

Objektív mérésekre alapozott terhelhetőség és teljesítményoptimalizálás a helikopterpilóta-képzés során

A helikopterpilóták képzésének fiziológiai, élettani méréseken alapuló optimalizálásának bemutatása újszerű megállapításokhoz vezet. A Készenléti Rendőrség Légirendészeti Szolgálatának kötelékébe jelentkező növendékek kiképzési ideje, módszertanunk segítségével 36 hónapról 18 hónapra csökkent.

Kulcsszavak: helikopter, pilótaképzés, teljesítményoptimalizálás, élettan

DOI: <https://doi.org/10.24228/kszt.2024.3.1>

Győri Gyula¹ – Tar Csenge² – Dr. Szűcs Botond³

¹Debreceni Egyetem, a Repülőmérnöki Kihelyezett Tanszék vezetője

²PHARMAFLIGHT Zrt., pszichológus

³PHARMAFLIGHT Zrt., biológus

e-mail: gyori.gyula@pharmaflight.hu, tar.csenge@pharmaflight.hu, szucs.botond@pharmaflight.hu

1. BEVEZETÉS

A légi közlekedés világszerte rendkívül intenzív fejlődésen, növekedésen megy át. A folyamat 2010 után kezdődött, és a 2019-2021-es Covid-19 időszakot leszámítva töretlenül zajlik. Az ICAO (International Civil Aviation Organization) prognózisa jelentős munkaerőhiányt vizionál, a következő 20 évben: 500 000 új pilótára, 622 000 karbantartó technikusra és 858 000 légiutas-kísérőre van szükség. Ennek biztosítása teljes körűen nem oldható meg, így a munkaerőhiány azokra a magasán képzett szakmákra is vonatkozik, amelyektől a légi közlekedési ágazat függ, beleértve a mérnökök, légiforgalmi irányítók és biztonsági ellenőrök munkaterületeit is (ICAO Assembly 40, 2019). A bemeneti követelmények csökkentése helyett véleményünk szerint más megközelítést kell alkalmazni: a meglévő kép-

zési módszereket át kell alakítani, meg kell támogatni olyan más területeken már bevált módszertanokkal, amelyeknek egyszerű gyakorlati kivitelezésük mellett erős szakirodalmi háttérük is van.

Úgy tűnik, hosszútávon a már megszokott képzési rendszereket át kell valamelyest alakítani, intenzívebbé kell tenni. Mivel a képzések a lehető legnagyobb tudásmennyiséget adják át és jelentős gyakorlati képzési szokásokat is magukban foglalnak, nagyon nagy terhelést jelentenek a résztvevők számára. További fejlesztést a humán oldalról megközelítve lehet viszonylag könnyen megtenni: a mostani képzési rendszerben csak felületesen vesszük figyelembe a résztvevők egyéni teljesítőképességét, de optimalizálása jelentős szerepet játszhat a megnövekedett képzési terhelésben. Részben ennek a kihívásnak az objektív mérésen alapuló módszertanát dol-

gozzuk ki az ICAO támogatásával és együttműködésével a PHARMAFLIGHT Tudományos Központban.

Ennek a módszertannak és megközelítési módnak a gyakorlati megvalósítását adaptáltuk a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Kihelyezett Repülőmérnöki Tanszék indított Légijármű Üzemeltető Szakmérnök Szak helikopter pilóta képzésén résztvevő, a Készenléti Rendőrség állományába tartozó növendékek számára. A cél az volt, hogy a képzési időt a lehető legrövidebbre csökkentsük anélkül, hogy a képzési programból bármit is elhagynánk, a képzés bármelyik területén az elvárás szintjét csökkentenénk. Módszertanunk alapját az adta, hogy a résztvevő növendékek repülésélettani alapképességeit folyamatosan mértük. Az így kapott eredmények alapján skálázható terhelhetőségi szinteket határoztunk meg. A mérésekből származó objektív, egyéni adatok felhasználásával testreszabott javaslatokkal, életviteli tanácsokkal segítettük a résztvevők legoptimálisabb élettani állapotának folyamatos fenntartását, ezzel növelve a fizikai és mentális stressztűrő képességüket.

Az általunk vizsgált hallgatók „ab initio” kezdtek a képzést, tehát előzetes repülési tapasztalattal nem rendelkeztek. Valamennyien a rendőrség szolgálatában álltak, és rendelkeztek felsőfokú műszaki végzettséggel. A forgószárnyas légijármű-pilótává válás útja általában egyetemi oktatással és a repülés előtti elméleti képzéssel kezdődik, majd az alap- és a felsőfokú gyakorlati repülések tart (Carretta et al., 2014).

A légirendészeti szolgálati feladatok jelentősen eltérnek azoktól, amelyek civil repülés során merülnek fel, így a képzésük is nehezebb, olyan területeket is érint, amelyet a polgári repülés esetében nem. Fontos az is, hogy a rendőrségi pilótáknak időnként élettani teljesítőképességük határain kell működniük, és gyorsan és autonóm módon kell reagálniuk vészhelyzetekre. Ugyanakkor a polgári pilótákhoz hasonlóan a rutinfeladatok fő céljai közé tartozik, hogy lehetőleg minden repülés során ugyanolyan színvonalon vezessék a repülőgépet, betartsák a rutin üzemeltetési eljárásokat (Gradwellés Rainford, 2006).

2. MÓDSZEREK

A PHARMAFLIGHT Tudományos központ, a Debreceni Egyetem Repülőmérnöki Kihelyezett Tanszéke, valamint a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Légi- és Közúti Járművek Tanszékkel közösen alakította ki a képzési módszertant, amely alapján a résztvevő hallgatók 2017 szeptemberében kezdték meg tanulmányaikat. A képzésüket segítő nyugalmi élettani méréseket a képzés teljes 18 hónapos hossza során a PHARMAFLIGHT élettani laboratóriumában végeztük. A résztvevők nyilatkozatot írtak alá a hozzájárulásukról.

2.1. Hallgató adatok

A hallgatók demográfiai adatait az 1. táblázat mutatja. A résztvevő hallgatók mindegyike férfi volt, Class 1 repülő orvosi vizsgálatokon vett részt a jelentkezés előtt, nem voltak társbetegségeik.

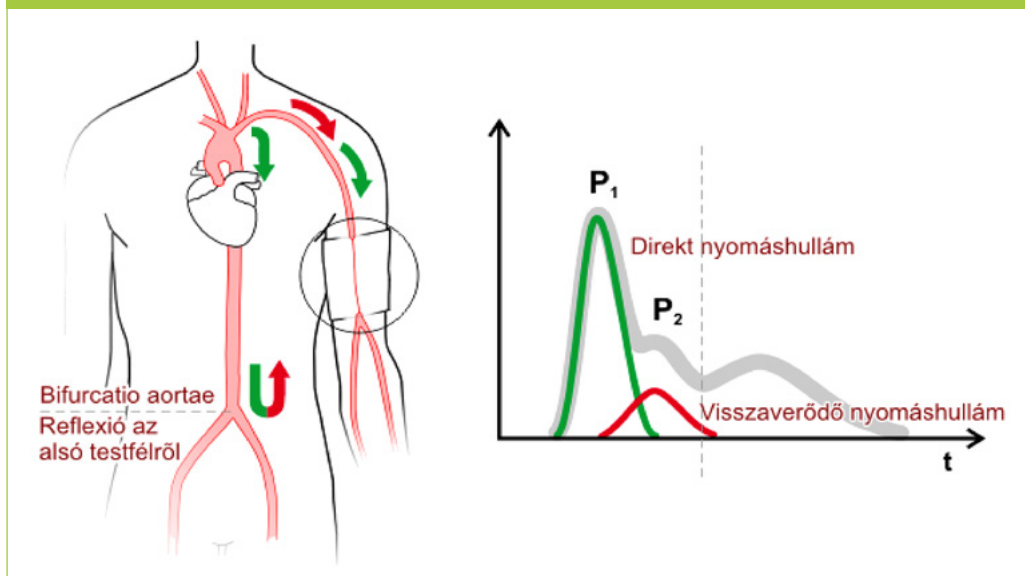
1. táblázat: A vizsgálatban részt vevő hallgatók demográfiai adatai (BMI - testtömeg-index)

N=12	szám vagy szöveg
Életkor (év)	30,47±5,39év
Férfi/Nő	12:0
BMI (kg/m ²)	24,99±6,98

2.2. A nyugalmi mérési protokoll és elemei

A nyugalmi mérések során a növendékek általános fizikai és mentális állapotát, fáradtság-szintjét vizsgáltuk. A mérés során olyan standardizált protokollt alkalmaztunk, amelynek elemei non-invazivak voltak. A mérések 15 perc hosszúak, nyugodt körülmények közt az erre kialakított helyiségben történtek, a szoba fény- és hő kontrollált volt. A hallgatók a mérés során hanyatt fekvé csukott szemmel relaxáltak. A cirkadián ritmus különbségének, illetve a napi aktivitás által okozott különbségek kizárására a vizsgált személyeket hétfőnként, a nap ugyanazon szakaszában, reggel 8 és 10 óra

1. ábra: Az Arteriograph működési elvének sémája. Az eszköz stop-flow módszerrel méri a felkaron a korai szisztolés hullám (P₁) és a reflektált szisztolés hullám (P₂) nyomásgörbéit (Horváth et al. 2010)



között mértük, a mérés előtt a fizikai aktivitás mellőzését kértük. A mérési folyamatok indítása előtt minden esetben legalább 3 perces csukott szemű relaxációra kértük a hallgatókat.

A hallgatóknak heti szinten tartottunk konzultációkat, ahol ismertettük velük eredményeiket, a heti oktatási tervüket. Ugyanakkor a résztvevőknek folyamatosan lehetőséget biztosítottunk a kommunikációra, bármikor kereshették kollégáinkat a képzési időszak alatt.

2.3. A keringési rendszer vizsgálata

A nyugalmi mérés során a keringési rendszer általános állapotának felmérésére Arteriograph-ot (TensioMed Kft., Magyarország) használtunk. Az Arteriograph oszcillometriás elven működik, invazív mérőeszközök által validálásra került (Baulman et al., 2008, Horváth et al., 2010). Az Arteriograph elemzi a bal felkaron elhelyezkedő mandzsetta által, a felkaron regisztrált pulzushullámokat, méri a szisztolés hullám és a reflektált szisztolés hullám nyomásgörbéit (Horváth et al., 2010) (1. ábra). A reflektált hullám a periféri-

áról, úgy tekinthetjük, az aorta bifurkációtól érkezik. Ennek a visszavert hullámnak az ismeretében többek között meghatározhatjuk a pulzushullám terjedési sebességet (PWVao), az augmentációs indexet (AIX), valamint a diasztolés területi indexet (DAI). A mérés során ezen kívül tradicionális vérnyomás (szisztolés és diasztolés), illetve pulzus adatokat is kapunk (Horváth et al., 2010) (1. ábra).

2.4. A központi idegrendszer vizsgálata

A mérés során szárazelektrodás EEG vizsgálatot végeztünk. A 6 perc alatt két 3-perces blokkban vizsgáltuk az agyhullámokat. A mérésekhez Muse fejpántot (SCR_014418) használtunk. A Muse egy kompakt, kutatások (Cannard – Wahbeh – Delorme, 2021) alapján validált mérőeszköz. Az adatok minősége az orvosi változatokhoz képest alacsonyabb lehet, azonban nem diagnosztikai eszközként, használata alátámasztott. Előnye, hogy hordozható, könnyen használható, segítségével gyors vizsgálatok végezhetők, alkalmazásának körülményei széles körűek, kevésbé meghatározottak (Krigolson et al., 2021).

Az agykérgi neuronok aktivitása elektromos feszültség-ingadozásokat okoz, az EEG hullámok ennek a több millió neuronnak egyidejű tevékenységéből adódnak. A különböző oszcillációkat frekvenciájuk alapján osztályozhatjuk. A nyugalmi méréseink során elsősorban az alfa-hullámok megjelenésére koncentrálnunk, ezek fizikailag kényelmes, mentálisan nyugodt, relaxált állapothoz köthetők, elsősorban lehunyt szemek mellett jelennek meg. Az alfa-aktivitásnak fontos szerepe van az emberi funkciók működésében: az optimális kognitív és pszichomotoros teljesítmény növeli, míg a rossz teljesítmény és a fáradtság csökkenti az alfa-hullámok amplitúdóját (Bazanov, 2012, in Kvaszingerné Pratner – Emri, 2018).

2.5. A perifériás idegrendszer állapotának meghatározása

A nyugalmi mérés során három-elvezetési EKG-t alkalmaztunk, amelynek mérési pontossága 1 kHz, elektródáit a végtagokon helyeztük el. A mérés pontosságának ellenőrzése miatt a mellkasra helyezett Polar H10-es (Polar Electro, Finnország) övekkel szintén rögzítettük az R csúcsok közt eltelt időt, a nyers adatok feldolgozására a szabad hozzáférésű Kubios szoftvert használtuk (Tarvainen et al., 2014).

Fizikai megterhelés, betegség, illetve stressz hatására változások mennek végbe a kardiovaszkuláris rendszerben. Ezeknek a szabályozásában az autonóm idegrendszernek van szerepe (Yugar et al, 2023). A szívbeidegzésében szintén az autonóm idegrendszer vesz részt, szimpatikus stimuláció hatására a szívritmus, valamint az összehúzódások intenzitása növekszik, ezzel szemben paraszimpatikus stimuláció hatására ezek csökkennek (Fagard et al., 1992). A szívfrekvencia variabilitásának (HRV) vizsgálatával tehát betekintést nyerhetünk a perifériás idegrendszer állapotába (Malik et. al, 1996; Fagard et al. 1992); megfigyelhetjük a szimpatikus és a paraszimpatikus rendszer működését, egyensúlyát; illetve a HRV szintén megbízható mutatója lehet különböző fiziológiai faktoroknak, amelyek modulálják a normál szívritmust (Archary

et al., 2006). A HRV ismert kardiovaszkuláris rizikó marker, illetve prediktor lehet neurológiai rendellenességek prognózisában is (Cygankiewicz – Zareba, 2013).

A HRV elemzés során mind az idő-, frekvencia tartomány, mind a nemlineáris Poincaré plot paraméterek elemzését elvégeztük.

2.6. A szöveti oxigenizáció vizsgálata

A nyugalmi vizsgálat részét képezi a vázizomzat kapillarizációjának, illetve a kapillárisban áramló vér oxigénszállító képességének vizsgálata is. Erre a célra, az izom, illetve a szöveti oxigenizáció mérésére, közel infravörös spektroszkópián (Near-Infrared Spectroscopy (NIRS)) alapuló, klinikailag validált (Crum et al., 2017) eszközt, a Moxxy Muscle Oxygen Monitort használtunk.

A Moxxy 680-800 nm hullámhosszú fényt használnál, négyrétegű modellt alkalmaz (epidermis, dermisz, hipodermisz, izomréteg). Ennek lényege, hogy a kibocsátott fény különböző sebességgel halad át, illetve verődik vissza a különböző szöveti rétegekből, így a terjedési sebesség, valamint a visszaverődés mértéke tud számunkra információt szolgáltatni. A Moxxy négyféle hullámhosszt használ egy mérés során, a visszaérkező fény olvasása 0,5 Hz-el történik (Feldman et al., 2019). Másik előnye az eszköz által használt hullámhossztartománynak, hogy lehetővé teszi az oxigént kötő (oxigenizált), illetve az oxigént nem kötő (dezoxigenizált) hemoglobinnal megkülönböztetését. A Moxxy tehát lehetővé teszi a vázizomzat kapillárisaiban történő oxigén-szaturáció követését. A mérés során százalékos számítást alkalmazunk (Grassi – Quaresima, 2016).

3. EREDMÉNYEK

A méréseinken alapuló teljesítmény- és terhelhetőségoptimalizálás eredményeként minden hallgató esetén a képzési idő 18 hónap volt. Valamennyi pilóta továbbra is a rendőrség kötelékén belül dolgozik. Ez tekinthető a legfőbb eredménynek. Amennyiben egyének szintjén szeretnénk értelmezni a hétről-hétre történő változásokat, rendkívül hosszú ismertetés szü-

2. táblázat: Az Arteriográf által mért paraméterek a képzés elején és végén.
(Sys- szisztolés vérnyomás; Dias- diasztolés vérnyomás)

Paraméter	KE	KU	p érték
Sys (Hgmm)	133,38 ± 22,15	126,48 ± 20,22	<0,001
Dias (Hgmm)	76,95 ± 14,37	75,4 ± 12,7	<0,001
Pulzus (bpm)	76,95 ± 14,37	72,53 ± 13,65	<0,05

3. táblázat: A szárazelektrodás EEG által mért alfa hullámok százalékos aránya a képzés elején és végén

Paraméter	KE	KU	p érték
Alfa hullám arány (%)	14,51 ± 2,79	14,56 ± 2,39	n.s.

4. táblázat: HRV eredmények. (p. max- p. min - maximális-minimális pulzuskülönbség, pNN50 - az 50 ms-nál távolabbi ütések aránya)

Paraméter	KE	KU	p érték
p. max- p. min (bpm)	18,78 ± 9,2	15,5 ± 9,01	<0,05
pNN50 (%)	7,33 ± 6,76	11,17 ± 5,24	<0,05

letne. A kezelhetőség érdekében megpróbáltuk a képzés elején (KE), az első mérés során kapott eredményeket, illetve a képzés végén (KU), az utolsó mérés során kapott eredményeket összehasonlítani.

3.1. A keringési rendszer állapotában történt változások

A szisztolés és diasztolés vérnyomás adatok, a nyugalmi pulzus adatok enyhe javulást mutattak. A vérnyomás adatok csökkentek, mint ahogy csökkent a pulzus is az oktatás végére. (2. táblázat).

A szisztolés és diasztolés vérnyomás adatok, a nyugalmi pulzus adatok szignifikáns javulást mutattak a képzés végén. Az AIX, PWVao, DAI értékek nem mutattak szignifikáns javulást, azonban egyének szintjén javuló tendenciát jeleztek a rendszeres teljesítményoptimalizáció eredményeképp.

3.2. A központi idegrendszer állapotában történt változások

A képzés teljes hossza során jelentős figyelmet szenteltünk az alfa-hullámok szinten tartására. A képzés végére a mért értékek nem mutattak ugyan szignifikáns javulást, azonban a nagy oktatási terhelés ellenére sem jeleztek csökkenő tendenciát, a rendszeres teljesítményoptimalizáció eredményeképp (3. táblázat).

3.3. A perifériás idegrendszer állapotában történt változások

A perifériás idegrendszer állapotában történt, szignifikáns változásokat a 4. táblázat foglalja össze.

A képzés végére csökkentek a minimum, átlag- és maximum pulzusértékek, mint ahogy csökkent a maximális-minimális pulzuskülön-

5. táblázat: NIRS eredmények. (SmO_2 min - minimális izom oxigenizációs szint, SmO_2 max - maximális izom oxigenizációs szint)

Paraméter	KE	KU	p érték
SmO_2 min (%)	42.6±12.60	54.8±14.32	<0.01
SmO_2 max (%)	98±20.51	90.1±14.33	<0.01

ség is. A változások a klinikai szignifikancia mértékét csupán a maximális-minimális pulzuskülönbségnél érték el. Az Stda és Stdb eredmények nem mutattak szignifikáns javulást. Egyének szintjén ugyan javuló tendenciát mutatnak az adatok. Fontos kiemelni, hogy a 12 résztvevő mindegyikénél növekvő szimpatikus túlsúly volt mérhető a képzés végén. A rehabilitáció eredményeként a pNN50 és LF/HF értékek is javuló tendenciát mutattak, a pNN50 eredmények elérték a klinikai szignifikancia szintjét. A hallgatók autonóm funkciója egyének szintjén pozitív irányba változott, ez a változás azért is fontos, mert a KE is viszonylag jó autonóm idegrendszeri státuszt mutattak.

3.4. A szöveti oxigenizációban történt változások

A képzés végére sem a tHB sem a SmO_2 nem mutatott szignifikáns javulást. Egyének szintjén azonban az összes mért SmO_2 szint javuló tendenciát mutat (5. táblázat).

A minimális izom oxigenizációs szint növekedett és a maximális izom oxigenizációs szint csökkent, mindkét változás elérte a klinikai szignifikancia szintjét.

4. MEGBESZÉLÉS

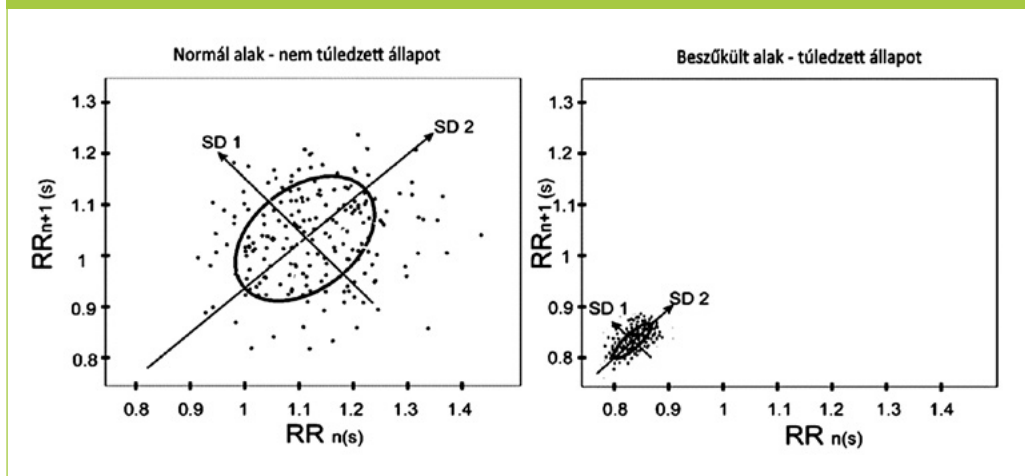
A kutatásunk során a Debreceni Egyetem Repülőmérnöki Kihelyezett Tanszékeként szoros együttműködésben a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Légi- és Közúti Járművek Tanszékével egy olyan mérési módszertant és protokollt szerettünk volna kialakítani, amely lehetővé teszi a helikopterpilóta-képzésben résztvevők oktatásának intenzívebbé tételét. A már meglévő és jól működő repülőorvosi rendszer mel-

lett létrehozottunk egy objektív mérési adatokon alapuló protokollt, amely a lehető legátfogóbb képet adva képes segíteni a képzési programban résztvevők terhelhetőségét, teljesítményét. Ezzel párhuzamosan a képzés során heti szinten változtattuk a résztvevőkre nehezedő oktatási terheket. A mérési módszertanokat úgy válogattuk össze, hogy egyének szintjén átfogó képet alkothassunk az élettani állapotokról, az abban bekövetkező változásokról.

Szociológiai, pszichológiai megoldások már léteznek a pilóták képességeinek mérésére, minősítésére, de ezek elsősorban a kiválasztásban játszanak szerepet (Breuer et al 2023, Bartram 2018). Az általunk kidolgozott módszertan a hallgatók képzésben tartására fókuszált, ehhez olyan élettani mutatókat mértünk, amelyek kívül esnek a pszichológia területén, és amelyeket a résztvevő személyek nem képesek tudatosan befolyásolni.

A szisztolés és diasztolés vérnyomás adatok, a nyugalmi pulzus adatok enyhe javulást mutattak. A vérnyomásértékek csökkentek, mint ahogy csökkent a pulzus is a képzés végére. Az AIX, PWVao, DAI értékek nem mutattak szignifikáns javulást, azonban egyének szintjén javuló tendenciát jeleztek. A keringési rendszerben mért változások elsősorban a hallgatóknak egyénre szabott edzésprogramok kialakításának köszönhető. Az edzésprogramok tervezésekor figyelembe vettük a hallgatók egyéni igényeit és az adott heti oktatási rendjüket is. A programot minden esetben a nyers adatokra támaszkodva, a hallgatókkal szorosan kommunikálva állítottuk össze, és heti szinten változtattuk. A szemeszterek kezdetén a hallgatók oktatáson vettek részt, ahol részletes tájékoztatást kaptak alap élettani állapotokról, valamint szemléltettük a mérési tervet is.

2. ábra: A Poincaré plot alakjának változása túlterhelés hatására. A túlterheltség beszűkült mutatókkal, csökkent RR változatossággal jár együtt. (SD2= stda; SD1= stdb; RR az ütések közt eltelt idő) (Mourot et al. 2011)



Egyes hallgatóknál nem mértünk változást a kardiovaszkuláris rizikót jelző értékben. Ezt a magas testtömeg indexszel magyarázhatjuk (Khan et al 2018). Ezek a hallgatók az eleve emelkedett BMI értékükből keveset vesztek a képzés során. Erre azért is figyeltünk, hogy a fogyás ne okozzon teljesítménycsökkenést a nagy terheléssel járó képzés miatt (Degoutte et al. 2006). Ugyanakkor szerettük volna, ha az elméleti képzés mellett erős hangsúly van a fizikális fejlesztésen is. Több tanulmány igazolta, hogy a helikopterpilóták esetén a nyak-, illetve gerinc melletti izmok erősítése jó hatással van a hosszú távú teljesítményükre (Murray et al. 2017).

A sportban, illetve nagy terheléssel járó munkaterületeken a regeneráció optimalizálásához szükség van a megfelelő monitorozási módszerek kialakítására, az alul-, illetve a túlzott terheltség elkerülése érdekében. A rutinban használt a módszerek vagy túl drágák, vagy túl komplikáltak a rendszeres használathoz. A szívfrekvencia variabilitás egyszerű eszközök segítségével mérhető, nem invazív mérési módszertan. Amiatt választottuk ezt a hallgatók állapotának követésére, mert kifejezi a jelentős megterhelés utáni főbb szabályzó folyamatokat (Buchheit et al. 2012, Hottenrott et al. 2012).

Egészséges embereknél általánosságban elmondható, hogy stressz hatására autonóm aktivációra következtethetünk az emelkedő LF/HF arányból. Rekreációs biciklizők vizsgálatai során a terhelés növekedésével az LF/HF arány nőtt, ami a szimpatikus hatás növekedésére és a paraszimpatikus hatás csökkenésére utal (Hottenrott et al. 2006). Az eredmények szerint azoknál az egyénknél, akik jobban bírják a terhelést szimpatikus predominancia tapasztalható. A kutatás eredményei alapján, a Poincaré plot alakjából különbség tehető a túlerőlt és a normális állapot között, a beszűkült stda/stdb értékkel rendelkező képet a túlerőlt állapot mutatja (Mourot et al. 2004) (2. ábra).

Ezekkel az eredményekkel párhuzamba állíthatók a képzés során általunk is tapasztalt csökkent HRV mutatók. Az stda és stdb érték csökkenése a csökkenő vagus aktivitás jele, amely globális autonóm funkció romlást eredményez (Hedelin et al. 2000), azaz jelentős, növekvő fáradtság mérhető ezekben az esetekben. Ezt elkerülendő, csökkent HRV adatok esetén változtattunk a hallgatók heti beosztásán, csökkentettük az oktatási terhelésüket.

A szívfrekvencia méréseink eredményei alapján kijelenthetjük, hogy a módszer egy költség-

hatékony lehetőséget jelent a fáradtság miatt a kardiovaszkuláris és autonóm modulációban jelentkező működési zavarok azonosítására. Rendszeres használata pedig lehetővé teszi a napi szintű állapotfelmérést és terheléskövetést, így alkalmas a túlterheltség felismerésére és csökkentésére. Azonban további eredményekre van szükség a jellemző túlterhelési profilok, járulékos képzési nehezítettségek, illetve az esetleges betegségek által okozott HRV mutatókban tapasztalható eltérések pontosabb azonosítása érdekében. Hosszú távú kutatási célunk a vizsgált populáció számbéli és minőségibeli szélesítése.

A szárazelektrodás EEG szenzor használatának a célja az volt, hogy kiderítsük a nyugalmi agyhullám paraméterek jelentőségét a kognitív funkciókban. Irodalmi áttekintésünk során azt találtuk, hogy az alpha frekvencia-tartományba eső oszcilláció jelentős szerepet bír, a legújabb kutatások szerint gátló és információszűrő funkciókat lát el (Klimesch et al. 2007). A neuronok folyamatos aktivitása révén a rögzített jel amplitúdója csökken. Ebben az állapotban az információfeldolgozás gyorsabb és pontosabb (Ergenoglu et al. 2004; Romei et al. 2010; Worden et al. 2000). Mindeközben fellépő neuron szinkronizáció feltehetőleg azon területek munkáját gátolja, amelyekre a feladat során nincs szükség. Az előzőleg említett kutatások alapján az alanyok és tesztek között is megjósolható a várható teljesítmény. Ennek alapján a kapott eredmények, amely szerint a képzés során nem tapasztaltunk jelentős változást az alfa hullám aktivitásban, azt jelzik, hogy a képzés kognitív terhelése hosszútávon fenntartható volt a résztvevők számára.

A szintén alkalmazott NIRS technológiát újdonsága miatt sok kérdés övezi, elsősorban a használt eszközök megbízhatóságával kapcsolatban. A NIRS technológiában megvan az a potenciál, hogy egyének szintjén objektíven mérhetővé és értelmezhetővé teszi a terhelésre adott fizikális válaszreakciókat (Ryan et al 2014), azonban a perifériás fáradás objektív mérése nehezen kivitelezhető (Denis et al 2011). Eredményeink és az irodalmi adatok alapján a jövőben az NIRS technológia hasz-

nálata segíthet a teljes munkaterhelés minősítésében, kiemelten fontos lehet ez az oktatás területén és fizikai rehabilitáció során is.

A jelenleg ismertetett eredmények közül a legfontosabb, hogy a teljesítmény monitorozási program eredményeként a helikopterpilóta-képzésben résztvevő hallgatók az előzetesen 36 hónapra tervezett képzést mindössze 18 hónap alatt végezték el. Oktatásuk során a teljes elméleti és gyakorlati anyagot magukévá tették, közben javultak a terhelhetőséget jellemző élettani paramétereik.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Acharya, U. Rajendra – Joseph, Paul – Kannathal, Natarajan – Lim, Choo Min – Suri, Jasjit (2006): Heart rate variability: a review. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 44:12, 1031 – 1051. DOI: <https://doi.org/d3z2qx>
2. Bartram D. (2018) Aptitude testing and selection in aviation R.A. Telfer (Ed.), *Aviation instruction and training*, Routledge, New York, NY DOI: <https://doi.org/mss3>
3. Basar, Erol – Basar-Eroğlu, Canan – Karakas, Sirel – Schürmann, Martin (1999): Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG? *Neuroscience Letters* 259, 165 – 168. PMID: 10025584 DOI: <https://doi.org/c6pp6m>
4. Baulmann, Johannes – Schillings, Ulrich – Rickert, Susanna – Uen, Sakir – Düsing, Rainer – Miklos Illyes – Attila Cziraki – Nickering, Georg – Mengden, Thomas (2008): A new oscillometric method for assessment of arterial stiffness: comparison with tonometric and piezo-electronic methods. *Journal of Hypertension* 26:3, 523 – 528. PMID: 18300864 DOI: <https://doi.org/d4d9pj>
5. Bazanova, Olga (2012): Comments for Current Interpretation EEG Alpha Activity: A Review and Analysis. *Journal of Behavioral and Brain Science* 2:2, 239 – 248. DOI: <https://doi.org/gpg7t8>
6. Breuer, Sonja – Ortner Tuulia M. – Gruber Freya M. – Hofstetter Daniel – Scherndl Thomas (2023) *Aviation and personality:*

- Do measures of personality predict pilot training success? Updated meta-analyses, Personality and Individual Differences, Volume 202, 2023, 111918, ISSN 0191-8869, DOI: <https://doi.org/ms78>
7. Buchheit M, Simpson MB, Al Haddad H, Bourdon PC, Mendez-Villanueva A. Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *Eur J Appl Physiol.* 2012 Feb;112(2):711-723. Epub 2011 Jun 9. PMID: 21656232. DOI: <https://doi.org/dq6x4b>
8. Cannard, Cédric – Wahbeh, Helané – Delorme, Arnaud (2021): Validating the wearable MUSE headset for EEG spectral analysis and Frontal Alpha Asymmetry, 2021 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), 2021 december 9-12, Houston, TX, USA, 3603 – 3610. o. DOI: <https://doi.org/ms79>
9. Carretta, T. R., Teachout, M. S., Ree, M. J., Barto, E. L., King, R. E., & Michaels, C. F. (2014). Consistency of the relations of cognitive ability and personality traits to pilot training performance. *The International Journal of Aviation Psychology*, 24(4), 247–264. DOI: <https://doi.org/ggxvvs>
10. Crum, E. M. – O'Connor W. J. – Van Loo, L. – Valckx, M. – Stannard, S. R. (2017): Validity and reliability of the Moxy oxygen monitor during incremental cycling exercise. *European Journal of Sport Sciences* 17:8, 1037 – 1043. DOI: <https://doi.org/ghg9pj>
11. Cygankiewicz, Iwona – Zabera, Wojciech (2013): Heart rate variability. in: *Handbook of Clinical Neurology* 117, 379 – 393. PMID: 24095141 DOI: <https://doi.org/gq9fbg>
12. Degoutte F, Jouanel P, Bègue RJ, Colombier M, Lac G, Pequignot JM, Filaire E. Food restriction, performance, biochemical, psychological, and endocrine changes in judo athletes. *Int J Sports Med.* 2006 Jan;27(1):9-18. PMID: 16388436. DOI: <https://doi.org/fr7pdj>
13. Denis R, Bringard A, Perrey S. Vastus lateralis oxygenation dynamics during maximal fatiguing concentric and eccentric isokinetic muscle actions. *J Electromyogr Kinesiol.* 2011 Apr;21(2): 276-282. Epub 2011 Jan 20. PMID: 21256047. DOI: <https://doi.org/d7n5r8>
14. Ergenoglu T, Demiralp T, Bayraktaroglu Z, Ergen M, Beydagi H, Uresin Y. Alpha rhythm of the EEG modulates visual detection performance in humans. *Brain Res Cogn Brain Res.* 2004 Aug;20(3):376-83. PMID: 15268915. DOI: <https://doi.org/d2srw3>
15. E. Evans (2019) How do I become a commercial airline pilot? Pilot career news URL: <https://www.pilotcareernews.com/how-to-be-a-pilot/>
16. Fagard, Robert H. (1992): Impact of different sports and training on cardiac structure and function. *Cardiology Clinics* 10:2, 241 – 256. PMID: 1576614. DOI: <https://doi.org/ms8c>
17. Feldmann A, Schmitz R W, Erlacher D, Near-infrared spectroscopy-derived muscle oxygen saturation on a 0% to 100% scale: reliability and validity of the Moxy Monitor J. *Biomed. Opt.* 24(11) 115001 (18 November 2019) DOI: <https://doi.org/gndnf4>
18. D. Gradwell, D. Rainford (Eds.), *Ernsting's aviation medicine*, Hodder Arnold, London, UK (2006)
19. Hedelin R, Kenttä G, Wiklund U, Bjerle P, Henriksson-Larsén K. Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Aug;32(8):1480-1484. PMID: 10949015. DOI: <https://doi.org/c3789n>
20. Horváth Iván G. – Németh Ádám – Lenkey Zsófia – Nicola Alessandri – Fabrizio Tufano – Kis Pál – Gaszner Balázs – Cziráki Attila (2010): Invasive validation of a new oscillometric device (Arteriograph) for measuring augmentation index, central blood pressure and aortic pulse wave velocity. *Journal of Hypertension* 28:10, 2068 – 2075. PMID: 20651604. DOI: <https://doi.org/fnm9zz>
21. Hottenrott K, Ludyga S, Schulze S. Effects of high intensity training and continuous endurance training on aerobic capacity and body composition in recreationally active runners. *J Sports Sci Med.* 2012 Sep 1;11(3):483-488. PMID: 24149357; PMCID: PMC3737930.
22. Hottenrott K, Hoos O, Esperer HD. Herzfrequenzvariabilität und Sport [Heart

- rate variability and physical exercise. Current status]. Herz. 2006 Sep;31(6):544-552. German. PMID: 17036185. DOI: <https://doi.org/c2c2td>
23. ICAO ASSEMBLY 40th session: Addressing the shortage of pilots and aviation professionals – a global approach to a global problem, 2019
24. https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/WP/wp_239_en.pdf
25. Khan SS, Ning H, Wilkins JT, Allen N, Carnethon M, Berry JD, Sweis RN, Lloyd-Jones DM. Association of Body Mass Index With Lifetime Risk of Cardiovascular Disease and Compression of Morbidity. JAMA Cardiol. 2018 Apr 1;3(4):280-287. PMID: 29490333; PMCID: PMC5875319. DOI: <https://doi.org/fvbk>
26. Krigolson, Olave E.- Hammerstorm, Mathew R. – Abimbola, Wande – Trska, Robert – Wright, Bruce W. – Hecker, Kent G. – Binsted, Gordon (2021): Using Muse: Rapid Mobile Assessment of Brain Preformance. Frontiers in Neuroscience 15. DOI: <https://doi.org/gnkw88>
27. Kvaszingerne Prantner, Csilla – Emri, Zsuzsanna (2018): Hogyan támogatható a tanulás vizsgálat Emotiv EPOC EEG eszközzel?, “A digitális átállás a tanulást élménnyé teszi” (Agria Média 2017 – XII. Információtechnikai és Oktatástechnológiai Konferencia és Kiállítás ICI-15 Nemzetközi Informatikai Konferencia Eger, 2017. október 11-13.), Eger, 157 – 165. o. DOI: <https://doi.org/ms8d>
28. Malik, Marek – Bigger, J. Thomas – Camm, A. John – Kleiger, Robert E. – Malliani, Alberto – Moss, Arthur J. – Schwartz, Peter J. (1996): Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. European Heart Journal 17:3, 354 – 381. PMID: 8737210. DOI: <https://doi.org/b7sh>
29. Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Cappelle S, Henriët MT, Wolf JP, Rouillon JD, Regnard J. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. Clin Physiol Funct Imaging. 2004 Jan;24(1):10-18. PMID: 14717743. DOI: <https://doi.org/fdr3xq>
30. Murray M, Lange B, Nørnberg BR, Sogaard K, Sjøgaard G. Self-administered physical exercise training as treatment of neck and shoulder pain among military helicopter pilots and crew: a randomized controlled trial. BMC Musculoskelet Disord. 2017 Apr 7;18(1):147. PMID: 28388892; PMCID: PMC5383986. DOI: <https://doi.org/f93sfm>
31. Reference Values for Arterial Stiffness' Collaboration. (2010): Determinants of pulse wave velocity in healthy people and in the presence of cardiovascular risk factors: 'establishing normal and reference values'. European Heart Journal 31:19, 2338 – 2350. PMID: 20530030 DOI: <https://doi.org/dzhcfc>
32. Romei, Vincenzo & Gross, Joachim & Thut, Gregor. (2010). On the Role of Prestimulus Alpha Rhythms over Occipito-Parietal Areas in Visual Input Regulation: Correlation or Causation?. The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience. 30. 8692-7. DOI: <https://doi.org/dg279j>
33. Ring, Margareta – Eriksson, Maria Jolanta – Zierath, Juleen Rae – Caidahl, Kenneth (2014): Arterial stiffness estimation in healthy subjects: a validation of oscillometric (Arteriograph) and tonometric (SphygmoCor) techniques. Hypertension Research, 37, 999 – 1007. PMID: 25056681. DOI: <https://doi.org/f25kgw>
34. Ryan TE, Brophy P, Lin CT, Hickner RC, Neuffer PD. Assessment of in vivo skeletal muscle mitochondrial respiratory capacity in humans by near-infrared spectroscopy: a comparison with in situ measurements. J Physiol. 2014 Aug 1;592(15):3231-3241. Epub 2014 Jun 20. PMID: 24951618; PMCID: PMC4146372. DOI: <https://doi.org/f6dm5s>
35. Szűcs B (2021): Non-invazív terhelésélettani módszerek alkalmazhatósága krónikus obstruktív tüdőbetegek állapotfelmérésében, légzésrehabilitációjában. Doktori értekezés. Semmelweis Egyetem Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola, Budapest, 2021.
36. Tarvainen MP, Niskanen J-P, Lipponen JA, Ranta-aho PO, and Karjalainen PA. Kubios

HRV – Heart rate variability analysis software. Comp Meth Programs Biomed, 113(1):210-220, 2014.

37. Toldi József – Varga Csaba (2020): Élettani gyakorlatok. Szegedi Tudományegyetem, Élettani, Szervezettani és Idegtudományi Tanszék URL: <https://eta.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/2555>
38. Worden MS, Foxe JJ, Wang N, Simpson GV. Anticipatory biasing of visuospatial attention indexed by retinotopically specific alpha-band electroencephalography increases over occipital cortex. The Journal of Neuroscience : the Official Journal of the Society for Neuroscience. 2000 Mar;20(6):RC63. PMID: 10704517; PMCID: PMC6772495. DOI: <https://doi.org/gf9gggq>
39. Yugar LBT, Yugar-Toledo JC, Dinamarco N, Sedenho-Prado LG, Moreno BVD, Rubio TA, Fattori A, Rodrigues B, Vilela-Martin JF, Moreno H. The Role of Heart Rate Variability (HRV) in Different Hypertensive Syndromes. Diagnostics (Basel). 2023 Feb 19;13(4):785. PMID: 36832273; PMCID: PMC9955360. DOI: <https://doi.org/ms8g>



Objective measurements of load-ability and performance optimisation during helicopter pilot training

Keywords: helicopter, pilot training, performance optimisation, physiology

In this article we present the optimisation of helicopter pilot training based on physiological, physiological measurements. The training period for trainees joining the Air Police of the Emergency Police Service has been reduced from 36 months to 18 months using our methodology. In the process, the level of knowledge and expectations has not been reduced.



Optimierung der Belastbarkeit und der Leistungsfähigkeit bei der Ausbildung von Hubschrauberpiloten auf Grund von objektiven Messungen

Schlüsselwörter: Hubschrauber, Pilotenausbildung, Physiologie

In unserem Artikel stellen wir die Optimierung der Hubschrauberpilotausbildung anhand physiologischer Messungen vor. Mit Hilfe unserer Methodik konnte die Ausbildungszeit von Studenten, die sich für den Luftpolizeidienst der Bereitschaftspolizei bewerben, von 36 Monaten auf 18 Monate verkürzt werden. Dabei wurde das Niveau der Kenntnisse und der Erwartungen nicht vermindert.

E számunk lektorai

Dr. Henézi Diána ■ Dr. Kormányos László ■ Dr. Pauer Gábor
Dr. Selymes Péter ■ Tóthné Temesi Kinga