

**A gyakorlás hatása a feladatváltásra különböző életkorokban – elektrofiziológiai korrelátumok –
OTKA PD 101175**

Zárójelentés

Az öregedés során számos szerkezeti és funkcionális változás történik az agyban, melyeknek a mindennapi életünkre is hatása van. Olyan kognitív folyamatok érintettek, mint a munkamemória, a figyelem, problémamegoldás, tervezés, vagy a gátlás különböző formái. A pályázat célkitűzése az volt, hogy megvizsgáljuk az életkori különbségeket a feladatra való felkészülésben, a gátlásban, a célváltásban, a szabályok aktiválásában a feladatváltási paradigmán keresztül. Célunk volt annak vizsgálata is, hogy egy kognitív tréninggel az esetleges életkori eltérések megszüntethetők-e rövid-, illetve hosszútávon, a tréning hatással van-e a gyakorolttól eltérő feladatokban mutatott teljesítményre is.

A feladatváltási paradigmában tipikusan a résztvevőknek két egyszerű kétválasztásos reakcióidő-feladat között kell váltaniuk (Kiesel és mtsai, 2010). A feladatokat önmagukban is bemutatjuk (single-task block), illetve együtt is (mixed-task block). A teljesítmény általában rosszabb a feladatismétlésnél azokban a blokkokban, ahol több feladat van, az egy feladatot tartalmazó blokkal szemben (keverési veszteség, mixing costs – MC). A MC mértéke több feladatkészlet egyidejű fenntartásának hatékonyságát jellemzi a munkamemóriában. Azokban a blokkokban, ahol több feladat van, a teljesítmény várhatóan rosszabb a feladatváltás esetén a feladatismétléshez képest. Ez a váltási veszteség (switching costs – SC) a kognitív rugalmasság és a gátló funkciók hatékonyságának mérőszáma.

A feladat informatív jelzőingeres változatában a célingert egy explicit jelzőinger előzi meg, amely egyértelműen kijelöli, melyik feladatot kell végrehajtani. Ilyenkor az előkészületi folyamatok elkezdődnek már a jelzőinger után: a feladat és a hozzá tartozó inger-válasz kapcsolatok behívódnak a munkamemóriába. Amennyiben a jelzőinger nem informatív, csak a célinger időzítésével kapcsolatos információ érhető el, egyéb előkészületek az aktuális feladatra nem történnek. További variációt jelent, ha nogo ingereket illesztünk a sorozatba, melyek után nem várunk reakciót a kísérleti személyektől. A go és a nogo ingerek utáni go próbákban eltérő hatások érvényesülnek. A go utáni go próbákat befolyásolja az előző próba feladatkészletének áthúzódo aktivációja, feladatváltás esetén az aktivált és a gátolt feladatkészlet közötti interferenciát fel kell oldani. A nogo utáni go próbákban az áthúzódo válaszgátlással számolhatunk, viszont a korábbi feladatkészlet aktivációja már nem hat, és nincs versengés a válaszszelekcióban sem.

A feladatváltási paradigma egyes alfolyamatait szétválaszthatjuk az eseményhez kötött potenciálok módszerével. A jelzőinger után megjelenő korai pozitívítást a célaktivációval (Jamadar és mtsai, 2010), a késői pozitívítást a kategória-válasz szabály aktivációval (Nicholson és mtsai, 2006) hozhatjuk összefüggésbe. Az ezt követő hosszú negativitás a várakozási negativitás (CNV), ami a motoros és kognitív előkészületi folyamatokkal áll kapcsolatban (Walter és mtsai, 1964). A célinger után megjelenő N2 komponens összefüggésben állhat a kognitív kontroll egyes folyamataival, mint a válaszgátlás, konfliktus, vagy hiba monitorozás (Folstein és mtsai, 2008). Az ezt követő P3b komponens a munkamemórián belüli kontextus frissítésének (Donchin és mtsai, 1988), vagy egy perceptuális ciklus zárásának (Verleger, 1988) az indexe lehet. A nogo ingerekre megjelenő nogo P3 komponens pedig a gátlási folyamatokat jellemzi (Kok és mtsai, 2004).

A vizsgálatban fiatalok és idősek vettek részt, mindkét életkori csoportban kontroll és tréning csoportot alakítottunk ki. A kontroll csoport tagjai 4 alkalommal voltak a laborban. Az első alkalommal felmértük egészségi állapotukat, szokásaikat, és felvettük velük a Wechsler Felnőtt Intelligenciatesztet (WAIS-IV). A második alkalommal történt az EEG rögzítése, amit megismételtünk egy hónap és egy év múlva is. A kísérleti csoport tagjai ezen felül a 2. és a 3. alkalom között 8 alkalommal egy kb. 50 percre tartó gyakorlásban vettek részt, melynek során az alapfeladatnak az egyéni teljesítményhez folyamatosan alkalmazkodó nehézségű változatát végezték.

Az EEG rögzítés során az alap feladat a feladatváltási paradigma (task switching) informatív jelzőingeres változata volt nogo ingerekkel. A monitor közepén megjelenő kereszt színe jelezte, hogy a később megjelenő betű-szám párral kapcsolatban páros/páratlan, vagy magánhangzó/mássalhangzó döntést kellett-e hozni. Az esetek 25%-ában különleges karakterek jelentek meg, jelezve, hogy nem kell gombot nyomni (nogo próba). Az informatív jelzőingerek lehetővé teszik, hogy a két lépcsős modellek feltételezése szerinti folyamatokat (feladat aktiváció és végrehajtás) válasszuk el. A nogo ingerek az öregedés során jelentős mértékben változó gátlási folyamatok vizsgálata miatt érdekesek, illetve a go és a nogo ingerek utáni go ingerekre adott válaszok összehasonlítása is feltárja ezen folyamatok életkori különbségeit.

Az alapfeladaton kívül több helyzetben is rögzítettük az EEG-t. Ezek során azt vizsgáltuk, hogy a nem gyakorolt feladatokban – melyek felépítése hasonló, vagy nagyban eltérő – is kimutatható-e a tréningnek köszönhető változás, van-e transzfer hatás. A feladat nem informatív jelzőingeres változatában (közeli transzfer) a kereszt színe mindig szürke, a tényleges feladatot a betű-szám pár színe jelzi, a többi paraméter megegyezik az alaphelyzettel. A harmadik típusú feladatváltási paradigmában két forma alakjáról vagy színéről kell eldönteni, hogy azonosak, vagy különbözőek (közeli transzfer). A távoli transzfer hatást a Figyelmi Hálózat Tesztel (Attention Network Test, Fan és mtsai, 2005) és a WAIS-IV három altesztjével (Számterjedelem, Mátrixkövetkeztetés, Törlés) vizsgáltuk.

A kísérlet menete:

- 1. alkalom:
 - egészségi állapot, szokások felmérése
 - WAIS IV.
- 2. alkalom: EEG
 - EEG csukott és nyitott szemmel
 - Feladatváltási paradigma – magánhangzó/mássalhangzó és páros/páratlan döntés
 - Informatív jelzőinger (referencia feladat)
 - Nem-informatív jelzőinger (közeli transzfer)
 - Feladatváltási paradigma – szín és alak azonosság/különbözőség (közeli transzfer)
 - Figyelmi Hálózat Teszt (távoli transzfer)
- 3-10. alkalom (csak a tréning csoportnak): Feladatváltás – a teljesítmény szerint változó nehézségi szint
- Utánkövetés 1 hónappal később (3. vagy 11. alkalom):
 - WAIS IV. 3 altesztje
 - EEG – a 2. alkalommal azonos elrendezés
- Utánkövetés 1 évvel később
 - az 1 hónapos utánkövetéssel azonos elrendezés

Résztvevők

A vizsgálatban 87 személy vett részt, közülük nyolcat különböző technikai okok miatt kizártunk a végső elemzésből. Ennek megfelelően a végső csoportösszetétel a következőképpen alakult:

Fiatal kontroll: 20 fő, átlagéletkor = $21,7 \pm 1,6$ év; átlagos IQ = $109,4 \pm 14,4$.

Fiatal kísérleti: 19 fő, átlagéletkor = $21,4 \pm 1,7$ év; átlagos IQ = $107,9 \pm 12,3$.

Idős kontroll: 20 fő, átlagéletkor = $66,1 \pm 3,1$ év; átlagos IQ = $120,1 \pm 15,8$.

Idős kísérleti: 20 fő, átlagéletkor = $65,3 \pm 3,3$ év; átlagos IQ = $117,9 \pm 16,7$.

Életkori különbségek

A viselkedéses teljesítménye az időseknek rosszabb volt a fiatalokhoz képest: lassabb reakcióidő, kevesebb találat, több hiba jellemezte őket. A MC szintén nagyobb volt, jelezve, hogy kevésbé voltak hatékonyak abban, hogy több feladatkészletet tartsanak egyidejűleg a munkaemlékezetben.

A szín-forma feladatban a reakcióidő hosszabb volt feladatváltáskor az ismétlésekhez képest, mint ahogy azt az irodalmi adatok alapján várhattuk. Azokban a feladatokban azonban, ahol nogo ingerek is voltak, ez a különbség csak az időseknél volt megfigyelhető, míg a fiataloknál nem volt különbség a kétféle próba között. A SC esetén nem találtunk életkori hatást, ami összefüggésben lehet azzal, hogy a kísérletben résztvevő idősek nagyon aktív életformát folytattak, ami a végrehajtó funkciók hatékonyabb működését eredményezheti a korcsoportjuk átlagához képest. Az eredmények alapján arra következtethetünk, hogy míg az időseknél aktív maradt a korábbi feladatkészlet (ahogy a legtöbb elmélet feltételezi), addig a fiatalok más stratégiát alkalmaztak, amelyben a feladatkészletek aktivációs szintje nem tért el (neutrális kontroll).

A jelzőinger után kb. 200 ms-mal jelentkező korai pozitívást korábban a célaktivációval hozták összefüggésbe, mivel az informatív jelzőingeres feladatban alakult ki, nem informatív jelzőinger esetén viszont nem volt megfigyelhető. Kísérletünkben a nem informatív jelzőinger esetén is látható egy pozitív komponens ebben a tartományban, azonban morfológiája alapján a klasszikus N1-P2 komplex része, ami egy korai figyelmi aktivációs mechanizmus indexe lehet (Cepoiéné és mtsai, 2005). Az informatív helyzetekben ettől eltért a morfológia. A komponens amplitúdója az időseknél nagyobb volt a fiatalokhoz képest. Tekintve a viselkedéses és egyéb elektrofiziológiai eredményeket, ez a kísérleti személyek erőfeszítésével lehet összefüggésben: a fiatalok a munkamemóriába az adott jelzőingerhez tartozó feladatot hívták be, míg az idősek az összes lehetséges feladatot aktiválhatták.

A késői pozitívással kapcsolatban a legváratlanabb eredmény az volt, hogy az informatív jelzőingeres betű-szám feladatban az idős személyeknél egyáltalán nem alakult ki. Ennek az oka valószínűleg, hogy az idősek nem alakítottak ki megfelelő reprezentációt, a munkaemlékezetet túlságosan leterhelte a feladat, ők minden lehetséges feladatkészletet aktiváltak, nem csak az adott próbában releváns szabályokat. A fiatal személyeknél megfigyelhető volt a késői pozitívítás, de a szakirodalmi adatokkal ellentétben, nem tért el az amplitúdó a feladatismétlés és a feladatváltás próbáiban. Ez is azt a feltételezést erősíti, hogy egy neutrális kontroll stratégiát alkalmaztak.

Idős személyeknél a várakozási negativitás nem jelent meg az EEG-ben. Mivel nem alakult ki náluk a feladat megfelelő reprezentációja, nem tudtak előkészülni a megfelelő válaszra sem. Fiataloknál az informatív helyzetekben kialakult a CNV, a nem-informatív feladatban azonban – ahol nem ismert még ebben a szakaszban, mi a konkrét feladat – nem volt megfigyelhető.

Az informatív jelzőingeres feladatokban a P3b komponens a célinger után sem alakult ki az időseknél. A viselkedéses adatok alapján azonban mégsem mondhatjuk, hogy a feladatot egyáltalán ne tudták volna megoldani. A gyengébb teljesítmény és a hiányzó P3b alapján azt feltételezhetjük, hogy a feladatról nem alakítottak ki egy explicit modellt, implicit módon oldották meg azt. A fiataloknál a P3b amplitúdója kisebb volt feladatváltáskor az ismétléshez képest, jelezve a nagyobb figyelmi alokációt.

Összességében a fiatalok jobb teljesítményének hátterében az áll, hogy a feladatról explicit reprezentációt alakítottak ki, bár a nogo ingerek jelenléte jelentősen megváltoztatta a feladatmegoldási stratégiájukat. Az idősek viszont implicit megoldást használtak a munkamemória túlterheltsége miatt.

Tréning hatások

Az idős tréning csoport teljesítménye nagy mértékben javult a gyakorolt feladatban. A tréning előtt a fiatalok minden viselkedéses mutatóban jobbak voltak, és ez az idős kontroll csoport esetén nem is változott egy hónap múlva, az idős tréning csoport esetén viszont eltűntek a különbségek a korcsoportok között, teljesítményük még egy év múlva is jobb volt, mint az első alkalommal.

Az eseményhez kötött potenciálok (EKP) eredményei szintén alátámasztják a tréning sikerességét. Ebben az esetben a késői komponenseket vizsgáltuk. A jelzőinger utáni késői pozitivitásnak csak az eloszlása változott a tréning hatására a fiataloknál, a célinger utáni P3b amplitúdója viszont nagyobb volt a tréning hatására. Ez azt jelzi, hogy bár a fiatalok eredetileg is viszonylag könnyen hajtották végre a feladatot és teljesítményükben plafonhatás észlelhető, a tréning során egy stabilabb reprezentációt alakítottak ki a feladatról.

Látványos tréning hatást figyelhattunk meg az időseknél. A korábban a jelző- és a célinger után is hiányzó pozitív komponens kialakult mindkét esetben, amplitúdója pedig hasonló méretű volt, mint a fiatal kontroll csoportnál mért. Bár az amplitúdó hasonló méretű volt az eltérő korcsoportokban, azok eloszlása különbözött, jelezve, hogy ugyanazt a teljesítményt eltérő agyterületek aktiválásával érték el. Az idős tréning csoportban – ellentétben a másik három csoporttal – az N2 komponens amplitúdója is megnőtt, és egy évvel később is nagyobb volt, mint kezdetben. Ezek a változások az EEG-ben mutatják, hogy az idősek csupán 8 óra tréning után is sokkal hatékonyabban tudtak figyelni a feladatra, javult a munkamemóriájuk, és mindezek az előnyök még egy évvel később is mérhető különbségként jelentkeztek náluk a kontroll csoporthoz képest.

A kognitív tréning kísérleteknek a gyakorolt feladatban jelentkező változáson túl, talán a legfontosabb kérdése, hogy hatására elérhetünk-e javulást a gyakorolttól eltérő helyzetekben is. A kérdés megválaszolására olyan feladatokat használtunk, melyek szerkezetükben hasonlítottak a gyakorolthoz (közeli transzfer), illetve olyanokat is, amik nagyban eltértek attól (távoli transzfer).

A közeli transzfer feladatokban javulást figyelhattunk meg az idős tréning csoportban: több találat, kevesebb hiba jellemezte teljesítményüket, és az N2 komponens amplitúdója is nőtt a tréning után, a P3b komponensekben viszont nem találtunk változást. Ebből arra következtethetünk, hogy a nem gyakorolt feladatokról nem alakult ki stabilabb emlékezeti reprezentáció (P3b), viszont a jobb figyelmi kontrollt hasznosítani tudták, és ezáltal javult a teljesítményük.

A távoli transzfer feladatok a munkaemlékezet, a figyelem, a végrehajtó funkciók és a feldolgozási sebesség tesztjei voltak. A vizuális-perceptuális sebesség minden csoportban javult a tréningtől függetlenül, ebben az esetben gyakorlási hatásról beszélhetünk. A számterjedelemmel mért munkaemlékezet a fiatal csoportoknál javult, míg a perceptuális következtetésben nem történt változás. Tréninghatást találtunk a Figyelmi Hálózat Teszten a figyelmi aktivációban és az orientációban is. Összességében tehát a végrehajtó funkciók, a problémamegoldás nem javult, a munkaemlékezetben és a figyelmi folyamatokban viszont mérhető volt a távoli transzfer hatás.

Mindebből arra következtethetünk, hogy megfelelő tréninggel az idősek a fiatalokhoz hasonló teljesítményszintet érhetnek el, és a tréning pozitív hatásai még egy év múlva is kimutathatóak. A tréningnek hatása van olyan helyzetekre is, amiket nem gyakorolnak a személyek, de ebben az esetben a hatás mértéke nagyban függ a mögöttes pályarendszerek átfedésének mértékétől.

Gátlási hatások

Mivel általános nézet, hogy a kognitív működésben megfigyelhető életkori különbségek hátterében a gátló funkciók csökkent működése áll (Hasher és Zacks, 1988), különös hangsúlyt szenteltünk a gátlási folyamatok vizsgálatának. Vizsgáltuk a nogo ingerek próbáiban kialakuló nogo P3 komponenst, illetve összehasonlítottuk a go és a nogo ingerek utáni go próbákban a viselkedéses és EKP válaszokat. A viselkedéses adatok a go utáni go próbákban rosszabb teljesítményt mutattak időseknél, mint a nogo ingerek utáni próbákban. Fiataloknál ilyen eltérés nem volt, ami pedig a vizsgálatunk szempontjából érdekes, hogy a tréning után időseknél is megszűnt ez a különbség. A jelzőinger utáni korai pozitívitás amplitúdóján látszik, hogy a fiataloknál is eltér a kétféle próba feldolgozása: mindkét korcsoportban nagyobb volt az amplitúdó, ha go inger után jött a go inger, mint amikor nogo után. Mivel ezt a komponenst az interferenciával szembeni ellenállásként is értelmezik (Garcia_larrea és mtsai, 1992), ebben az esetben feltételezhetően a korábbi próba feladatkészletének áthúzódó aktivációja okozhatott interferenciát, míg nogo ingerek esetén ilyen hatással nem kellett számolni. Ami különösen érdekes volt, hogy a nogo utáni go próbákban 300-400 ms-mal a jelzőinger után megjelent egy komponens, ami a go utáni go próbákban nem volt látható. Ráadásul ez a komponens fiataloknál pozitív, időseknél pedig negatív volt, rámutatva, hogy a feladat megoldása mögötti feldolgozási folyamatok nagyban eltérnek a különböző életkorokban. A késői pozitívitás a go utáni go próbákban volt nagyobb. A célinger utáni N2 amplitúdója viszont a nogo inger utáni próbákban volt nagyobb, a kétfajta próba különbsége csak a tréning után tűnt el. A komponensek közül egyedül a célinger utáni P3b nem mutatott eltérést a go és a nogo inger után.

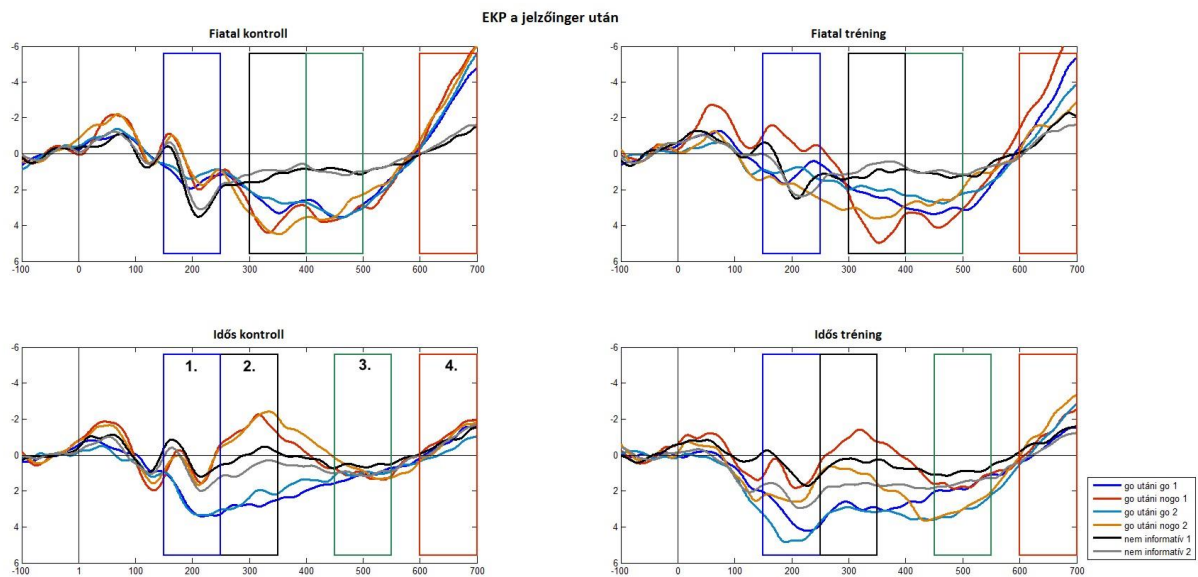
A gátlási folyamatokkal összefüggésbe hozható nogoP3 amplitúdója fiataloknál nagyobb volt az idősekhez képest, jelezve a hatékonyabb gátló kontrollt. Az amplitúdó nőtt a második alkalommal, ami szintén a gátló folyamatok javulását jelzi, tréning hatásokat azonban nem találtunk. A komponens latenciája a fiataloknál volt rövidebb az idősekhez képest, illetve az első alkalommal nem különböztek a kontroll és tréning csoportok, míg a második alkalommal utóbbiaknál rövidebb latenciát mértünk, jelezve a gátlási folyamatok felgyorsulását. A nem informatív jelzőingeres feladatban a kezdeti különbségek próbák és korcsoportok között hasonlóak voltak az informatív jelzőingeres helyzetben tapasztaltakhoz, itt viszont több tréning hatást is megfigyelhettünk: az időseknél nőtt a komponens amplitúdója, illetve a tréning csoportokban csökkent a latencia. Az eredmények tehát arra utalnak, hogy ha csak részben is, de a tréning javította a gátló funkciók működését.

Konklúzió

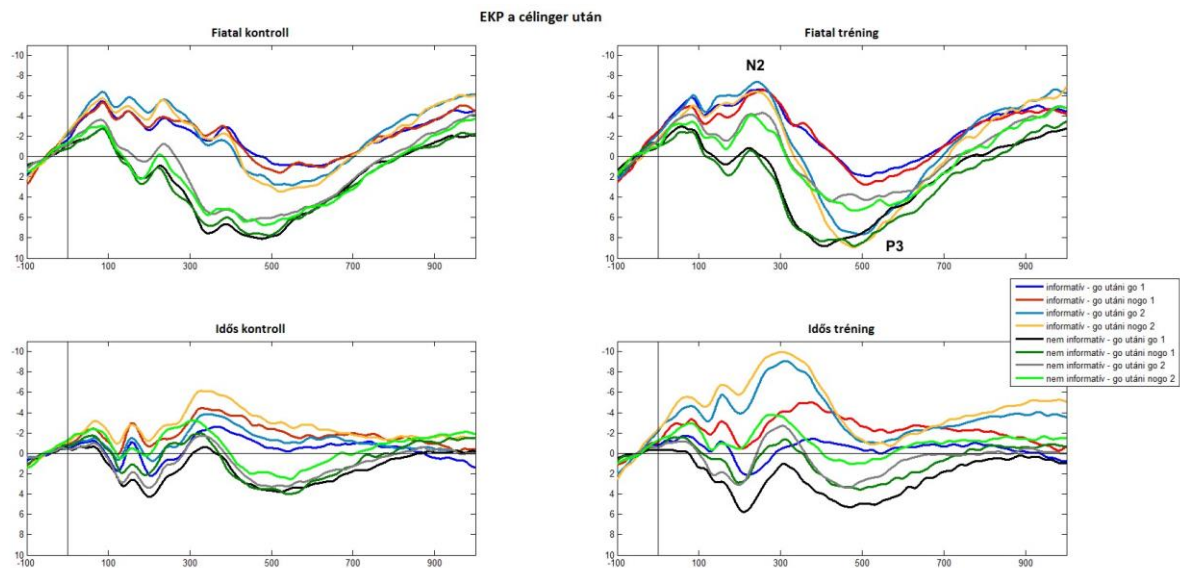
Bár az online kognitív tréningek hatalmas iparaggá fejlődtek az utóbbi években, nagyon kevés szakirodalmi adat van annak alátámasztására, hogy ténylegesen segítenék az idősödő agy „élesen tartását”, arra vonatkozóan pedig még kevesebb a bizonyíték, hogy a gyakorolttól eltérő helyzetekben bármi haszna lenne ezeknek a játékoknak. Kísérletsorozatunk eredménye szerint egy viszonylag komplex, a kísérleti személy teljesítmény szintje szerint változó nehézségű feladattal elérhető, hogy idős személyek is ismét a fiatalok szintjén teljesítsenek, hosszú távú idegrendszeri változásoknak köszönhetően. Javíthatók a figyelmi, munkaemlékezeti és gátló funkciók, azonban az, hogy ez a javulás mennyiben befolyásolja a gyakorolttól eltérő feladatokban mutatott teljesítményt, nagyban függ a mögöttes pályarendszerek átfedésének mértékétől.

Publikáció

2015-ben egy publikáció született a kísérletsorozatból (Gaál, Zs.A., Czigler, I. (2015) Age-related processing strategies and go-nogo effects in task-switching: an ERP study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9: paper 177. 12, IF: 3,6), egy kézirat pedig lektorálás alatt áll (Gaál, Zs.A., Czigler, I. (in prep) Task-switching training and transfer: age-related effects on late ERP components). Egy további kézirat megírás alatt áll, illetve a nyugalmi EEG-vel kapcsolatos elemzések még nem fejeződtek be.



EKP a jelzőinger után a négy korcsoportban a tréning előtt (1) és után (2) az informatív és nem informatív jelzőingeres feladatokban. Az elemzésben a korai pozitívást (1), a késői pozitívást (3), a CNV-t (4), és azt a komponenst vizsgáltuk, ami csak a nogo utáni go próbákban alakult ki (2).



EKP a célinger után az informatív és nem informatív jelzőingeres betű-szám feladatban. Az elemzések során az N2 és a P3 komponenseket vizsgáltuk.

Irodalom

Cepoiéné, R., Alku, P., Westerfield, M., Torkia, M., and Townsend, J. (2005) ERPs differentiate syllable and nonphonetic sound processing in children and adults. *Psychophysiology*, 42(4), 391-406.

Donchin, E., and Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Brain Behavioral Science*, 11, 357–374.

Folstein, J.R., & Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45(1), 152-170.

Garcia-Larrea, L., Lukaszewicz, A.C., and Mauguier, F. (1992) Revisiting the oddball paradigm. Non-target vs. neutral stimuli and the evaluation of ERP attentional effects. *Neuropsychologia*, 30, 723-741. Hasher, L., and Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G.Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 193-225). San Diego: Academic Press.

Jamadar, S., Hughes, M., Fulham, W.R., Michie, P.T., & Karayanidis, F. (2010). The spatial and temporal dynamics of anticipatory preparation and response inhibition in task switching. *Neuroimage*. 51, 432-449.

Karayanidis, F. W., Whitson, L.R., Heathcote, A., & Michie, P.T. (2011). Variability in proactive and reactive cognitive control processes across the adult lifespan. *Frontiers in Psychology*, 2, 318.

Kiesel, A., Steinhauser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A.M., & Koch, I. (2010). Control and interference in task switching - a review. *Psychological Bulletin*, 136, 849-874.

Kok, A., Ramautar, J.R., De Ruiter, M.B., Band, G.P.H., & Ridderinkhof, K.R. (2004) ERP components associated with successful and unsuccessful stopping in a stop-signal task. *Psychophysiology*, 41, 9–20.

Nicholson, R.A., Karayanidis, F., Bumak, E., Poboka, D., & Michie, P.T. (2006). ERPs dissociate the effects of switching task sets and task cues. *Brain Research*, 1095, 107-123.

Verleger, R. (1988). Event-related potentials and cognition: a critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 343-356.

Walter, W.G., Cooper, R., Aldridge, V.J., McCallum, W.C., and Winter, A.L. (1964). Contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 203, 380-384.