



1. ábra. Nagy képernyőn követhetők a tesztrepülést végző hajózó személyzet által látott szimulált repülési feladatok virtuális és más speciális nézetei. Előtérben az aktuális élettani paramétereket rögzítő Firstbeat antenna, és a személyzet valós idejű fiziológiai értékeit továbbító és megjelenítő hordozható terminál

Domján Károly\* – Vada Gergely\*\*

## Katonai pilóták élettani paramétereinek monitorozása szimulált repülési körülmények között

A katonai pilóták munkaköre meglehetősen egyedi és összetett. Számátalan tényező befolyásolja az extrém körülmények közötti fenntartható teljesítőképességet. Amikor az állomány bevetettségének határait vizsgáljuk, akkor felértékelődik az a kérdés, hogy az emberi szervezetnek pontosan milyen működési jellemzőivel írható le ez a bizonyos akcióképesség. Különböző élettani ismeretek alapján

tudjuk, hogy a gyors reakciókészséget, a koncentráció vagy a döntéshozatal képességét a repülésbiztonság szempontjából kritikus jelentőségű ún. reziliens emberi működés teszi lehetővé. Reziliensnek tekintjük azt a magatartást, amikor az ember autonóm idegrendszere az adott kihívásra a legmegfelelőbb választ képes adni: egészséges, stressztűrő, a fizikai és mentális megterhelést egyaránt

**ÖSSZEFOGLALÁS:** A repüléssel szinte egyidős a felismerés, hogy a légi járművet irányító pilóta testi és pszichés állapota jelentős befolyást gyakorol a bevetés sikerére, a légiközlekedés biztonságára. A pilóták fizikai és mentális teljesítőképességének mérése nagyon fontos területe a repülőorvoslásnak. Az elmúlt évtizedekben az orvosi mérőműszerek között is megjelentek a digitális biometrikus eszközök, amelyek kiszélesítették a téma kutatási lehetőségeit. A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézete és a Magyar Honvédség Egészségügyi Központ RAVGYI egy közös projektben, korszerű biofeedback eszközökkel, barokamrában, VR-szemüveggel létrehozott virtuális térben, szimulátoros repülések során vizsgálta a pilóták élettani tulajdonságait befolyásoló tényezőket.

**KULCSSZAVAK:** katonai pilóták, MH EK RAVGYI, NKE Katonai Repülő Intézet, fizikai és mentális teljesítőképesség monitorozás, repülésbiztonság, pszichofiziológias stressz, biofeedback eszközök, VR-szemüveg, LPC-labor (barokamra), hypoxia, hypobaria, pulzusvariancia, HRV, Virtuális Valóság, Step by Step tesztrendszer

**ABSTRACT:** The recognition that the physical and mental condition of the pilot controlling the aircraft has a significant impact on the success of the sortie and the aviation safety is almost the same age as aviation. Measuring the physical and mental performance of pilots is a very important area of aviation medicine. In recent decades, digital biometric devices have also emerged among medical measuring instruments, expanding research opportunities in the field. The Institute of Military Aviation of the National University of Civil Service and the Hungarian Defence Forces Aeromedical, Military Screening and Healthcare Institute investigated the factors influencing the physiological properties of pilots during simulator flights in a joint project using modern biofeedback devices, a barochamber and a virtual space created by VR headset.

**KEY WORDS:** military pilot, Hungarian Defence Forces Aeromedical, Military Screening and Healthcare Institute, Institute of Military Aviation of the National University of Civil Service, performance monitoring, aviation safety, psycho-physiological stress, biofeedback devices, VR headset, barochamber, hypoxia, hypobaria, HRV

\* Zászlós, közlekedésmérnök-repülőmérnök, MH Légi Vezetési és Irányítási Központ, HIRINFO informatika. ORCID: 0000-0002-0349-0338

\*\* Testszenzoros élettani szakértő, Nemzeti Közszolgálati Egyetem HHK Katonai Repülő Intézet. c. egyetemi docens ORCID: 0000-0002-2720-3380

képes kiegyensúlyozottan kezelni, és az akut helyzetekben megőrizni a tudatos döntés képességét. Ezt a fajta rugalmas emberi ellenállóképeséget földi körülmények között sokkal egyszerűbb megteremteni, kutatócsoportunk azonban arra vállalkozott, hogy olyan extrém feltételek mentén vizsgáljuk, mint az alacsony légnyomású kamrakörülmények, oxigénhiányos állapot, idegrendszeri túlterhelés vagy a pilóták munkakörére jellemző multitasking (egy időben több dologra kell figyelni). Ezért olyan tesztelési környezetet hoztunk létre a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézete, valamint az MH Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság Repülőorvosi-, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet, továbbiakban MH EK RAVGYI támogatásával, amelyben sikerült élethűen felépíteni egy élettani szimulációs közeget. Ebben a környezetben a pilóták repülésbiztonsági kockázat nélkül hajthatnak végre olyan feladatokat, amelyek részét képezik a szokásos repülési protokollnak, ugyanakkor lehetőség nyílik fiziológiás paramétereik teljes körű monitorozására is. Így megnyílt az út az emberi fizikai és mentális teljesítőképesség megértésének, növelésének és regenerálásának átfogó tanulmányozásához.

A rendszer megalkotását az NKE GINOP-2.3.2-15-2016-00007 azonosító számú, *A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen* elnevezésű projekt tette lehetővé, amelynek köszönhetően egy teljes kutatási program kapcsolódott a vizsgálatokhoz szükséges technikai infrastruktúrához. A fenti program *Aviation Human* alprojektje az ember fizikai és mentális teljesítőképességének monitorozását és tanulmányozását célozza, és – ahogy azt a neve is tükrözi – a repülésben közvetlenül résztvevő szakterületek szakemberei (repülő-hajózó, légi irányító és légvédelmi irányító szakállomány) fiziológiás jellemzőinek vizsgálatára irányul. A kutatási programot úgy állították össze, hogy ne kizárólag laboratóriumi körülmények között végezzék a vizsgálatokat, hanem emellett sor kerül pályatesztekre, éles körülmények közötti mérésekre, sőt, az eszközök egy része arra is alkalmas, hogy a viselőjük otthoni, vagy szolgálaton kívüli időszakban is képes legyen a legfontosabb fiziológiás paramétereit rögzíteni.

A program célját számos speciális mérőműszer, diagnosztikai eszköz, valamint egy szolnoki és egy kecskeméti lokációjú, modern mérőműszerekkel felszerelt laboratórium felállítása szolgálta. A kutatási programhoz szükséges teljes laboratóriumi infrastruktúra, valamint a protokollok kidolgozása mintegy 2 évet vett igénybe. Az aránylag hosszú időt az indokolta, hogy egy kutatás megkezdésekor szinte lehetetlen pontosan meghatározni, hogy a tudományos kutatómunka során milyen eszközökkel és eljárásokkal, milyen eredményességgel tudnak dolgozni a szakemberek. A kutatók számos hipotézist állítottak fel, amelyeket a program megvalósítása során elvetni, megcáfolni vagy módosítani kellett. Egy-egy kutatási ciklus menet közben tehát új elméletek, eljárások megalkotását eredményezte vagy szükségessé tette további speciális műszerek alkalmazását. Így az idő előre haladtával az eltervezett kutatási protokoll némileg változott, ám ez természetes következménye egy ilyen jellegű komplex alapkutatásnak.

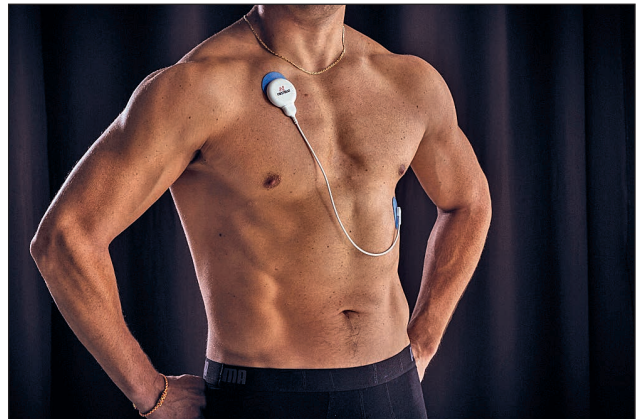
## BEHOZTÁK A VALÓSÁGOT!

A kezdeti szakasz vizsgálati rámutattak, hogy a repülő-hajózó állomány teljesítménydiagnosztikai felmérése nem ad teljes képet a hosszú távú teljesítőképességet befolyá-

soló összes szempont megismeréséhez. A jelenlegi protokoll vizsgálatokkal ugyanis nem követhetők az olyan lényeges szempontok, mint hogy mi történik az emberi szervezetben a bevetések előtt (pl. kipihenttség, alvásmínőség, pszichés állapot, akut életviteli döntések hatása stb.), továbbá, hogy meddig tart a bevetések elhúzóó hatása, és mindez hogyan befolyásolja az egyéni regenerációs képességet, illetve a személyzet ismételt bevetethetőségét. Mindezeket túl, korábban az akut repülési helyzetek hatásainak valós idejű tanulmányozására sem volt mód, ez pedig a repülés számtalan pszichofiziológiás stresszfaktorának mélyebb megismerése miatt szintén kulcsfontosságú.

A fenti kutatási igények életre hívtak egy teljesen új szemléletet, amelynek mottója az volt, hogy „*Vigyük be a valóságot a laborba!*”. A valóság-hű tesztekhez a szakemberek négy pillérré épülő kutatási környezetet építettek fel:

- Testen viselhető biofeedback eszközök: a modern technológia lehetővé teszi, hogy olyan kis méretű test-szenzor készülékekkel lehessen méréseket folytatni, amelyek rögzítik viselőjük legfontosabb élettani paramétereit a bevetés előtti napokban, extrém repülési körülmények között akár valós idejű jeltovábbítással is, továbbá a bevetést követő időszakban. Így nemcsak az adott pillanatban jellemző terhelési mutatók, hanem az elhúzóó stresszhatások is nyomon követhetővé váltak. Ez a komplex fiziológiás monitorozó rendszer az innovációs Nobel-díjjal kitüntetett finn Firstbeat Technologies vállalat terméke, működésének alapja a világ legfejlettebb pulzusvariancia-mérési algoritmus. Ez a rendszer mintegy 70 élettani paraméterrel dolgozik, így rendkívül gazdag adattartalmat nyerhetünk a tesztalany fiziológiás jellemzőiről.



2. ábra. A Firstbeat Technologies folyamatos (több napos) élettani monitorozást támogató testszenzor készüléke (Bodyguard2)

- A koncepció másik alappillére a Virtuális Valóság (VR – Virtual Reality) rendszer biztosította, amely egy VR-szemüveg jelein keresztül a mesterségesen generált valóság-hű repülési szimulációt teremt meg a viselője számára. A szakemberek a VR-rendszerben – a repülésbiztonsági kockázatok minimalizálásával – különféle előre programozott repülési környezetet alakítottak ki, a grafikai szimulációval pedig az emberi érzékelés számára élethű képet használhatnak. A programozott környezetben rutinrepüléseket, váratlan repülési eseményeket vagy harci feladatokat is végre lehet hajtani.
- A harmadik pillért maga a MH EK RAVGYI európai szinten is különlegesnek számító alacsony nyomású kamrája (LPC – low pressure chamber, azaz barokamra)





3. ábra. A tesztek helyszíne az MH EK RAVGYI alacsony nyomású kamrája (Fotó: MH Zrínyi Kft. Rácz Tünde)

képezi, amelyet elsősorban alkalmassági vizsgálatok során használtak, most azonban a repülésélettani kutatások légnyomási körülményeinek szimulációjára vették igénybe. Az LPC-kamra nélkül nem hozhatnák létre a magasság okozta hatások szimulációját, a nyomáskondíciók változtatásával ugyanis élethűen modellezhetők a különféle repülési magasságokra jellemző nyomásváltozási viszonyok, és így vizsgálhatóvá váltak az emberi szervezetre való hatásaik. Mindezek mellett ennek a speciális környezetnek egy másik értékes jellemzőjét is igénybe vehették, ugyanis a kamra az oxigénhiányos állapot reprodukálására is alkalmas.

- A negyedik pillér a repülésorvostan különféle területein használt orvosi diagnosztikai műszerkörnyezet (oxigénszaturáció-mérő, széndioxid-koncentráció mérésre használt berendezés, továbbá akut agyi vérellátást monitorozó készülék) alkalmazása jelentette. E különböző gépek szimultán használatára korábban még nem került sor. Ezeket a műszereket a tesztalanyok az alacsony nyomású kamrában való VR-repülés közben viselik, így egyrészt a felügyelő orvos számára azonnali beavatkozást tesznek lehetővé, másrészt az általuk rögzített értékek bekerülnek egy erre a célra épített adatbázisba.

A fenti alrendszerek komplexitása és együttes alkalmazása tudomásunk szerint a világon egyedülálló. A rendszer alkalmazásával a szakemberek úgy jutnak repüléségségügyi, élettani és pszichológiai ismeretanyaghoz, hogy közben nem kell a valós repülési helyzetek során a repülő-személyzet figyelmét elvonni, az eszközöket bonyolult eljárásokkal a fedélzetre telepíteni, az éles bevetések élményeit, jellemzőit azonban – a gravitációs sajátosságokat leszámítva – szinte teljes mértékben tudják szimulálni. A szakembercsoport tehát elérte kitűzött célját, és a valóságot bevették a laboratóriumba!

### PROTOTÍPUS KÉSZÜLT – AZ AMIH

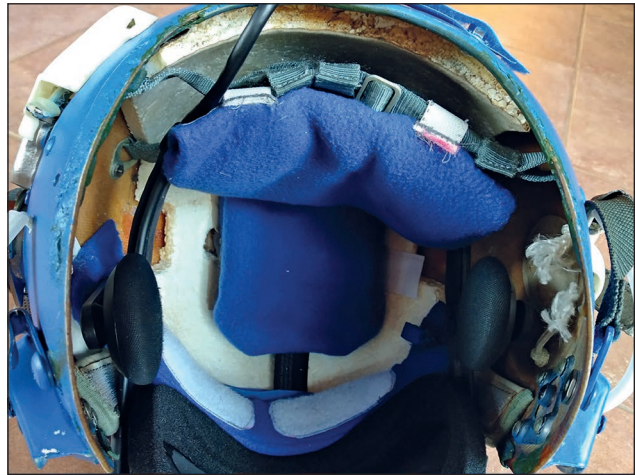
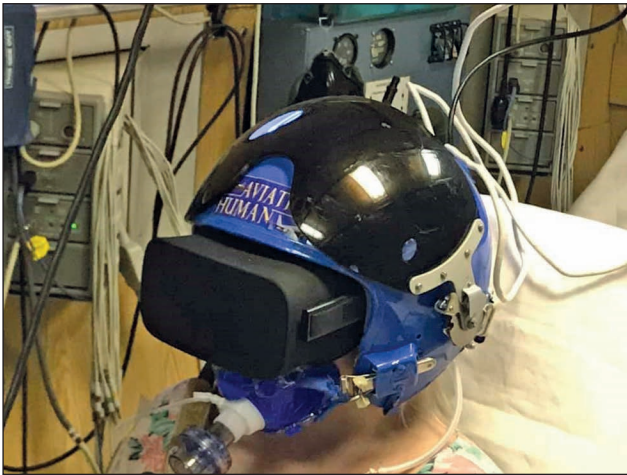
A fent ismertetett projektben alkalmazott számtalan műszer azonban jellemzően kutatói (laboratóriumi) környezetet határoz meg, ezért szükségessé vált, hogy a különféle

eszközpark elemeinek egy részét egy speciális pilótasisakban integrálják.

Ez lett az AMIH – Aero Medical Instrument Helmet (repülőorvosi eszközsícsak) prototípusa. Ez az eszköz egy már üzemképtelen pilótasisak átalakításából született, és különleges képessége, hogy használatakor egyidejűleg mérhető viselője agyának jobb és bal homlokleány oxigéntelítettsége, a gyűrűsujjon mért (perifériás) véroxigén koncentráció, a maszkkal pedig a légzésszám, illetve a kifújt széndioxid koncentrációja is. Mindemellett a VR-szemüveget is a sisak részeként helyezték el. Az érzékelő-szenzorokat a sisakban, és annak átalakított légzőmaszkjában rögzítették, amelyek a Medtronic NIRS (Near Infrared Spectroscopy – infravörös spektroszkópia) és a Capnography (a kilélegzett szén-dioxid megfigyelésére és mérésére szolgáló) műszerekhez csatlakoznak. A kialakítás magában hordozza a későbbi bővíthetőségi lehetőségeket, ugyanis hamarosan egy speciális elektroencefalográf – EEG-műszer is helyet kap a speciális sisakban, amely az agyműködés szimulációs közegben való tanulmányozását szolgálja majd. A repülőorvosi műszersícsakot úgy alakították ki, hogy szinte minden fejformára illeszkedjen. A speciálisan kialakított fejpárnák biztosítják, hogy a NIRS-műszer érzékelő-szenzorai – a megfelelő adatok kinyerése érdekében – a lehető legpontosabban fekdűjenek fel a homlokra. Az Oculus Rift virtuálisvalóság-szemüveget a homlokpárna alá rögzítették, ugyanakkor ez az elhelyezés biztosítja a szemüvegben látott kép élességének állíthatóságát is.

### A TESZTKÖRNYEZETRŐL RÉSZLETESEBBEN

Az alacsony nyomású kamra biztosítja a globális rendszerkörnyezetet. A barokamra egy hengeres tartályra hasonlít, amely egyszerre 6 vizsgálandó személy befogadására alkalmas. A tesztekhez a barokamra jobb első pozícióját alakítják ki, amely a főorvostól balra előre helyezkedik el. Erre a helyre telepítik a virtuális valóságot biztosító nagyteljesítményű szimulátort. A munkaállomáshoz közvetlenül kapcsolódik a műszersícsak. A sisakba épített VR-szemüveg segítségével szimulációs repülés végezhető. Az orvosi pultról balra helyezkedik el a NIRS-műszer, ami kapcsolat-



4. ábra. A pilóták agyi homloklebenyének oxigén-telítettségét és a légzési jellemzőket rögzítő műszereket, valamint a virtuálisvalóság-szemüveget integráló sisak prototípusa



5. ábra. Az alacsony nyomású kamrában berendezett tesztkörnyezet (a képen balra elől a felügyelő orvos, középen a tesztpilóta, jobb oldalt a virtuális repülési szimuláció vezérlőpultja)

ban áll a sisakban elhelyezett homloklebeny-szenzorokkal. A NIRS melletti kapnográfias eszköz a speciális légzőmaszkból kapja a légzésszám-, a kilélegzett széndioxid- és a gyűrűsujjon mért véroxigénszint-adatokat. Az időszinkronban végrehajtott tesztek alatt mért információkat egy adatbázis rögzíti, és valós időben hálózati kapcsolaton keresztül az asszisztensi térben elhelyezett nagy méretű LED-es monitoron megjeleníti (1. ábra).

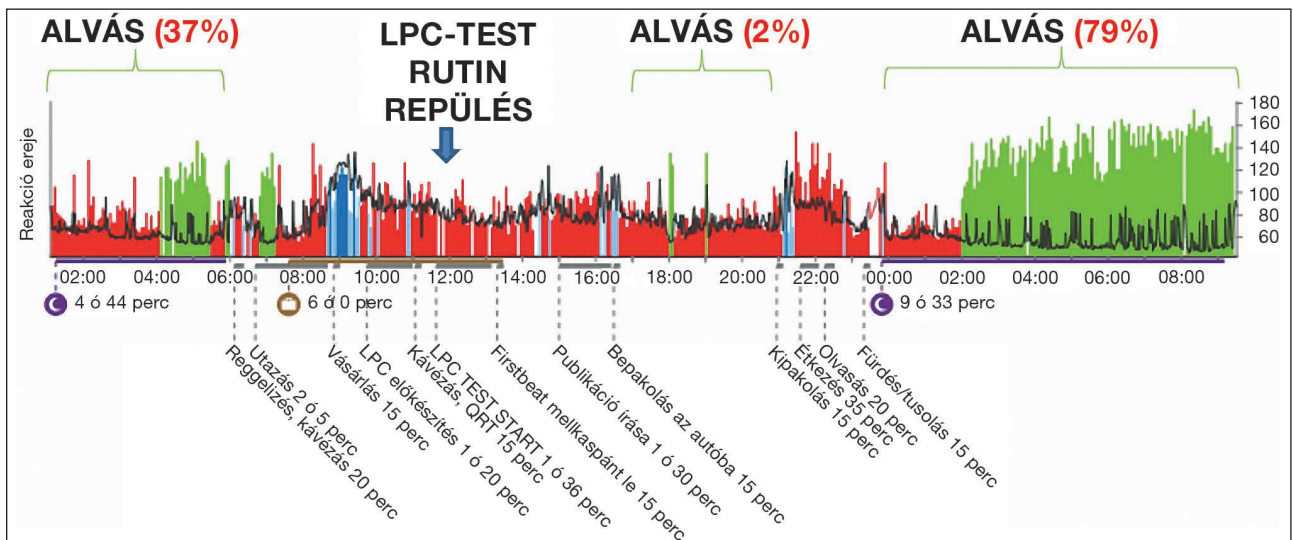
A barokamrában létrehozott oxigénhiányos környezet miatt ez feltétlenül szükséges is, hiszen a nyomás- és oxigénkoncentrációs változások miatt a kutatáscsoport a barokamrában dolgozik. A monitoron megjelenik még a VR-szemüvegben látható sztereó kép is, amellyel folyamatosan nyomon követhető a vizsgált személy fejmozgása és a szimulált passzív repülési feladat pillanatnyi helyzete, valamint a sztereó kép mellett a repülőgép külső kameránézetből való megjelenítése. A monitor megjelenítő felülete alapvetően négy részre osztott, így az asszisztensi térből folyamatosan nyomon követhető a már említett VR sztereó kép, a repülőgép egy külső nézete, a barokamra belső videokamerájának a képe, valamint a nagy felbontású pulzusvariancia-adatok diagramja. A barokamra ajtaja mintegy fél tonna tömegű, így önmagában is eleget tesz a tökéletes zárhatóság

követelményének, ám emellett a kamratérben létrehozott alacsony nyomás miatti szívó hatás a tökéletes, hermetikus zárást biztosítja. A kamra oldalán lévő kis ablakok betekintést engednek a belső térben zajló folyamatokba.

A testszenzoros mérésekből származó adatok egy része a tesztkörnyezeten kívülről származik, ugyanis a kutatási hipotézis szerint az emberi teljesítmény-jellemzőket nemcsak az akut helyzetek pillanatnyi sajátosságai befolyásolják, hanem az is, hogy a feladatvégrehajtás közben milyen az illető fizikai és mentális fittségállapota. Egészen pontosan arról van szó, hogy a fizikai és mentális fittség erősen meghatározza a stressztűrőképességet, a kritikus pillanatokban való stabil teljesítményt (figyelem, koncentráció, gyors reakciók), továbbá a jó tanulási képességet. Nem mindegy tehát, hogy egy-egy bevetésben fáradt, kialvatlan, gyengébb immunrendszerű, esetleg alacsonyabb fizikai állóképességű katonák vesznek-e részt vagy szellemileg frissebb, kipihent, jó fizikumú, fitt állomány hajtja végre a küldetést. Ezeknek a tényezőknek nagy része nem a laboratóriumi tesztkörnyezetben dől el, hanem az általános életvitel során alakul ki. Tipikusan ilyen szempont, hogy mennyire él az illető aktív életet, sportol-e rendszeresen, vannak-e problémái az alvással, vagy tisztában van-e azzal, hogy milyen tevékenységek közben tud regenerálódni, esetleg vannak-e olyan testi-szervi jellemzői (pl. a horkolás), ami elégtelen éjszakai pihenést eredményez. Ezeknek a tényezőknek a felmérésére szolgálnak azok a testszenzor készülékek, amelyekkel akár 3-7 napos időszak testi jellemzői monitorozhatók.

Az eszközök használatával pontos kép rajzolható arról, hogy szokásos életvezetése során mekkora stressz éri az illetőt, és hogy ez mennyire veszi igénybe az idegrendszerét. A 6. ábrán egy, a tesztrepülést megelőző éjszakától az azt követő éjszakáig tartó, közel 36 órás mérés eredményei láthatók (piros szín jelöli a stressz, a zöld a feltöltődés időszakait). Az alsó bejegyzések a naplónak felelnek meg, a könnyebb érthetőség kedvéért az ábra felső részén kiemelve szerepelnek a vizsgálat szempontjából lényeges szakaszok (alvási szakaszok, valamint a szimulációs repülés). A zárójelben látható %-os értékek azt jelzik, hogy az adott hosszúságú pihenésből milyen arányt képviselt a tényleges regeneráció. Szembeötlő, hogy a kamratesztet követően, a 16-20 óra közötti alvásból szinte egyetlen perc sem hasznosult pihenésként, mert olyankor a szervezetet még az oxigénhiányos állapot kompenzálása foglalta le annak el- lenére, hogy az illető pilóta valóban aludt.





6. ábra. A virtuális repülési szimulációban részt vett személy cselekvéssorából leolvasott paraméterek alapján rajzolt kb. 33 óra hosszú stressz (piros)-feltöltődés (zöld) profil. Kék színnel a fizikai aktivitás időszaka, az ábra alsó részén látható a naplózott események. Az ábra felső sorában a zárójeles %-os értékek jelentése: ennyi hasznosult regenerációként az aktuális alvásszakaszból

**REGGELI KÁVÉ, GYÓGYSZER, KÉSEI LEFEKVÉS – HATÁSUK MEGJELENIK A BEVETÉSÉNél**

Számos kérdés merül fel tehát egy pilóta fizikai és pszichés teljesítőképességét illetően. Fel tud-e tölteni a regenerációs alkalmak során vagy késedelmet szenved a pihenése? Fenyegeti-e a túlterheltség veszélye, mert esetleg túlságosan intenzív edzésmunkát végez vagy fáradtan kénytelen elvállalni megterhelő feladatokat? A hosszabb mérések segítenek megérteni azokat a testi energiákat befolyásoló jellemzőket, amelyek magyarázata az illető életviteli döntéseiben rejlik. Mikor és mennyit kell aludni? Kell-e szünetet tartani munka közben? Mi az, ami képes kikapcsolni és meddig tart egy ilyen regenerációs állapot? Melyik az étkezés ideális időpontja, mennyi legyen a sportolásra szánt idő? Meddig terhelhető a test? Fenyegeti-e a kiégés veszélye? A komplex fiziológias monitorozó rendszer algoritmusának segítségével a szakemberek képesek a hajózásmélyzet fiziológias jellemzőiből meghatározni, hogy a fent felsorolt jellemzők mennyire hatnak az egyéni teljesítőképességre. Azaz az egyéni terhelhetőség, a pillanatnyi „bevetettség” pontosan leírható az illető pulzusán, légzési mintáin vagy egyéb fiziológias jellemzőit feldolgozó matematikai algoritmus segítségével. Ezeket a testszenzoros eredményeket az alacsony nyomású kamra, a virtuális valóság és az orvosi műszerek által közösen alkotott teszt-környezetben elemezve az orvoscsoporthoz a kérdésre keresi a választ, hol vannak az emberi teljesítőképesség határai és milyen jellemzőkkel írható le az extrém körülmények közötti teljesítmény? Ezeket a vizsgálatokat azért fontos megérteni, mert az emberi szervezet bizonyos tényezők hatását laikus számára láthatatlanul kompenzálni kezdi anélkül, hogy az illető tudatára ébredne annak, hogy baj van. Ez a tény kiemelt szerepet kap a katonai repülésben, ahol számos stresszor (a szervezetre ható külső inger) hatása érvényesül. Ilyenek pl. az orientációs zavarok, gravitációs kihívások, zaj és vibráció, oxigénhiány, a nyomásviszonyok megváltozása stb. Nagyon komoly repülésbiztonsági kockázatot jelent, ha egy-egy megtévesztő testi kompenzáció félrevezető jeleket küld a pilóta számára. Korábbi kutatásainkból tudjuk, hogy a motorikus képességek sokkal tovább működnek, mint a kognitív rendszer,

azaz könnyen előfordulhat, hogy a már begyakorlott mozgulatsort még akkor is automatikusan ismételni tudjuk, amikor az agyunk már elvesztette az irányítást. Ugyanakkor számos olyan tényező létezik, amellyel befolyásolhatók a kompenzációs folyamatok, pl. a pilóta előző napi alvásminősége, vagy a bevetés előtt elfogyasztott kávé. A jelen programban végzett kutatások azt célozzák, hogy feltérképezhetők legyenek azon életviteli döntések, amelyek hatással lehetnek a bevetések eredményességére. A repülés során még a jelentéktelennek tűnő részletek is szerepet kaphatnak abban, hogy milyen eséllyel sikerül megtartani vagy elveszíteni a kontrollt a kockázatos helyzetekben.

Egy bevetés eredményességét azonban nem csak az jelzi, hogy sikerül-e épségben visszatérni a bázisra. A mostani kutatási program mérései nélkül nem tudnánk pontosan, hogy a pilóta szervezetében mennyi ideig tart egy-egy akciót követően annak hatása. Ezekkel a mérésekkel ugyanis a korábban már említett kompenzációs folyamatok hatása a repülést követő órákban is kimutathatóvá vált. A pilótát ért láthatatlan stressz elhúzódo hatása a jelek szerint 3-10 órán át tart (természetesen változó intenzitással), amelyet az idegrendszeri terhelés mutatóinak alakulásán lehet lemérni. Ha nem végeznénk a bevetéseket megelőző „steril” méréseket, akkor nem lenne viszonyítási alapunk ahhoz, hogy a barokamrás VR-repüléseknek a „leszállást” követő oxigénhiányos állapottal kombinált hatását az emberi szervezetre mérhetővé tegyük. Ennek kapcsán egyértelműen megállapítható, hogy ennek az ún. hypoxiámánnaposságának a hatása kb. 3-6 órán át megmutatkozik a szervezetben, amelynek jellemzői a romló kognitív képességek (memória, koncentráció, reflexek, tanulási képesség), ráadásul ez olykor fizikai fáradtságban is megnyilvánul (pl. ólmos fáradtság, hirtelen elalvási kényszer). A bevetést követő néhány órában tehát még akkor sem teljesértékű az emberi szervezet, ha ez kívülről esetleg nem látszik. Vajon mennyi marad meg a pilóta memóriájában az ilyenkor átadott tudásanyagból vagy mennyire lehet hatékony vele pl. egy akcióértékelés? Ugyanakkor, a hosszabb, több napos mérésekkel arra is találtunk példát, hogy az ilyen típusú repüléseket követő éjszakákon az alvásminőség 10-25%-kal rosszabb a szokásoshoz képest. Utóbbi arra utal, hogy a közvetlen, pár órán át tartó hatásokon túl



7. ábra. A virtuális valóság repülési szimulációs rendszer szettje: a számítógép és a VR-szemüveget integráló pilótasisak a dobozával

az elhúzó folyamatok akár 10-12 órán át is éreztetik a hatásukat. Természetesen ahhoz, hogy általános szabályszerűségeket állítsunk fel, további vizsgálatok szükségesek, mint ahogy ahhoz is, hogy ezeket az egyéni kompenzációs sajátosságokat kalibrálni lehessen. Ettől függetlenül látható, hogy az ismételt bevetettség feltételeinek megfogalmazásához (hány órának kell elteltie a 100%-os akcióképességig?) jóval közelebb jutottunk, mint korábban bármikor.

A most következő feladataink mellett, hogy finomítják és validálják az eddigi konklúziókat, azt a célt is szolgálják, hogy ezeket a tanulságokat beépítsük a hajózó személyzet és a kapcsolódó területek oktatási anyagaiba, valamint a repülési protokollokba is, szolgálva ezzel a repülésbiztonság javítását és az állomány hosszabb távon is fenntarthatóságát, bevetettségét, bevetettségét mutatóit.

## STÁBLISTA

A komplex rendszer felépítésén, a számos közreműködő közül ki kell emelni dr. Dunai Pál alezredest, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézetének docensét, a GINOP Aviation Human alprojekt vezetőjét, a Magyar Honvédség Egészségügyi Központ RAVGYI, illetve a vezető repülő szakorvosainak, dr. Szabó Sándor András repülő főszakorvos és dr. Tótká Zsolt főorvos támogatását, valamint a „fedélzeti rendszerek” összehangolásában és a virtuális valóságkörnyezet felépítésében oroszlánrészt vállaló

és jelen cikket társszerzőként jegyző Domján Károly zászlósn, továbbá a Firstbeat HRV testszenzort fejlesztő-gyártó finn cég magyarországi képviselőjét, a szintén társszerzőként közreműködő Vada Gergely testszenzoros szakértőt, c. egyetemi docent.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Dunai, Sági, „A repülésirányítás humán aspektusai” in Bottyán-Dunai-Fekete-Gajdos-Palik-Sápi-Vas. *A repülésirányítás alapjai* (szerk: Palik Mátyás). Dialóg Campus Kiadó 2018., 7. fejezet;
- Apor Péter Dr., Petrekanich Máté Dr., Szamadó Julianna. „HRV-analízisről a sportban és a klinikumban, *Orvosi hetilap* 150, 18. szám (2009);
- Dr. Sándor Zsolt, PhD. „A légiforgalmi irányítás információrendszerének funkcionális modellezése és ennek integrációs távlatai” *Légi közlekedés*, 2016. augusztus;
- Sipos Zoltán, Pál László: *Katonai légiforgalmi irányítók képzésének elvei és módszerei*, Tanulmányok, 2004.;
- Flin, R., G. Youngson, és S. Yule. „How Do Surgeons Make Intraoperative Decisions?” *Quality and Safety in Health Care* 16, sz. 3 (2007. június 1.): 235–39. <https://doi.org/10.1136/qshc.2006.020743>;
- C. Ledderhos, C. Gammel, A. Gens: *The new anti-G suit*, 85th Annual Scientific Meeting of the Aerospace Medical Association 2014, <http://g-niusltd.com/uploads/images/layout/ASMA.pdf>;
- Burley, Simon D., Jace R. Drain, John A. Sampson, and Herbert Groeller. “Positive, Limited and Negative Responders: The Variability in Physical Fitness Adaptation to Basic Military Training.” *Journal of Science and Medicine in Sport* 21, no. 11 (November 2018): 1168–1172. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.06.018>;
- [www.fusionvital.hu](http://www.fusionvital.hu);
- [www.firstbeat.com/science-and-physiology](http://www.firstbeat.com/science-and-physiology).

(Illusztrációk a szerzők gyűjteményéből)

## HM ZRÍNYI TÉRKÉPÉSZETI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS SZOLGÁLTATÓ KÖZHASZNÚ NKFT.

Telephely: 1024 Budapest II., Szilágyi Erzsébet fasor 7–9. • 1276 Budapest 22, Pf. 85 • +36 (1) 336-2030 • [www.topomap.hu](http://www.topomap.hu) • [hm.terkepesz@topomap.hu](mailto:hm.terkepesz@topomap.hu)



- Topográfiai térképek
- Faksimile térképek
- Atlaszok, város- és autótérképek
- Falitérképek
- Szabadidőtérképek
- Légiforgalmi térképek
- Munkatérképek
- Dombortérképek
- Digitális térképészeti adatbázisok
- Egyéb digitális termékek
- Légifilmtári szolgáltatások

### • PrePress – Nyomdai előkészítés

- szöveg-, grafika- és képfeldolgozás, kiadványszerkesztés
- ellenőrző nyomatok, digitális proofok előállítás
- bel- és kültéri tablók, bannerek nyomtatása
- hagyományos és elektronikus montírozás, színrebotás
- nyomóformák előállítás nyomdai filmről, illetve CTP-technológiával

### • Gyorsokszorosítás

- színes és fekete-fehér másolás/nyomtatás 350 x 487 mm méretig

### • Press – Nyomtatás

- ofszetnyomtatás négy-, illetve hatszínnyomó gépeken, 89 x 126 cm méretig

### • PostPress – Kötészet felkészítés

- felületnemesítés fóliázással, laminálással 167 cm szélességig
- hajtogatás, spirálozás, sorszámozás
- összehordás, irkakészítés, ragasztókötés
- kasírozás, táblakészítés, aranyozás
- szortiment könyvkötészet

### • Vákuumformázás

- vákuumformázó szerszámok, terepasztalok előállítás CNC-technológiával
- vákuumformázás

### ÜGYFÉLSZOLGÁLAT ÉS TÉRKÉPBOLT:

1024 Budapest II., Filler u. 14.

+36 (1) 212-4540 • [ugyfelszolgalat@topomap.hu](mailto:ugyfelszolgalat@topomap.hu)

Nyitva tartás: hétfő–péntek 9.00–15.00

NYOMDAI GYÁRTÁSELŐKÉSZÍTÉS: +36 (1) 336-2035