

Magyar Tudomány

A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata. Alapítva: 1840

KEZDŐLAP ARCHÍVUM IMPRESSZUM KERESÉS

» AGYMŰKÖDÉS SÚLYTALANSÁGBAN: KÍSÉRLET A NEMZETKÖZI ŰRÁLLOMÁSON

X

Balázs László

PhD, tudományos főmunkatárs, MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet • balazs.laszlo(kukac)ttk.mta.hu

Barkaszi Irén

tudományos segédmunkatárs, MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet • barkaszi.iren(kukac)ttk.mta.hu

Czigler István

DSc, tudományos tanácsadó, MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet • czigler.istvan(kukac)ttk.mta.hu

Takács Endre

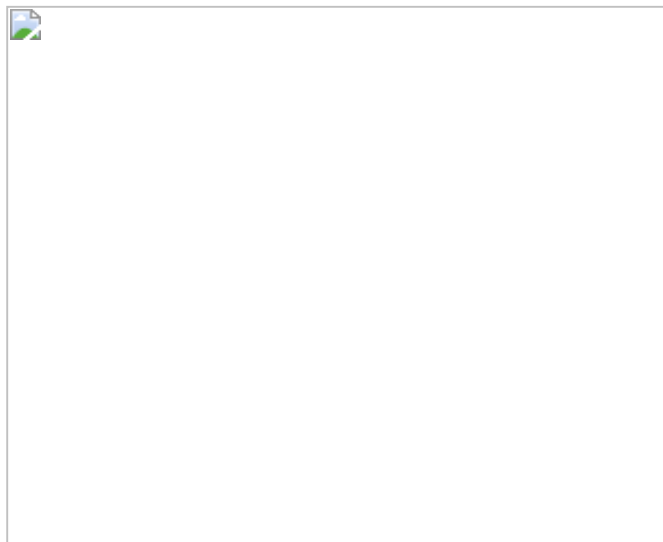
tudományos segédmunkatárs, MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet • takacs.endre(kukac)ttk.mta.hu

Milyen hatással lehetnek az asztronauták agyműködésére az űrutazás körülményei? Vajon képesek-e ugyanarra a szellemi teljesítményre, amire a Földön? A kérdés már csak azért is választ érdemel, mert az űrhajósoknak egész küldetésük során bonyolult és napról napra változó feladatokkal kell megbirkózniuk. Reakcióik gyorsaságán és azon, hogy váratlan helyzetekre is megoldást találjanak, nem csak a rájuk bízott kísérletek sorsa múlik, előfordulhat, hogy saját maguk és társaik biztonsága, akár élete a tét.

Azt, hogy az űrhajósok hogyan oldják meg mindennapos feladataikat, repülésirányítók hada figyeli, de ahhoz, hogy pontos és ellenőrizhető információhoz jussunk, kísérletekre van szükség. A reakciókészséget és agyműködést vizsgáló kísérletek szinte egyidősek az űrhajózással, de alapkérdésekre nem kapunk egyértelmű választ. Az adatok gyakran ellentmondóak, ráadásul a legtöbb adat rövid időtartamú, 10–14 napos küldetésekből származik, így az adaptáció korai szakaszának problémáiról informál ugyan, de nem tudjuk meg, hogy hosszabb távon létrejehet-e tökéletesebb alkalmazkodás (Kanas – Manzey, 2008).

Az űrutazás alkalmával végzett pszichológiai és idegtudományi kísérletek lehetősége korlátozott. A rendelkezésre álló anyagi- és időkeretben elsőbbséget élveznek azok a biológiai problémák, amik köztudottan egészségkárosodáshoz vezethetnek, mint a csontritkulás, izomsorvadás vagy a keringési változások mechanizmusa és a megelőző módszerek tesztelése. Alternatívaként felmerül a különböző földi – analóg helyzetekben végzett – kísérletezés (részletesebben lásd: Balázs et al., 2014).

Az űrutazás egyes hatásait létrehozni képes analóg helyzetek mellett felmerül a nagy magasságokban bekövetkező oxigénhiánnyal való párhuzam is, annak ellenére, hogy az űrállomás



1. kép • NeuroSpat-kísérlet a Nemzetközi Űrállomáson. A laptop monitorjára a külső ingereket kizáró alagút van szerelve.

Az első feladatban két vonal követte egymást, és a személyeknek el kellett dönteniük, hogy a két vonal párhuzamos-e vagy sem. Voltak olyan nem párhuzamos vonalpárok, amelyek között csak kicsi különbség volt, így ezekről viszonylag nehéz volt döntést hozni, míg voltak könnyen eldönthető, nagyon különböző vonalpárok is. A másik feladatban a személyek először egy számot láttak 1-től 12-ig. Ezt követte egy pont, amiről azt kellett eldönteniük, hogy a pont a képzeletbeli óra számlapján a számmal megegyező időt mutatja-e. A feladat során az alagútszerű szerkezet oldalára szerelt gamepad segítségével, gombnyomással kellett jelezniük a döntést az űrhajósoknak (1. ábra).

Az órás feladatban kétféle helyzet fordult elő: volt, amikor egy négyzet alakú keret jelent meg a látott képernyőterület szélén és volt, amikor nem jelent meg a keret. Ennek a keretnek az volt a szerepe, hogy kijelölje a vízszintes és függőleges

légkörre azonos a földivel. Korábban, a Magyar Űrkutatási Iroda támogatásával, kutatócsoportunk is számos kísérletet folytatott oxigénhiányban. Kutatásainak egyik fontos eredménye, hogy több kísérletben is reprodukáltuk az agyi elektromos aktivitás egy jellegzetes változását. Ez a változás a feladat szempontjából irreleváns, oda nem tartozó „újdonságinger” megjelenése által kiváltott agyi elektromos válasz (eseményhez kötött potenciál – EKP) csökkenése (Balázs et al., 2000).

Más kutatásokban igazolták, hogy ennek a sajátos válasznak a keletkezésében kulcsszerepet játszanak az agy elülső részén található területek (prefrontális kéreg és elülső cinguláris kéreg). Ugyanezek a területek felelősek számos ún. kontrollfunkcióért, mint például a figyelem irányítása, párhuzamos feladatok közötti megosztás vagy a hibák detektálása. Egy másik kontrollfunkció a feladattal kapcsolatos konfliktushelyzetek kezelése, például amikor egy leírt szó esetében a betűk színét kell megneveznünk, de a válaszadást megnehezíti, hogy maga a leírt szó egy másik szín neve. Egy kísérletben sikerült is igazolnunk, hogy a Stroop-hatásként ismert reakciólassulás valóban megnő oxigénhiányban (Balázs et al., 2005). Ezek az eredmények jól illeszkednek más kutatócsoportok adatainak sorába, amelyek azt bizonyítják, hogy olyan szuboptimális helyzetekben, mint például a fáradtság vagy kialvatlanság is ugyanezek a funkciók romlanak.

Az űrhajósok köztudottan rosszul alszanak, és folytonos figyelmet, mentális erőfeszítést igénylő munkát végeznek szigorú rend szerint. A súlytalansághoz való alkalmazkodás kényszere további terhet ró az agyműködésre. A gravitációs inger megszűntével át kell hangolni számos, az észlelésben és mozgásszervezésben szerepet játszó idegi kapcsolatot. Gondoljunk például arra, hogy egy tárgy megragadáshoz és mozdításhoz szükséges izomerő a végtagok és a tárgy súlyától és tömegétől függ. Az ehhez szükséges bonyolult agyi komputáció tudatunktól függetlenül, automatikusan zajlik, csak akkor veszünk róla tudomást, ha nem működik tökéletesen, mint például az űrutazás korai szakaszában, amikor az asztronauták gyakran túl nagy mozgásokat végeznek, kezük túllendül az elérni kívánt tárgyon. A visszatérés után újra kezdődik az ügyetlenkedés, amíg a súlytalansághoz szokott agy ismét megtanulja, hogy a végtagoknak és tárgyoknak súlyuk is van (erről lásd Chris Hadfield űrhajós magyarul is megjelent önéletrajzi könyvét: Hadfield, 2014).

A NeuroSpat-kísérlet

Úgy gondoltuk tehát, hogy a megfeszített munka és az adaptáció által okozott agyi terhelés és az alvászavarok együttesen a fent említett prefrontális rendszerek csökkent működéséhez

irányt, amiről azt feltételeztük, hogy különösen nagy szerepe lehet az űrben, ahol a gravitáció által biztosított érzéklek a test helyzetéről hiányoznak.

Mindkét feladatban előfordultak olyan képek, amelyek váratlanok voltak és nem kellett rájuk válaszolni, ezek az ún. újdonságingerek. Mint már említettük, ezekről az ingerekről tudjuk, hogy kiváltják az ún. P3a-eseményhez kötött potenciált, ami érzékenyen reagál stresszorokra (például: hipoxia, alvásmegevonás, mentális fáradtság).

Eredmények

Az eredményeket két nagy csoportra lehet bontani. Az egyik csoport a feladatok során mért reakcióidők és válaszadási mintázatok, a másik csoport az eseményhez kötött agyi potenciálok (EKP-k).

A reakcióidők változása a kilenc mérési ponton két markáns hatást mutat (2. ábra). Az első hatás a gyakorlás hatása: összességében az utolsó mérés során gyorsabbak voltak az emberek, mint a legelsőben. Ez egy teljesen általánosan megfigyelhető eredmény a kognitív pszichológiában, a legegyszerűbb feladatok kivételével minden reakcióidő-feladatban gyorsabbak leszünk a gyakorlás hatására. A gyakorlási hatás legtöbb esetben egy hatványfüggvénnyel modellezhető a legjobban: a változás (vagyis a reakcióidő-csökkenés) eleinte gyors, majd egyre jobban lassul. Ebben az esetben is ezt láthatjuk. Az indulás előtti három és a teljes readaptációt reprezentáló utolsó két pont jól illeszkedik egy ilyen ellaposodó függvényre.

Ennél az effektusnál azonban bennünket sokkal jobban érdekel, hogy az űrutazás milyen hatással volt a reakcióidőkre. Az űrbeli mérések során a reakcióidő markánsan megnövekedett. A könnyebb, ún. „vonalas” feladatban a reakcióidő-növekedés némileg kisebb volt, mint a nehezebb „órás” feladatban. A reakcióidők megnövekedésével hasonló ívet mutatott a pontosság változása is. Míg az űrrepülés előtti időszakban űrhajósaink szinte hibák nélkül végezték el a feladatokat, addig az űrben jelentősen megnőtt a hibák száma. A Földre való megérkezés utáni két mérés során a teljesítményük még nem érte el a korábbi szintet, de már jobb volt, mint az űrben. Az utolsó két mérésnél pedig már újra kiváló teljesítményt mutattak, gyors és pontos válaszokat adva.

Ahogy a kísérletek leírásánál írtuk, az „órás” feladatot minden alkalommal kétféleképpen végezték el az űrhajósok. Egyszer a feladatot megkönnyítő négyzetes kerettel, egyszer anélkül. Az a feltételezésünk, hogy az űrben jobban támaszkodnak az űrhajósok erre a keretre, mint a Földön, részlegesen nyert bizonyítást. Tendenciaszinten megfigyelhető volt, hogy az űrben lassabban válaszoltak és több hibát vétettek

vezethetnek, legalábbis az űrutazás korai szakaszában.

2006-ban váratlanul megnyílt a lehetőség, hogy ezt a feltételezést közvetlenül a Nemzetközi Űrállomáson (ISS) dolgozó űrhajósokon teszteljük, a lehetőséget egy, az EU által finanszírozott ESA-program, a SURE teremtette meg. A program keretében olyan kutatók is pályázhattak az ISS-en végzendő kísérletekre, akik egyébként erre nem lettek volna jogosultak, mert nem ESA-tagországban dolgoznak.

A Prefrontális funkciók és téri tájékozódás (PreSpat) című kísérlettervben a hipoxiás vizsgálataink során a prefrontális funkciók indikátoraként már jól vizsgázott újdonságingeret olyan feladatokba kombináltuk, amelyek a téri tájékozódás alapjait tesztelték. Az irányok észlelésében az agy három fontos információforrásra támaszkodik. Először is a látványra támaszkodunk. Megszoktuk, hogy a környezetben látható objektumok (falak, fák, víztükör) kijelölik a függőleges és vízszintes irányokat. A Földön a belső fülben található egyensúlyszerv és testünk súlya következtében a bőr és az ízületek receptorait érő ingerek is megmondják, merre van a felfelé és lefelé. Súlytalanságban azonban megszűnik ezeknek a receptoroknak a kulcsingere, így azt feltételeztük, hogy a földi körülményekhez képest a vizuális irányjelzők szerepe felértékelődik, vagyis ha egy irányészlelési feladatot ilyen irányjelzők hiányában kell megoldanunk, akkor a teljesítmény rosszabb lesz, mint amikor valamilyen viszonyítási keret is rendelkezésre áll.

A PreSpat koncepciója tetszett a bírálóknak és így az ESA elfogadta megvalósításra azzal, hogy azt egy másik, korábbi pályázaton nyertes idegtudományi kísérlettel közös protokollban kell végrehajtani. A „társbérő” Guy Cheron belga agykutató csoportjának a NeuroCog-2 nevű kísérlete volt. A névből is sejthető, hogy ők egy korábbi kísérletre építettek. Az időkorlátok miatt mindkét tervből faragni kellett. Olyan feladatot is kreáltunk, amibe mindkét tervezetből került valamilyen hipotézis. A közös protokoll, a NeuroSpat, véglegesítésén majd két évig dolgoztunk együtt. Sokat segített, hogy a másik teamnek már volt tapasztalata arról, hogyan lehet boldogulni az ISS és az ESA által megszabott követelményrendszerben.

Módszerek

Hosszas előkészületek után végül 2009-ben megtörténtek az első éles mérések. 2009 és 2013 között öt asztronauta vett részt a vizsgálatban. Kísérletünkben elektroenkefalográfiával (EEG) vizsgáltuk az űrhajósok agyi aktivitását, és a viselkedéses adatokat (reakcióidő, hibázás) is rögzítettük két feladatban.

a keret nélküli helyzetben, mint a keretes kondícióban, de a különbségek nem voltak szignifikánsak.

Az agyi kiváltott potenciálok nagy vonalakban feloszthatóak ún. szenzoros és kognitív komponensekre. A szenzoros komponensek az inger vizuális (vagy akusztikus, vagy szomatoszenzoros) feldolgozását jelzik, míg a kognitív komponensek az inger kategorizációját és a döntéshozatalt. Az újdonságinger által kiváltott P3a komponens is ilyen kognitív jellegű komponens, amely jól jelzi, ahogy a figyelmünk a kiváltó ingerre tér át. Emellett még a figyelemhez kötődnek azok a késői komponensek, amelyek az ingerekkel kapcsolatos döntések (például párhuzamos volt vagy nem) során jelennek meg.

A szenzoros komponensek nem változtak az űrben, de a figyelemhez köthető kiváltott potenciálok nagyon pontosan követték a teljesítmény változását. Ezek esetében is általános csökkenés volt megfigyelhető, amit a habituációnak tudhatunk be. Emellett a súlytalansági fázisban további jelentős, hirtelen csökkenés látható, majd a Földre való visszatérés után fokozatosan visszatér ezeknek a hullámoknak a korábban tapasztalt mérete. Ez legpregnansabban az újdonságingerre adott válaszban és az elülső agyterületek felett jelentkezett, ami arra utalhat, hogy a prefrontális funkciók kevésbé hatékonyan működnek.

Összességében tehát azt mondhatjuk, hogy a viselkedéses teljesítmény (reakcióidő és pontosság) és a figyelemhez köthető agyhullámok markáns romlást mutattak az űrben. Ez a romlás minden vizsgált területen hasonló mértékű volt, nem csak egy-egy részterületnél volt megfigyelhető.

Megbeszélés

A NeuroSpat-kísérlet célja a klasszikus, alapkutatásban már bevált agyi kiváltott potenciál paradigmák felhasználása volt az űrhajósok agyműködésének vizsgálatára.

A NeuroSpat volt az első és mindezidáig egyetlen kísérlet, amelyik az űrállomás EEG-felvételre alkalmas eszközét, a MEEMM-et használta. A MEEMM jól vizsgázott, ahogy a földi irányítószemélyzet és a kísérletért felelős adminisztratív-szervezési csoport is kiválóan teljesített. Az adatok minősége kifejezetten jó volt. A helyzet iróniája az, hogy végső soron az űrben sokkal jobb minőségű EEG-adatokat lehetett regisztrálni, köszönhetően annak, hogy ott egyenáramú rendszer van (ellenben a Földön a váltóáramú hálózati feszültség szinte mindig ráül a humán EEG bizonyos frekvenciatartományára). Az űrben az elektródák és a fej közötti elektromos kapcsolatot biztosító elektrolit nem folyik el – ez a súlytalanság előnye. A kísérleti személyek nyak és törzsizomzata ellazult állapotban van

Az űrhajósok a felkészítést követően összesen kilenc alkalommal hajtották végre a feladatot. A kísérletet három alkalommal ismételték meg a Földön a repülést megelőzően, két alkalommal a Nemzetközi Űrállomáson a hat hónapos űrutazás alatt, és négy alkalommal újra a Földön, a visszatérés után. (Fontos volt, hogy jól begyakorolják a feladatot a repülés előtt, a tanulási hatást is minimalizálni akartuk, így szükséges volt a repülés előtti három mérés.) A mérések időzítését nagy alaposággal alakítottuk ki. Az indulás utáni 6–12. napokban volt az első mérés az űrben, a következő pedig a 45–60. napokon. A Földet érés után volt két korai mérés, majd két hét múlva két későbbi mérés. A korai méréseknél még nem adaptálódtak a személyek az új helyzethez, míg a késői mérésekről azt feltételeztük, hogy már sikeresen lezajlott az alkalmazkodás.

A kutatócsoportunk tagjai személyesen vettek részt a földi adatgyűjtésben. Az űrbéli méréseket, amelyeket a Columbus laboratórium Európai Fiziológia Moduljának (European Physiology Module-EPM) 128 csatornás EEG-készüléke tett lehetővé (MEEMM – Multi-Electrode Electroencephalogram Mapping Module), pedig a toulouse-i irányítóközpontból követhettük nyomon. Az űrhajósok időbeosztása eléggé szoros, így 120 percnél többet nagyon ritkán tudtak a kísérletünkre fordítani a Földön. Ebből 75 perc volt a feladat végrehajtása, a többi időt az elektródasapka felhelyezésére, illetve a feladat végén a leszerelésére fordítottuk.

Az űrállomáson a kísérlet ettől kicsit több idő ráfordítását igényelte a személyektől, ami annak is köszönhető volt, hogy míg a Földön egy minimum háromtagú csapat vezette a kísérletet, és készítette elő a megfelelő feltételeket a kísérlethez, addig az űrben mindent a vizsgálati személyünk és egyik társa végzett. A társ feladata volt felhelyezni és megfelelő működésre bírni az elektródasapkát és a sapkán kívüli elektródákat. Az űrhajósok a Földön tanulták meg ezt a folyamatot. Bár nagyon kevés időt kaptak ennek elsajátítására, gond nélkül oldották meg a feladatot az űrállomáson. Néha technikai okok miatt előfordult csúszás a Földön és az űrben is, ilyenkor az űrhajósok készségesen vállalták aznapi feladataik csúszását, illetve a szabadidejüket is rááldozták.

Kísérleteinkben egy laptop monitorján mutattuk be a feladatot, amelyre egy alagútszerű szerkezet volt szerelve, aminek az volt a célja, hogy kizárja a külső ingereket, amelyek referenciaként szolgálnak ahhoz, hogy mi a vízszintes és mi a függőleges. Ilyen külső inger lehet a Földön a falak helyzete, a monitor széle vagy az asztal körvonala (1. kép).

súlytalanságban, ezért az izomműködés okozta bioelektromos zaj sem zavarja az EEG-felvételt. Az egyetlen probléma a Nemzetközi Űrállomáson való kísérletezéssel, hogy egy „kicsit” drága.

Eredményeink egyértelműen bizonyították, hogy az űrhajósok komoly teljesítményromlást mutatnak bizonyos feladatokban. Az eddig végzett kognitív pszichológiai kísérletek és mérések az űrben nem jeleztek ilyen jelentős problémákat. Ennek több oka is lehet. Egyrészt viszonylag kevés ilyen irányú kutatás zajlott, ezek is főként olyan paradigmákat vizsgáltak, ahol nem volt ilyen szintű idői nyomás a kísérletben, ezért nagyobb tere volt a kompenzatorikus stratégiáknak, amelyek révén az űrhajósok jól végezték el a feladatokat, de adott esetben jelentősen lassabban és/vagy nagyobb erőfeszítést téve.

Nagy kérdés ezen eredmények kapcsán, hogy vajon más feladatokban is láttunk volna teljesítményromlást, vagy ez specifikus a térvizuális munkamemóriát igénybe vevő feladatokra? A válasz az űrhajózás biztonsága szempontjából is lényeges: kell-e számítani nagyobb kockázatokra, csökkent teljesítményre kiélezettebb szituációkban, vagy ezek a problémák olyan specifikus feladatokra korlátozódnak, ahol valamilyen irányélezéssel kapcsolatos döntést kell hozni?

Sajnos az ilyen jellegű kérdésekre nem lehet gyorsan választ kapni, mert a Nemzetközi Űrállomáson nem lehet minden héten kísérletezni. A kísérletezésre való jogot nyílt pályázat során lehet elnyerni, ahol hatalmas a verseny, és nagyon korlátozottak a nyerési esélyek. Ezért a fenti kérdést, ha nem is tudjuk most megválaszolni, de lehet, hogy a jövőben felhalmozódó új kísérleti eredmények segítenek majd bennünket a tisztánlátásban. Mindenesetre saját eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy az űrutazás agyra és viselkedésre gyakorolt hatása sokkal nagyobb és kedvezőtlenebb lehet, mint korábban gondoltuk.

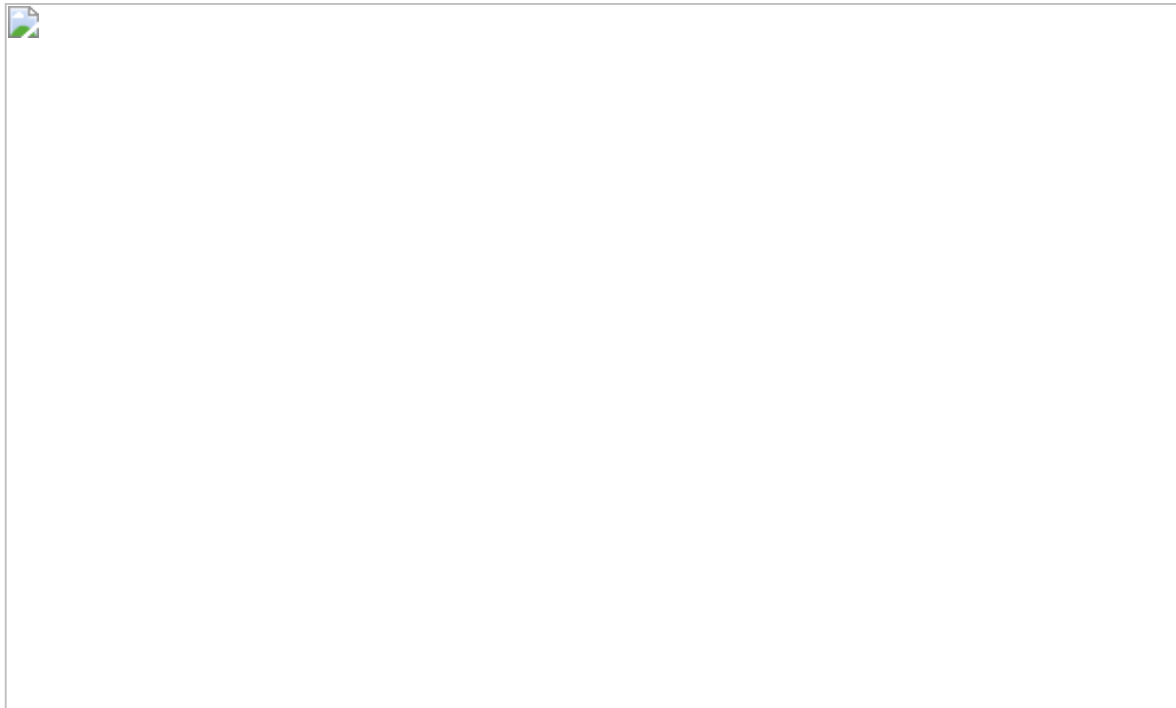
Kulcsszavak: *űrkutatás, súlytalanság, pszichológia, kognitív idegtudomány, EEG, extrém körülmények*

IRODALOM

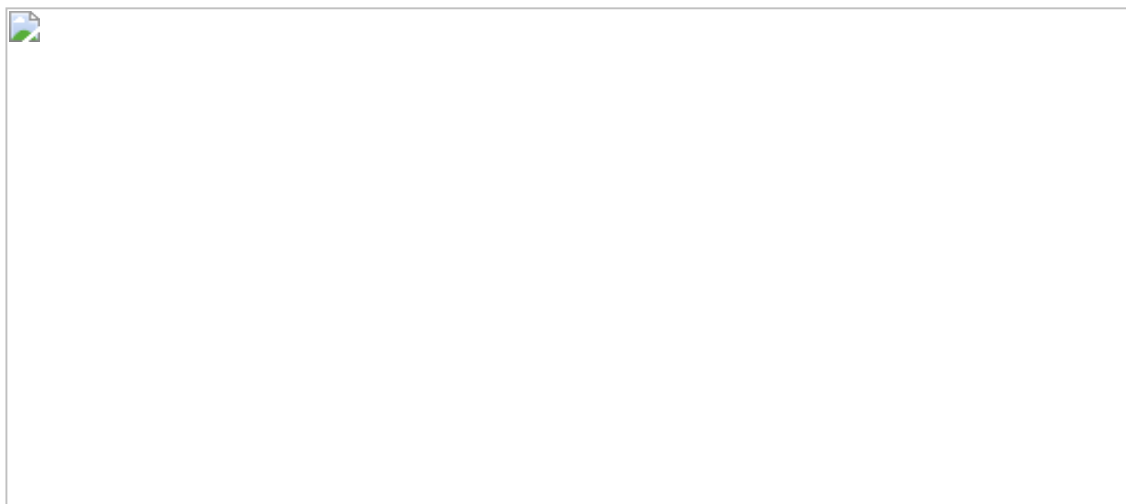
- Balázs László – Czigler I. – Grósz A. – Karmos Gy. – Szabó S. –Tótká Zs. (2000): Frontális diszfunkcióra utaló eseményhez kötött agyi potenciál változások magassági hipoxiában. Magyar Pszichológiai Szemle. 55, 4, 501–516. DOI: 10.1556/MPSzle.55.2000.4.9
- Balázs László – Barkaszi I. – Ehmann B. – Takács E. (2014): Ember a világűrben. Természet Világa. 145, II., 53–56.
- Balázs László – Czigler I. – Grósz A. – Emri M. – Mikecz P. – Szakáll Sz., Jr. – Tron L. (2005): Environmental Challenge Impairs Prefrontal Brain Functions. Journal of Gravitational Physiology. 12, 1, 31–32.

Hadfield, Chris (2014): Egy űrhajós tanácsai földlakóknak – Mit tanultam az űrrepüléseim alatt a találmányokról, az eltökéltségről és arról, hogy mindig bármire készen kell állni. Gabo, Budapest

Kanas, Nick – Manzey, Dietrich (2008): Space Psychology and Psychiatry. Springer, Netherlands



1. ábra • Az „órás” kísérlet vázlatá [<](#)



2. ábra • A reakcióidő változása a kísérlet során. Az 1–2–3. és a 6–7–8–9. mérés a Földön zajlott, míg a 4. és 5. a Nemzetközi Űrállomáson. [<](#)