

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**Extrém környezeti tényezők kognitív folyamatokra
gyakorolt hatásának vizsgálata eseményhez
kötött agyi potenciálok módszerével**

Barkaszi Irén

Témavezető: Dr. Balázs László



DEBRECENI EGYETEM

Humán Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2017.

I. Az értekezés célkitűzése, a téma körülhatárolása

Az értekezés fő célja annak tisztázása, hogy romlanak-e a kognitív funkciók az űrben és az Antarktiszon. Számos tanulmány vizsgálta viselkedéses változókka l ennek a két extrém környezetnek a hatását a kognitív funkciókra (Strangman, Sipes, & Beven, 2014). Ezek az irodalmi adatok ellentmondásosak és ellentétben az anekdotikus adatokkal, döntően azt mutatják, hogy a kognitív funkciók nem károsodnak jelentősen ezekben a helyzetekben. Ennek tisztázása főleg az űrhajósokra nézve nagyon fontos, de az antarktiszi áttelelő legénység szempontjából sem elhanyagolható, mivel mindkét környezetben adódhatnak olyan helyzetek, ahol a kognitív funkciók romlása súlyos, vagy akár végzetes következményekkel járhat. Az űrhajósok feladata többek között az űrállomás karbantartása. Az Antarktiszon szintén a legénység tartja fenn az állomást, ők gondoskodnak arról, hogy megfelelően működjön a világítás, fűtés stb. Ha a legénység nem tudja pontosan elvégezni a munkáját és probléma adódik a berendezésekkel, ez az életükbe is kerülhet. Az űrállomás és az Antarktis z ugyanakkor olyan más extrém körülmények modelljeként is szolgálhat, ahol egyszerre több, a kognitív teljesítményre negatívan ható stressztényező együttes hatásával kell számolni (például magaslatokon végzett sport, katonai vagy munkatevékenység, tengeralttjárókon és más hasonló környezetben elszenvedett izoláció).

Az Antarktis z és az űrállomás kognitív funkciókra gyakorolt hatását viselkedéses válaszok és agyi eseményhez kötött potenciálok (EKP) - főként a P3a EKP komponens - módszerével vizsgáltuk. A legszélesebb körben elfogadott elmélet szerint a P3a a figyelmi váltás jele (Näätänen, 1990). Mindkét extrém környezetben vizsgáltuk ezt a váratlan, ritka esemény által kiváltott agyi választ (P3a), amellyel kapcsolatban fontos tisztázni, hogy milyen tulajdonságokkal kell rendelkeznie ennek az eseménynek ahhoz, hogy figyelmi folyamatokat mozgósítson. Ennek megfelelően az értekezés további célja annak vizsgálata, hogy a környező eseményekhez képest milyen komplexitással kell rendelkeznie a feladat szempontjából lényegtelen, ritka ingernek ahhoz, hogy magára vonja a figyelmet. Továbbá azt is vizsgáltuk, hogy az irreleváns inger változatossága milyen szerepet játszik a figyelmi folyamatok mozgósításában.

Az Antarktiszon és az űrállomáson is számos olyan stressztényezőnek vannak kitéve a személyek, amelyek negatívan befolyásolhatják a kognitív funkcióikat. Mindkét környezetben megváltozik a fény-sötétség ciklus, ami más stressztényezőkkel együtt alvásproblémákhoz vezethet. Ezekhez társul még az elszigeteltség és a bezártság. Az űrben a mikrogravitáció hatására a testfolyadék a fej irányába helyeződik át, ami viszont feltételezhetően más

tényezőkkel együtt a koponyaűri nyomásfokozódásért és látásproblémák kialakulásáért felelős, amit együttesen látáskárosodás és koponyaűri nyomás szindrómának nevezünk (Alexander et al., 2012). A mikrogravitáció jelentősen befolyásolja a neurovesztibuláris rendszert is, aminek az egyik legsúlyosabb következménye az űrbetegség az űrrepülés elején, de közvetlenül is befolyásolhat olyan kognitív funkciókat, mint a téri figyelem, téri orientáció, tárgy- és mintafelismerés (Glasauer & Mittelstaedt, 1998; Kanas & Manzey, 2008). A mikrogravitáció a szenzo-motoros rendszer működését is lényegesen befolyásolja, amelyre különösen szükség van a kézmozgás kontrollját igénylő feladatokban, amelyben például egy pályát kell követni vagy egy pontot megközelíteni (Bock, 1998). A mikrogravitáció közvetlen hatásain túl további tényezők befolyásolhatják negatívan az űrhajósok kognitív funkcióit. Az űrhajósok nagy munkatempónak vannak kitéve, továbbá az űrhajóban a földinél jóval magasabb a CO₂ szint és ionizáló sugárzás hatásával is számolni kell, ami mind negatívan befolyásolhatja a kognitív funkciókat. Bár az itt felsorolt tényezők nincsenek jelen az Antarktison, a kutatóállomás helyzete miatt (3233 m tengerszint feletti magasságban van) viszont a mérsékelt hipoxia esetleges kognitív hatásaival is számolni kell.

A Földön számos kutatásban vizsgálták külön-külön ezeknek a tényezőknek a hatását a kognitív teljesítményre. Ezek a kutatások elengedhetetlenek annak tisztázásához, hogy az űrben és Antarktison megfigyelt kognitív hatásokhoz milyen tényezők járulhatnak hozzá. A fent felsorolt stressztényezők közül a földi körülmények között leginkább kutatott tényező az alváshiány. Az alváshiány hatását vizsgáló kutatások számos kognitív funkciót érintő feladatban kaptak teljesítmény romlást, többek között a kutatásaink szempontjából lényeges figyelmi funkciókban is, amit az általunk is használt EKP mutatókkal is igazoltak (lásd Alhola & Polo-Kantola, 2007 összefoglalóját). A döntött testhelyzetben (a testfolyadék fej irányú áthelyeződését szimulálja) és izolációban végzett kutatások döntően nem számolnak be rosszabb kognitív teljesítményről, ami a figyelmet érintő feladatokra is igaz (pl. Basner et al., 2014; Seaton, Slack, Sipes, & Bowie, 2007). A vizuális károsodás és koponyaűri nyomás szindrómával sok tünetben átfedő, az ún. idiopátiás koponyaűri nyomásfokozódás szindrómában szenvedő betegekkel végzett kutatások azt mutatják, hogy ez a szindróma negatívan befolyásolhatja a figyelmet, végrehajtó funkciókat, téri-vizuális memóriát, verbális és nem verbális tanulást és memóriát (lásd Strangman et al., 2014 összefoglalóját), bár a két szindróma tünetei közötti eltérés miatt óvatosan lehet következtetést levonni ezekből a kutatásokból a látáskárosodás és koponyaűri nyomás szindrómára vonatkozólag. Ehhez hasonlóan, bár az ionizáló sugárzáson átesett páciensekkel végzett és sugárzásnak kitett állatokkal végzett kutatások azt mutatják, hogy a sugárzás negatívan befolyásolhatja a

figyelmet, memóriát, szenzomotoros funkciókat, végrehajtó funkciókat és a tanulást, nehéz következtetést levonni ezekből az eredményekből az űrben érvényesülő sugárzásra vonatkozóan, mivel ezek a vizsgálatok a sugárzás típusában és/vagy dózisában is eltérnek az űrben érvényesülő sugárzástól (lásd Cucinotta, Alp, Sulzman, & Wang, 2014 összefoglalóját). Egy további tényezőt, a megemelkedett CO₂ koncentrációt vizsgáló kutatások döntően arról számolnak be, hogy az űrállomáson megengedett értéknél még nem károsodnak a kognitív funkciók, viszont magasabb értéknél, ami előfordulhat átmenetileg az űrállomáson, már romlik a teljesítmény az észleléses, érvelési, matematikai és vizuomotoros feladatokban (lásd Strangman et al., 2014 összefoglalóját). Egy további, az antarktiszi kutatóállomáson ható negatív tényező, a hipoxia hatását vizsgáló kutatások többsége a pszichomotoros, matematikai, logikai érvelési, rövid-távú memória és szimultán végzett feladatokban elért teljesítmény romlásáról számolnak be (pl. Shukitt-Hale, Banderet, & Lieberman, 1998), ugyanakkor bőven vannak ennek ellentmondó eredmények is (pl. Crow & Kelman, 1973).

II. Az alkalmazott módszerek

Mindhárom tézis tanulmányban eseményhez kötött potenciálok (EKP) módszerét alkalmaztuk. Ennek a módszernek az előnye a viselkedéses adatokkal szemben, hogy nagyon jó az idői felbontása, így egy esemény megjelenése után szét lehet bontani az ingerfeldolgozás egymást követő szakaszait a különböző komponensek segítségével. Így pontosabb képet kapunk arról, hogy például milyen funkciók romlottak extrém helyzetben. További előnye ennek a módszernek, hogy olyan esetekben is szolgáltat információt az ingerfeldolgozásról, amikor viselkedéses adat nem áll rendelkezésre. Tipikusan ilyen helyzet a feladat szempontjából irreleváns, ritka, váratlan inger feldolgozása, amire nem kell válaszolnia a kísérleti személynek, így nincs viselkedéses adat.

Az első tanulmányban fiatal felnőtt diákok, a másodikban az antarktiszi áttelelő legénység, a harmadik vizsgálatban pedig űrhajósok vettek részt. Az adatok elemzésénél hasonló lépéseket követtünk mindhárom tanulmányban (pl. átlagolási technika, műtermékszűrés).

Az **első tézis tanulmányban** azt vizsgáltuk, hogy mi a feltétele annak, hogy egy feladat irreleváns inger figyelmi folyamatokat mozgósítson. Azt vizsgáltuk, hogy a ritka és feladat szempontjából irreleváns események feladat szempontjából releváns eseményekhez viszonyított komplexitása és a irreleváns komplex események változatossága milyen szerepet játszik a figyelmi folyamatok mobilizálásában, azaz P3a komponens kiváltásában. Akusztikus

és vizuális modalitásban is az ún. kakukktojás paradigma három különböző verzióját adtuk a kísérleti személyeknek. Mindkét modalitásban volt két olyan kísérleti helyzet, amiben a hagyományos kakukktojás paradigmának megfelelően egyszerű ritka célingerek és egyszerű gyakori (un. sztenderd) ingerek, továbbá komplex ritka feladat-irreleváns ingerek voltak (pl. Courchesne, Hillyard, & Galambos, 1975). A két kísérleti helyzet abban különbözött egymástól, hogy a komplex ingerek az egyikben változatosak voltak, míg a másikban mindig ugyanaz az inger jelent meg. A harmadik kísérleti helyzetben viszont a hagyományos oddball paradigmával ellentétben, a sztenderd és célingerek voltak komplexek és a feladat-irreleváns ingerek egyszerűek.

A **második tézis tanulmányban** az antarktiszi átteelés kognitív funkciókra gyakorolt hatását vizsgáltuk akusztikus disztraktor paradigma és figyelmi hálózatok teszt (attention network test, ANT) alkalmazásával. A résztvevő legénység egy évet töltött az Antarktison, amelyből körülbelül 8-9 hónapot lefedő 6 mérést (kb. 6 hetenként) hasonlítottunk össze. Az akusztikus disztraktor paradigmában (Schröger & Wolff, 1998) a személyek feladata az volt, hogy eldöntsék, milyen hosszú a hang, amit hallanak (rövid vagy hosszú). Ritkán a hangok egy feladat szempontjából irreleváns tulajdonságban, a frekvenciában eltértek a megszokottól, azaz a sztenderd hangoktól. Ezekre a hangokra (deviáns hangok) tipikusan romlik a teljesítmény a sztenderd hangokhoz képest. Ami pedig a kiváltott potenciálokat illeti, ezek a deviáns hangok tipikusan kiváltják az ún. eltérési negativitás (EN), P3a és reorientációs negativitás (RON) komponenseket. A figyelmi hálózatok feladatban (Eriksen & Eriksen, 1974; Posner, 1980) a személyek feladata az volt, hogy a képernyőn megjelenő nyilak közül a középsőről eldöntsék, hogy merre mutat. A többi nyíl mutathatott ugyanolyan irányba, mint a középső (kongruens feltétel) és mutathattak az ellentétes irányba is (inkongruens feltétel). Az esetek harmadában egy előjelző inger jelezte a megjelenő nyilak helyét és idejét (Téri jelzőinger), másik harmadában csak az idejét jelezte (Központi jelzőinger) és a harmadik harmadban nem volt ilyen előjelző inger (Nincs jelzőinger). Ez a feladat alkalmas arra, hogy a figyelemnek három aspektusát mérje: az éberség fokozódást, a téri orientációt, és a gátlási (más néven végrehajtó kontroll) funkciót (Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002; Posner & Petersen, 1990). Ebben a feladatban tipikusan az inkongruens eseményekre rosszabb a teljesítmény a kongruensekhez képest. A jelzőingerek függvényében a legrosszabb a teljesítmény akkor, amikor sem idői, sem téri előjelzése nincs a megjelenő célingernek, illetve a téri előjelzés tovább javít a teljesítményen az idői előjelzéshez képest. Csak néhány kutatás vizsgálta ebben a feladatban az EKP komponenseket. Ezek a kutatások azt mutatják, hogy amikor nincs jelzőinger, akkor a célinger kisebb occipitalis N1-t vált ki, mint amikor

van bármilyen jelzőinger (Neuhaus et al., 2010). Továbbá az inkongruens ingerek ugyanolyan nagyságú fronto-centrális eloszlású N2-t (Neuhaus et al., 2007), nagyobb centrális maximumú no-go P3-t (Neuhaus et al., 2010) és kisebb parietális eloszlású P3b-t (Neuhaus et al., 2010) váltanak ki, mint a kongruens események.

A **harmadik tézis tanulmányban** az úrutazás kognitív funkciókra gyakorolt hatását vizsgáltuk módosított, téri orientációt is igénybe vevő vizuális kakukktojás feladatokkal. Arra voltunk kíváncsiak, hogy a figyelmi folyamatok romlanak-e az úrutazás során, amit feladat szempontjából irreleváns, komplex, ritka, változatos ingerre adott agyi válasz (P3a) segítségével vizsgáltunk. Az úrhajósok 3 alkalommal a repülés előtt, 2 alkalommal a repülés során és 4 alkalommal a visszaérkezés után is elvégezték ezeket a feladatokat. Annak érdekében, hogy össze tudjuk hasonlítani, hogy az ürrepülés során a kognitív funkciók adaptálódtak-e a szélsőséges körülményekhez, a két repülés alatti mérés egy korai (az állomásra érkezés után 1-2 héttel) és egy jóval későbbi (1,5-2 hónappal az állomásra érkezés után) mérésből állt. A visszaadaptálódás hatásának vizsgálata szempontjából pedig a visszaérkezés után közvetlenül (2-3 nap) és később (2-3 hét) is volt mérés.

III. Az eredmények tézisszerű felsorolása

1. **Az első tanulmány eredményei egy új szemponttal gazdagították a figyelmi váltással kapcsolatos ismereteket. Kimutattuk ugyanis, hogy a feladatvégzés közben váratlanul és ritkán megjelenő irreleváns ingerek csak abban az esetben okoznak figyelmi orientációt és váltják ki ennek agyi elektromos indikátorát, ha ezek legalább olyan komplexek, mint a feladat ingerei által meghatározott ingerkörnyezet.** Továbbá az eredmények azt is mutatják, hogy a ritkán és váratlanul megjelenő komplex események az egyszerű környezetben akkor is magukra vonják a figyelmet, ha ez az esemény mindig ugyanaz. Eredményeink alátámasztják azt a hipotézisünket, hogy a feladat-készlettől való eltérés nem elegendő a figyelmi folyamatok mozgósításához, ehhez elaborációs folyamatok (pl. inger kiértékelése, kategorizációja) szükségesek. Eredményeink segítik annak tisztázását, hogy egy váratlan esemény milyen körülmények között vonja magára a figyelmet és milyen körülmények között nem.

2. A második tanulmányban mindkét feladatban mind teljesítmény, mind az EKP mutatókban megkaptuk azokat a jelenségeket, amelyek normál körülmények között is jellemzőek ezekre a feladatokra (pl. hogy a deviáns ingerekre lassabban válaszolnak a személyek, mint a sztenderdekre). A vizsgált személyek teljesítménye javult, az EKP mutatók

pedig nem változtak jelentősen az antarktiszi tartózkodás során. **Eredményeink azt mutatják, hogy az Antarktison áttelelő legénység tagjai sikeresen adaptálódtak ehhez a környezethez, azaz a hipoxia és egyéb tényezők, mint az izoláció, bezártság, fény-sötétség ciklus megváltozása és főleg ez utóbbi tényező miatt feltehetően kialakuló alvásproblémák ellenére a kognitív funkciók nem károsodtak.** Több tényező is ellensúlyozhatta a stresszorok negatív hatását. Egyrészt a legénységnek lehetősége volt nappal szunyókálni és a napi alvás mennyisége jelentős hatással van a kognitív funkciókra (Mollicone, Van Dongen, Rogers, & Dinges, 2008). Másrészt a küldetés pozitív vonatkozásai (pl. a környezet szépsége) ellensúlyozhatták a negatív tényezőket (pl. Suedfeld, 2005). Továbbá több tanulmány is azt mutatja, hogy a hipoxia nem feltétlenül okoz kognitív romlást (pl. Gustafsson, Gennser, Ornhausen, & Derfeldt, 1997) és a hosszú tartózkodás a hipoxiás környezetben fiziológiai akklimatizációt eredményezhet (Zubieta-Calleja, Paulev, Zubieta-Calleja, & Zubieta-Castillo, 2007).

3. A harmadik tanulmány eredményei, a korábbi irodalmi adatok többségével ellentétben bizonyítják, hogy az űrutazás alatt romlanak a kognitív funkciók. Ennek felismerése és a károsodott kognitív funkciókból adódó hibák kivédése fontos előrelépés lehet a további sikeres űrutazások tervezéséhez. Az eredmények azt is bizonyítják, hogy az űrállomáson nem adaptálódnak a kognitív funkciók és ezeknek a funkcióknak a visszaadaptálódása az űrutazás után nem azonnali. Azt feltételezzük, hogy több tényező együttes hatása okozza az űrutazás negatív hatását a figyelmi funkciókra. Irodalmi adatok alapján az alváshiány és a nagy munkatempó által okozott mentális fáradtság is okozhat változást abban a figyelmi mutatóban (P3a amplitúdó), amit mi is vizsgáltunk (Gosselin, De Koninck, & Campbell, 2005; Massar, Wester, Volkerts, & Kenemans, 2010). A neurovesztibuláris változás szerepe sem kizárt a kognitív romlásban, főleg a korai visszaadaptálódás során, továbbá az űrállomáson a megemelkedett CO₂ szint is járhat kognitív változással, bár figyelmi funkciók tekintetében ez nem bizonyított. Habár irodalmi adatok nem támasztják alá, hogy az izoláció, bezártság és a testfolyadék fej irányú áthelyeződése negatívan befolyásolná a figyelmi funkciókat, ezeknek a tényezőknek a szerepét sem lehet kizárni, mivel az ezekkel kapcsolatos vizsgálatokban főként viselkedéses adatokon nézték a változást. Két további tényező, az ionizáló sugárzás és a látáskárosodás és koponyaűri nyomás szindróma, ami előfordulhat az űrhajósoknál, szintén negatívan befolyásolhatja a figyelmet.

IV. A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények és egyéb közlemények



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/159/2017.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Barkaszi Irén
Neptun kód: AEYNQA
Doktori Iskola: Humán Tudományok Doktori Iskola

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. Kondé, Z., **Barkaszi, I.**, Czigler, I.: Gátlási mechanizmusok és válaszszelekciós interferencia a feladatváltásban.

Pszichológia. 29 (2), 119-143, 2009. ISSN: 0230-0508.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/Pszicho.29.2009.2.3>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

2. **Barkaszi, I.**, Takács, E., Czigler, I., Balázs, L.: Extreme environment effects on cognitive functions: a longitudinal study in high altitude in Antarctica.

Front. Hum. Neurosci. 10, 1-12, 2016. EISSN: 1662-5161.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2016.00331>

IF: 3.634 (2015)

3. Takács, E., Sulykos, I., Czigler, I., **Barkaszi, I.**, Balázs, L.: Oblique effect in visual mismatch negativity.

Front. Hum. Neurosci. 7, 1-13, 2013. EISSN: 1662-5161.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2013.00591>

IF: 2.895

4. **Barkaszi, I.**, Czigler, I., Balázs, L.: Stimulus complexity effects on the event-related potentials to task-irrelevant stimuli.

Biol. Psychol. 94 (1), 82-89, 2013. ISSN: 0301-0511.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.05.007>

IF: 3.473





További közlemények

Magyar nyelvű közlemények hazai folyóiratban (1)

5. Balázs, L., **Barkaszi, I.**, Czigler, I., Takács, E.: Agyműködés súlytalanságban: Kísérlet a Nemzetközi Űrállomáson.
Magy. tud. 176 (9), 1045-1051, 2011. ISSN: 0025-0325.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (4)

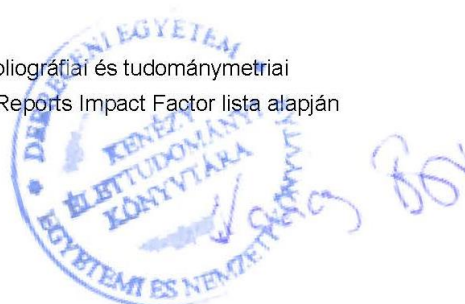
6. **Barkaszi, I.**, Czigler, I., Pató, L., Balázs, L.: Target P3 decrement as a result of mental fatigue.
Int. J. Psychophysiol. 77 (3), 330-331, 2017. ISSN: 0167-8760.
7. **Barkaszi, I.**, Takács, E., Czigler, I., Balázs, L.: The impact of Antarctic overwintering on cognitive processes.
Psychophysiology. 50 (S1), S134, 2013. ISSN: 0048-5772.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12120>
8. **Barkaszi, I.**, Czigler, I., Balázs, L.: Influence of stimulus complexity and variability to the ERP response evoked by task irrelevant stimuli.
Psychophysiology. 48 (s1), s38, 2011. ISSN: 0048-5772.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01259.x>
9. **Barkaszi, I.**, Czigler, I., Balázs, L.: Stimulus complexity effects on the orienting response.
Front. Hum. Neurosci. 00425, 206, 2011. ISSN: 1662-5161.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/conf.fnhum.2011.207.00425>

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 10,002

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 10,002

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2017.05.29.



V. Hivatkozások

- Alexander, D. J., Gibson, C. R., Hamilton, D. R., Lee, S. M. C., Mader, T. H., Otto, C., . . . Zanello, S. B. (2012). *Risk of Spaceflight-Induced Intracranial Hypertension and Vision Alterations*. Retrieved from NASA, Johnson Space Center, Houston, Texas. <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/viip.pdf>
- Alhola, P., & Polo-Kantola, P. (2007). Sleep deprivation: Impact on cognitive performance. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 3(5), 553-567.
- Basner, M., Dinges, D. F., Mollicone, D. J., Savelev, I., Ecker, A. J., Di Antonio, A., . . . Sutton, J. P. (2014). Psychological and behavioral changes during confinement in a 520-day simulated interplanetary mission to mars. *PLoS One*, 9(3), e93298. doi:10.1371/journal.pone.0093298
- Bock, O. (1998). Problems of sensorimotor coordination in weightlessness. *Brain Research Reviews*, 28(1-2), 155-160.
- Courchesne, E., Hillyard, S. A., & Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39(2), 131-143.
- Crow, T. J., & Kelman, G. R. (1973). Psychological effects of mild acute hypoxia. *British Journal of Anaesthesia*, 45(4), 335-337.
- Cucinotta, F. A., Alp, M., Sulzman, F. M., & Wang, M. (2014). Space radiation risks to the central nervous system. *Life Sciences in Space Research*, 2, 54-69. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.lssr.2014.06.003>
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16(1), 143-149. doi:10.3758/bf03203267
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3), 340-347. doi:10.1162/089892902317361886
- Gosselin, A., De Koninck, J., & Campbell, K. B. (2005). Total sleep deprivation and novelty processing: implications for frontal lobe functioning. *Clinical Neurophysiology*, 116(1), 211-222. doi:10.1016/j.clinph.2004.07.033
- Gustafsson, C., Gennser, M., Ornhaugen, H., & Derefeldt, G. (1997). Effects of normobaric hypoxic confinement on visual and motor performance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 68(11), 985-992.
- Massar, S. A., Wester, A. E., Volkerts, E. R., & Kenemans, J. L. (2010). Manipulation specific effects of mental fatigue: evidence from novelty processing and simulated driving. *Psychophysiology*, 47(6), 1119-1126. doi:10.1111/j.1469-8986.2010.01028.x
- Mollicone, D. J., Van Dongen, H. P., Rogers, N. L., & Dinges, D. F. (2008). Response Surface Mapping of Neurobehavioral Performance: Testing the Feasibility of Split Sleep Schedules for Space Operations. *Acta Astronautica*, 63(7-10), 833-840. doi:10.1016/j.actaastro.2007.12.005
- Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences*, 13(2), 201-233. doi:10.1017/S0140525X00078407
- Neuhaus, A. H., Koehler, S., Opgen-Rhein, C., Urbanek, C., Hahn, E., & Dettling, M. (2007). Selective anterior cingulate cortex deficit during conflict solution in schizophrenia: an event-related potential study. *Journal of Psychiatric Research*, 41(8), 635-644. doi:10.1016/j.jpsychires.2006.06.012

- Neuhaus, A. H., Urbanek, C., Opgen-Rhein, C., Hahn, E., Ta, T. M., Koehler, S., . . . Dettling, M. (2010). Event-related potentials associated with Attention Network Test. *International Journal of Psychophysiology*, 76(2), 72-79. doi:10.1016/j.ijpsycho.2010.02.005
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3-25.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42. doi:10.1146/annurev.ne.13.030190.000325
- Schröger, E., & Wolff, C. (1998). Behavioral and electrophysiological effects of task-irrelevant sound change: a new distraction paradigm. *Cognitive Brain Research*, 7(1), 71-87. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6410\(98\)00013-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6410(98)00013-5)
- Seaton, K. A., Slack, K. J., Sipes, W., & Bowie, K. (2007). Artificial gravity as a multi-system countermeasure: effects on cognitive function. *J Gravit Physiol*, 14(1), P27-30.
- Shukitt-Hale, B., Banderet, L. E., & Lieberman, H. R. (1998). Elevation-Dependent Symptom, Mood, and Performance Changes Produced by Exposure to Hypobaric Hypoxia. *The International Journal of Aviation Psychology*, 8(4), 319-334. doi:10.1207/s15327108ijap0804_1
- Strangman, G. E., Sipes, W., & Beven, G. (2014). Human cognitive performance in spaceflight and analogue environments. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(10), 1033-1048. doi:10.3357/ASEM.3961.2014
- Suedfeld, P. (2005). Invulnerability, coping, salutogenesis, integration: four phases of space psychology. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(6 Suppl), B61-66.
- Zubieta-Calleja, G. R., Paulev, P. E., Zubieta-Calleja, L., & Zubieta-Castillo, G. (2007). Altitude adaptation through hematocrit changes. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 58 Suppl 5(Pt 2), 811-818.