az olykor nehezebben értelmezhető, idő- vagy frekvenciatartományban számított paramétereknek.<sup>110</sup> A grafikon minden R–R-távolsághoz az azt követő R–R-távolságot rendeli hozzá. Elemzésének egyik leggyakrabban alkalmazott módja az ellipszisteknika, amely során az ellipszist az úgynevezett azonosság-egyenesre (az X és az Y tengely metszéspontjából kiinduló, azokkal  $45^\circ$ -os szöget bezáró egyenes) fektetjük (20. ábra). A pontok azonosságegyenesre merőleges szórásával (standard deviation 1, SD1) az R–R-távolságok rövid távú változékonysága írható le, amelyet a légzési aritmia okoz, és a paraszimpatikus tónus mutatója. Az azonosságegyenessel párhuzamos szórás (standard deviation 2, SD2) a szívműködés hosszú távú változékonyságát írja le, és a szimpatikus aktivitás jelzőszáma. Az SD2/SD1-mutató matematikailag egyenértékű az LF/HF-paraméterrel, és azzal szoros korrelációban van.<sup>111</sup>



20. ábra: HRV elemzése geometriai módszerrel

Forrás: Dos Santos et al. 2013 alapján<sup>112</sup>

<sup>110</sup> Michael Brennan – Marimuthu Palaniswami – Peter Kamen: Poincare plot interpretation using a physiological model of HRV based on a network of oscillators. *American Journal of Physiology*, 283. (2002), 1873–1886.

<sup>111</sup> Przemysław Guzik et al.: Correlations between the Poincaré plot and conventional heart rate variability parameters assessed during paced breathing. *Journal of Physiological Sciences*, 57. (2007), 1. 63–71.

<sup>112</sup> Laurita dos Santos et al.: Application of an automatic adaptive filter for heart rate variability analysis. *Medical Engineering Physics*, 35. (2013), 12.

### Nonlineáris elemző rendszer

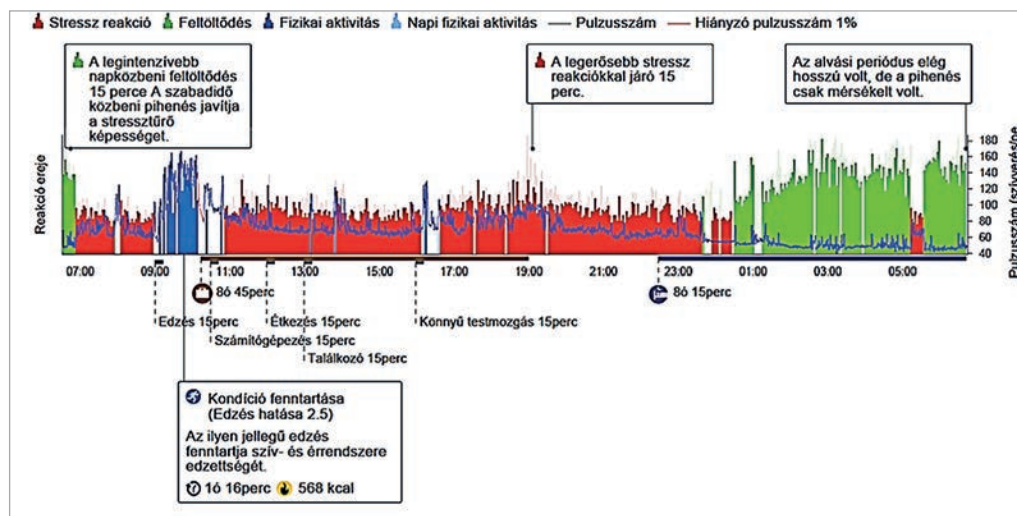
Mára már elfogadottá vált az a korábbi feltevés, hogy a HRV létrejöttében olyan nem-lineáris jelenségek is szerepet játszanak, amelyek kialakulásáért az összetett haemodinamikai, elektrofiziológiai és hormonális kölcsönhatásokban mutatkozó változékonyság éppúgy felelős, mint a vegetatív és központi idegrendszeri irányítás.<sup>113</sup> Ezen alkotóelemek elemző módszereit azonban még nem alkalmazzák általánosan, és a kapott eredmények értelmezése is vitatott.

### HRV mérésére alkalmas eszközök

Kifejezetten nyugalmi mérésekre alkalmasak az orvosi gyakorlatban használatos készülékek (Vicardio, Cardio Scan, Viport), amelyek szabványos EKG-felvétel mellett analizálják a szívfrekvencia-variabilitást (HRV). Az EKG mint időfüggvény, valamint a pulzusfrekvencia spektruma tájékoztat a szív pszichikai és fiziológiai terhelésének mértékéről, így detektálható az egyéni szív stressz faktor, amely megemelkedett stresszérték esetén felhívhatja a figyelmet a megelőzés fontosságára, életmód-tanácsadásra vagy orvosi konzultáció szükségességére. Szabadidő- és versenysportban nemcsak nyugalomban, hanem terhelések során is jól alkalmazhatók az egyes cégek (Polar, Garmin) által, a pulzusmérő órákhoz kifejlesztett HRV-analizáló szoftverek, amelyek különböző algoritmusok alapján offline módban számolják, értékelik és ábrázolják a kapott adatokat. Az adókészülék egy mellkasi hevederbe, míg a vevő rendszer egy karórába van beépítve, amelyet a mérések végén számítógéphez kell csatlakoztatni az eredmények megjelenítése és kiértékelése céljából.

Új generációs fejlesztés a finn Firstbeat Technology Ltd. „Bodyguard2” készülék. Akár 6 napig képes rögzíteni a szervezet fiziológiás jellemzőit. A mozgásszenzoros mérés eredményeként kétféle adatcsoport (állandó és változó) képződik. Az állandó (skaláris) adatok számított, elméletileg lehetséges értékek, és a szervezet fizikai képességeit, állapotát írják le, a változó adatok, a műszer által regisztrált, az aktuális testállapotot jellemző értékek másodpercenkénti bontásban. A nyers HRV-adatokat további feldolgozás céljából közvetlenül kiexportálhatók csv- vagy sdf-formátumokban. A hatalmas tömegű adatból különböző szintű aggregálással nyerhetők ki a leíró jellegű eredmények. Az elemzések során konzisztenciavizsgálatokat lehet végezni, azaz a mért adatokat összevethetjük és elemezhetjük a tevékenységnaplóban szereplő bejegyzésekkel. (21. ábra)

<sup>113</sup> Thomas, G. Farrell et al.: Risk stratification for arrhythmic events in post infarction patients based on heart rate variability, ambulatory electrocardiographic variables and signal averaged ECG. *Journal of American College of Cardiology*, 18. (1991), 3. 687–697.



21. ábra: Bodyguard2 elemző felülete

Forrás: a szerző szerkesztése

A „Bodyguard2” alkalmas több személy egyidejű monitorozására, real time analízis végzésére, speciális terhelési igények kiszolgálására.

## HRV edzettségi mutatói

Egy kísérleti edzőtáborban a reggelente megismételt HRV-analízis alapján szabták meg az aznapi edzésterhelést, törekedve az értékek visszaállására a kiindulási szintre. Az ily módon edzett sportolók aerob kapacitása és teljesítőképessége nagyobb mértékben fejlődött, mint az előre elkészített edzéstervet teljesítőké.<sup>114</sup>

A különböző szupramaximális (anaerob) edzésfajták eltérő HRV-képet mutatnak.<sup>115</sup> Az egyenletes és az intervall terhelések az intenzitástól is függően akár fél óráig elhúzódó és némileg különböző változásokat váltottak ki a futókon, az azonos intenzitású folyamatos terhelést nagyobb mérvű eltolódás jellemezte, mint a szakaszos futást.<sup>116</sup>

A „klasszikus” küszöbök megállapítása a HRV révén még igazolásra szorul, noha élettani megfontolások és tapasztalások mutatják, hogy a vagus aktivitás megszűnik egy bizonyos terhelésintenzitás felett, de ezt helyesebb vagustónusküszöbnek nevezni.<sup>117</sup>

<sup>114</sup> Anti M. Kiviniemi et al.: Endurance training guide individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal Applied Physiology*, 101. (2007), 6. 743–751.

<sup>115</sup> M. Buchheit et al.: Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40. (2008), 2. 362–371.

<sup>116</sup> P. Kaikkonen – J. Rusko – K. Martinmaki: Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scandinavian Journal of Medicine in Science and Sports*, 18. (2008), 4. 511–519.

<sup>117</sup> Apor Péter – Petrekanich Máté – Számadó Júlianna: HRV-analízisről a sportban és a klinikumban. *Orvosi Hetilap*, 150. (2009), 18. 847–853.

A túledzés diagnózisa, jellemzése élettani mutatókkal ma sem megoldott feladat. *Borresen és Lambert* a HRV-mutatók terhelés utáni megnyugvásának sebességét tartják ígéretes információnak az edzésvezetésben.<sup>118</sup>

## Összefoglalás

A fizikai képességek nagy hármásában (erő-gyorsaság-állóképesség) gyakran túlhangsúlyozzuk a repülés extrém munkakörülményei között az állóképesség jelentőségét, pedig a pillanatnyi, reflexszinten megvalósuló, szív-érrendszeri reakciók, koordinált izommozgások (Valsalva- és anti-G feszítési manőver) a gyorsaság és erőkomponensek adaptív fejlesztését is megkövetelik. Fentiek edzése-javítása a teljesítménydiagnosztika komplex eszközrendszerének alkalmazását indokolja, a szimulált repülésélettani stresszszortényezők (hypoxia, túlterhelés) expozíciója mellett. A pillanatnyi fizikai teljesítő-képesség jelentősége a repülésbiztonság szempontjából vitathatatlan, személyi hibára predisponáló tényezők egész csoportjánál a hirtelen cselekvőképtelenség oki tényezője. A repülés mint magasan fejlett, technicizált, három dimenziós mozgási képesség és lehetőség megköveteli a magas szintű aerob teljesítményt is (mint biztos biológiai-élettani háttérrel), de egyelőre úgy tűnik – a levegőnél nehezebb repülőeszközök fejlődésének evolúciós távlatban röpké 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 összetett lehet, amelyhez referenciaként a teljesítmény- (sport-) diagnosztikai eljárások, a noninvazíve monitorizálható keringési paraméterek adatbázisával fontos alapot jelent. Oxigénhiány (és/vagy túlterhelés) okozta agyi keringészavar és romló perifériás oxigénhasznosulás, romló szív-pumpafunkció mellett azonban a „földi” állóképesség fokozottan sérülékeny, instabil. Az aerob kapacitás, illetve a futási teljesítmény túlzásba vitele kedvezőtlen hatású is lehet, a pillanatnyi keringési perctérfogat és agyi vérátáramlás biztosítása szempontjából.

Fentiek alapján hangsúlyozom az egyéni repülőorvosi kiképzés fontosságát: stabil, magas szintű 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 stresszszortényezőkkel szemben a speciális stressztűrő képességet fejleszteni, mind jobban közelítve a valós bevetés/végrehajtás körülményeihez. (Train as fight, fight as train – azaz: Képezd ki, ahogy harcol, harcolj úgy, ahogy (és amire) ki vagy képezve).

Az orvostudomány fejlődése számos új módszer megszületését, technikai lehetőségeink bővülését eredményezi, amelyeket nemcsak a beteg gyógyításban, de a diagnosztikában és a szűrővizsgálatokban is tudunk alkalmazni, csak meg kell találni a megfelelő javallatot, klinikai indikációs kört.

<sup>118</sup> Jill Borresen – Michael I. Lambert: Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Medicine*, 38. (2008), 8, 633–646.

## Felhasznált irodalom

- 10/2015. (VII. 30.) HM rendelet a katonai szolgálatra való egészségi, pszichikai és fizikai alkalmasságról, valamint a felülvizsgálati eljárásról
- 1178/2011 Regulation (Európai Unió Rendelete), Annex IV. PartMed.
- Ács Tibor: Jubilál a Magyar Tudományos Akadémia Hadtudományi Bizottsága. *Hadtudomány*, (2004), 3–4.
- Ádám Veronika: *Orvosi biokémia*. Budapest, Medicina, 2001.
- Aigner, Alfred: *Sportmedizin in der Praxis*. Springer-Verlag, 1986. Online: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-09978-0>
- Ainslie, P. N. – J. Duffin: Integration of cerebrovascular CO<sub>2</sub> reactivity and chemoreflex control of breathing: mechanisms of regulation, measurement, and interpretation. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 296. (2009), R1473–R1495. Online: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.91008.2008>
- Apor Péter – Petrekanih Máté – Számadó Júlianna: HRV-analízisről a sportban és a klinikumban. *Orvosi Hetilap*, 150. (2009), 18. 847–853. Online: <https://doi.org/10.1556/OH.2009.28605>
- Balogh Péter: *Bevezetés a sportdiagnosztikába*. Debrecen, Campus, 2015. Online: [sportestudo-many.unideb.hu/wp-content/uploads/.../Bevezetés-a-sportdiagnosztikába.pdf](http://sportestudo-many.unideb.hu/wp-content/uploads/.../Bevezetés-a-sportdiagnosztikába.pdf)
- Bell, D. G. – I. Jacobs: Combined caffeine and epinephrine ingestion improves run times of Canadian Forces Warrior Test. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 4. 325–329.
- Bernardi, M. – F. Felici – M. Marchetti – P. Marchettoni: Cardiovascular load in off-shore sailing competition. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 30. (1990), 2. 127–31.
- Borell von, E. – J. Langbein – G. Després – S. Hansen – C. Leterrier – J. Marchant-Forde – R. Marchant-Forde – M. Mindero – E. Mohr – A. Prunier – D. Valence – I. Veissier: Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals: a review. *Physiology and Behavior*, (2007), 92. 293–316. Online: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.01.007>
- Borresen, Jill – Michael I. Lambert: Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Medicine*, 38. (2008), 8. 633–646. Online: <https://doi.org/10.2165/00007256-200838080-00002>
- Brennan, Michael – Marimuthu Palaniswami – Peter Kamen: Poincare plot interpretation using a physiological model of HRV based on a network of oscillators. *American Journal of Physiology*, 283. (2002), 1873–1886. Online: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00405.2000>
- Buchheit, M. – G. P. Millet – A. Parisy – S. Pourchez – P. B. Laursen – S. Ahmaidi: Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40. (2008), 2. 362–371. Online: <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815aa2ee>
- Calbet, J. A. – R. Boushel – G. Radegran – H. SØndergaard – P. D. Wagner – B. Saltin: Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 284. (2003), 2. R291–303. Online: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00155.2002>
- Carney, Robert M. – Kenneth E. Freedland: Depression and heart rate variability in patients with coronary heart disease. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 76. (2009), 2. 13–17. Online: <https://doi.org/10.3949/ccjm.76.s2.03>

- Chan, KM – Lyle Micheli – Angela Smith – Christer Rolf – Norbert Bachl – Walter Frontera – Talia Alenabi (eds.): *F.I.M.S. Team physician manual*. 2nd edition. Karger, 2006.
- Chappelle, Wayne – Kent McDonald – Raymond E. King: *Psychological attributes critical to the performance of MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper US Air Force sensor operators*. (No. AFRL-SA-BR-TR-2010-0007). Air Force Research Lab Brooks City-Base TX Human Performance Wing (711TH). 2010.
- Chappelle, Wayne – Kent McDonald – Katharine McMillan: *Important and critical psychological attributes of USAF MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper pilots according to subject matter experts*. Ohio, Wright-Patterson AFB, 2011. Online: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a545552.pdf>
- Clifford, P. S. – B. Hanel – N. H. Secher: Arterial blood pressure response to rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26. (1994), 6. 715–719. Online: <https://doi.org/10.1249/00005768-199406000-00010>
- Davis, Jeffrey R. – Robert Johnson – Jan Stepanek – Jennifer A. Fogarty: *Fundamentals of aerospace medicine*. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2008.
- Dos Santos, Laurita – Joaquim J. Barroso – Elbert E. N. Macau – Moacir Fernandes Godoy: Application of an automatic adaptive filter for heart rate variability analysis. *Medical Engineering Physics*, 35. (2013), 12. Online: <http://dx.doi.org/10.1016/j.medengphy.2013.07.009>
- Driss, Tarak – Henry Vandewalle: The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: A critical review. *BioMed Research International*, 2013. Online: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/589361>
- Dubecz József: *Általános edzésmélet és módszertan*. Budapest, Rectus Kft., 2009.
- Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótanélküli légijárművek műveleteiben. *Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia*, 25. (2013), 2. 314.
- Dunai Pál: Túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség növelése a fizikai felkészítés eszközeivel. *Repüléstudományi Közlemények*, 10. (1998), 25. 17–23.
- Eleki Zoltán: *A katonákkal szemben támasztott fizikai követelményrendszer határfokának vizsgálata*. PhD-értekezés. ZMNE, 2004.
- Epperson, W. L. – R. R. Burton: The effectiveness of specific weight training regimes on simulated aerial combat manoeuvre G tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 56. (1985), 6. 534–539.
- Ernsting, John (ed.): *Aviation medicine*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000.
- „Eyes of the Army”. *US ARMY roadmap for unmanned aircraft systems 2010–2035*. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama. Online: <https://fas.org/irp/program/collect/uas-army.pdf/>
- Farrell, Thomas G. – Yaver Bashir – Tim Cripps – Marek Malik – Jan Poloniecki – E. David Bennett – David E. Ward – A. John Camm: Risk stratification for arrhythmic events in post infarction patients based on heart rate variability, ambulatory electrocardiographic variables and signal averaged ECG. *Journal of American College of Cardiology*, 18. (1991), 3. 687–697. Online: [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(91\)90791-7](https://doi.org/10.1016/0735-1097(91)90791-7)
- FM 21-20 US Army. Az amerikai szárazföldi haderő testnevelési szakutasítása.
- Fonyó Attila: *Az orvosi élettan tankönyve*. Budapest, Medicina, 2011.
- Frenkl Róbert: *Sportélettan*. Budapest, Magyar Testnevelési Egyetem, 1995.
- Gemser, Henk – Jos de Koning – Gerrit Jan van Ingen Schenau: *Handbook of competitive speed skating*. Lausanne, Switzerland, International Skating Union, 1999.

- Guzik, Przemysław – Jarosław Piskorski – Tomasz Krauze – Raphael Schneider – Karel H. Wesseling – Andrzej Wykretowicz – Henryk Wysocki: Correlations between the Poincaré plot and conventional heart rate variability parameters assessed during paced breathing. *Journal of Physiological Sciences*, 57. (2007), 1. 63–71. Online: <https://doi.org/10.2170/physiolsci.RP005506>
- Györe István: A teljesítménydiagnosztikai vizsgálatok célja, eredmények felhasználása az edzői munkában. *Magyar Edző*, 11. (2008), 2. 47–49.
- Harsányi László: *Edzéstudomány I.* Budapest–Pécs, Dialóg Campus, 2000.
- Hartmann, U. – J. Mester: Training and overtraining markers in selected sport events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32. (2000), 1. 209–215. Online: <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00031>
- Heck, H. – A. Mader – G. Hess – S. Mücke – R. Müller – W. Hollmann: Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6. (1985), 3. 117–130. Online: <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025824>
- Hildebrand, Jesse Richardson: Man's amazing progress in conquering the air. *National Geographic Magazine*, 46. (1924), 112.
- Hoffman, J. R. – A. Kahana – L. Chapnik – A. Shamiss – B. Davidson: The relationship of physical fitness on pilot candidate selection in the Israel Air Force. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 2. 131–134.
- Hultgren, H. N.: High altitude medical problems. In E. Rubenstein – D. D. Federman (eds.): *Scientific American Medicine*. New York, Scientific American Inc, 1990. 1–13.
- Humphreys, P. W. – A. R. Lind: The blood flow through active and inactive muscles of the forearm during sustained hand-grip contractions. *Journal of Physiology*, 166. (1963), 1. 120–135. Online: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1963.sp007094>
- Huss, Rick: *Fatigue risk management*. 2010. május 11. ASMA konferencia.
- Jákó Péter – Martos Éva – Pucsek József: *A sportorvoslás alapjai*. Print City, 1998.
- Jones, N. L.: Hydrogen ion balance during exercise. *Clinical Science*, 59. (1980), 2. 85–91. Online: <https://doi.org/10.1042/cs0590085>
- Kaikkonen, P. – J. Rusko – K. Martinmaki: Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scandinavian Journal of Medicine in Science and Sports*, 18. (2008), 4. 511–519. Online: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00728.x>
- Kanters, J. L. – M. V. Hojgaard – E. Agner – N. H. Holstein-Rathlou: Short- and long-term variations in non-linear dynamics of heart rate variability. *Cardiovascular Research*, 31. (1996), 400–409. Online: [https://doi.org/10.1016/S0008-6363\(95\)00085-2](https://doi.org/10.1016/S0008-6363(95)00085-2)
- Kitney, R. I. – T. Fulton – A. H. McDonald – D. A. Linkens: Transient interactions between blood pressure, respiration and heart rate in man. *Journal of Biomedical Engineering*, 7. (1985), 217–224. Online: [https://doi.org/10.1016/0141-5425\(85\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0141-5425(85)90022-6)
- Kiviniemi, Anti M. – Arto J. Hautala – Hannu Kinnunen – Mikko P. Tulppo: Endurance training guide individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 101. (2007), 6. 743–751. Online: <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0552-2>
- Kleiger, R. E. – J. P. Miller – J. T. Bigger Jr. – A. J. Moss: Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *American Journal of Cardiology*, 59. (1987), 4. 256–262. Online: [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(87\)90795-8](https://doi.org/10.1016/0002-9149(87)90795-8)
- Kovács Levente: *Akut és krónikus stressz vizsgálata tejelő teheneken a szívritmus változékonyság meghatározásával*. PhD-értekezés, Gödöllő, 2014.

- Kovács Péter: *Terhelés- és teljesítmény-élettani mutatók vizsgálata a Magyar Honvédség és a civil szféra hadrafoghatóság szempontjából érintett területein*. PhD-értekezés, ZMNE, 2005. Tézisek.
- Landau, Dan-Avi – Leah Chapnick – Nechemia Yoffe – Bella Azaria – Liav Goldstein – Eli Atar: Cervical and lumbar MRI findings in aviators as a function of aircraft type. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 77. (2006), 11. 1158–1161.
- Lee, L. – N. Wesensten: Fatigue risk mitigation in UAS operations. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 81. (2010), 3.
- Lopez, Todd: Air Force Print News, 8/18/2003 – Washington. [www.af.mil](http://www.af.mil)
- McCaffrey, Noel: *Overtraining* (PowerPoint-bemutató). Online: <https://slideplayer.com/slide/6532166/>
- Medical Fitness for Expeditionary Missions: *A NATO Guide for assessing deployability for military personnel with medical conditions*. Task Group 174, Human Factors and Medicine Panel. Online: [www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA587362](http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA587362)
- Mitchell, J. H.: J. B. Wolffe memorial lecture. Neural control of the circulation during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22. (1990), 2. 141–54.
- Morgan, W. P. – D. R. Brown – J. S. Raglin – P. J. O'Connor – K. A. Ellickson: Psychological monitoring of overtraining and staleness. *British Journal of Sports Medicine*, 21. (1987) 3. 107–114. Online: <https://doi.org/10.1136/bjism.21.3.107>
- Morris, K. F. – S. C. Nuding – L. S. Segers – D. M. Baekey – R. Shannon – B. G. Lindsey – T. E. Dick: Respiratory and Mayer wave-related discharge patterns of raphé and pontine neurons change with vagotomy. *Journal of Applied Physiology*, 109. (2010), 189–202. Online: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01324.2009>
- Mulrine, Anne: Drone pilots: Why war is also hard for remote soldiers? *The Christian Science Monitor*, 2012. február 28. Online: [www.csmonitor.com/USA/Military/2012/0228/Drone-pilots-Why-war-is-also-hard-for-remote-soldiers](http://www.csmonitor.com/USA/Military/2012/0228/Drone-pilots-Why-war-is-also-hard-for-remote-soldiers)
- Nádori László: *Az edzés elmélete és módszertana*. Budapest, Sport, 1981.
- Neuhaus, Christopher – Jochen Hinkelbein: Cognitive responses to hypobaric hypoxia: implications for aviation training. *Psychology Research and Behavior Management*, 7. (2014), 297–302. Online: <https://doi.org/10.2147/PRBM.S51844>
- Newman, David – S. W. White – R. Calister: Patterns of physical conditioning in Royal Australian Air Force F/A-18 pilots and the implications for +Gz tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 8. 739–744.
- Pelliccia, A. – B. J. Maron – F. Culasso – A. Spataro – G. Caselli: Upper limits of physiologically induced left ventricular cavity enlargement due to athletic training. *Circulation*, 90. (1994), 1165. Online: <https://doi.org/10.1249/00005768-199505001-01078>
- Pelliccia, Antonio – Antonio Spataro – Giovanni Caselli – Barry J. Maron: Absence of left ventricular wall thickening in athletes engaged in intense power training. *American Journal of Cardiology*, 72. (1993), 14. 1048–1054. Online: [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(93\)90861-6](https://doi.org/10.1016/0002-9149(93)90861-6)
- Perényi Szilvia – Petridis Leonidas: *Bevezetés a sporttudományokba*. Debrecen, Campus, 2015.
- Petridis Leonidas: *A sportteljesítmény fizikai összetevőinek diagnosztikája*. Debrecen, Debreceni Egyetem, 2015.
- Randy Russell – Alastair Reid – Guy Borgers – Henry Wassink – Andreas Grove – David W. Niebuhr: Medical fitness for expeditionary missions: A NATO Guide for assessing deployability for military personnel with medical conditions. *Military Medicine*, 179. (2014), 12. 1404–1411. Online: <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-14-00113>

- Reeb, C. – M. Eisl – A. Schwab: *PC-based flight simulator experience as a predictor for success in the German Armed Forces pilot aptitude test battery*. 2010. május 11, ASMA konferencia (Phoenix, Arizona) előadása.
- Robergs, Robert A. – Farzenah Ghiasvand – Daryl Parker: Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287. (2004), 3. R502–R516. Online: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00114.2004>
- Robergs, Robert A. – Steven J. Keteyian: *Fundamentals of exercise physiology: For fitness, performance, and health*. Boston, McGraw-Hill, 2003.
- Robergs, Robert A. – Scott O. Roberts: *Exercise physiology. Exercise, performance, and clinical applications*. Mosby-Year Book, 1997.
- Robert E. van Patten: G-Lock and the Fighter Jock. *Air Force Magazine*, Oct. 1, 1991. Online: [www.airforcemag.com/article/1091glock/](http://www.airforcemag.com/article/1091glock/)
- Smith, Adrian: Hypoxia symptoms reported during helicopter operations below 10,000 ft: a retrospective survey. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76. (2005), 8. 794–799.
- Solberg, Geir – Bjørn Robstad – Ole Henning Skjønberg – Fredrik Borchsenius: Respiratory gas exchange indices forestimating the anaerobic threshold. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4. (2005), 1. 29–36.
- 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. Online: [https://nso.nato.int/protected/nsdd/\\_CommonList.html](https://nso.nato.int/protected/nsdd/_CommonList.html)
- Stein, P. K. – P. P. Domitrovich – H. V. Huikuri – R. E. Kleiger: Traditional and nonlinear heart rate variability are each independently associated with mortality after myocardial infarction. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, 16. (2005) 1. 13–20. Online: <https://doi.org/10.1046/j.1540-8167.2005.04358.x>
- Szabó Sándor András: UAV (pilóta nélküli légi jármű) műveletek virtuális környezetben, Kutatói jelentés III., Nemzeti Közszolgálati Egyetem, TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata.
- Szabó Sándor András: *A katonai repülő-hajózó állomány repülőorvosi minősítése és kiképzése a NATO standardizációs egyezmények szellemében (Különös tekintettel a szív-érrendszeri adaptáció és readaptáció vizsgálatára komplex és szimulált repülési stressz környezetben)*. PhD-értekezés, ZMNE, 2009.
- Szabó Sándor András: Brit repülőorvosi diploma tanfolyam tapasztalata, RAF Cranwell légi-bázis meglátogatása kapcsán, 1999. Online: [www.army.mod.uk/servingsoldier/condofserv/healthcare/PULHHEEMS](http://www.army.mod.uk/servingsoldier/condofserv/healthcare/PULHHEEMS)
- Szabó Sándor András: UAV (pilótánélküli légi jármű) műveletek humán tényezőinek elemzése repülés-biztonsági szempontból. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 2. klsz.
- Szőts Gábor: *Biokémia*. Budapest, Magyar Testnevelési Egyetem, 2005.
- Szportyivnaja Medicina*. Fizkultura I Szport, Moszkva, 1987.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93. (1996), 5. 1043–1065. Online: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Urhausen, Axel – Wilfried Kindermann: Diagnosis of overtraining: what tools do we have? *Sports Medicine*, 32. (2002), 2. 95–102. Online: <https://doi.org/10.2165/00007256-200232020-00002>

- Varga-Pintér Barbara – Petrekanits Máté – Kneffel Zsuzsanna – Tóth Miklós – Pavlik Gábor: Chen-stílusú Taiji gyakorlók nyugalmi szívfrekvencia-variabilitása és edzés közben mért pulzusszám változása. *Sportorvosi Szemle*, 51. (2010), 4. 117–156.
- Vogel, Roger: «Übertraining»: Begriffsklärungen, ätiologische Hypothesen, aktuelle Trends und methodische Limiten. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»*, 49. (2001), 4. 154–162.
- Вейднер-Дубровин Л. А. et al.: *Вопросы научного обоснования физической подготовки в Вооруженных Силах СССР*. ВДКИФКиС, Moszkva, 1964.
- Williams, Kevin W.: *An Assessment of pilot control interfaces for unmanned aircraft*. Federal Aviation Administration DOT/FAA/AM-07/8, Office of Aerospace Medicine Washington, DC 20591. Online: [www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200708.pdf](http://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200708.pdf)
- Young, Pearl – Bruce C. Frier – Leonard Goodman – James Duffin: Respiratory muscle training and performance of a simulated anti G strain manoeuvre. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78. (2007), 11. 1035–1041. Online: <https://doi.org/10.3357/ASEM.2048.2007>