

A VÉGREHAJTÓ FUNKCIÓK ÉS AZ IMPLICIT TANULÁS VERSENGŐ KAPCSOLATA

VIRÁG MÁRTA^{1,2} – JANACSEK KAROLINA^{1,3} – NÉMETH DEZSŐ^{1,3}

¹ Eötvös Loránd Tudományegyetem, Pszichológiai Intézet

² Országos Klinikai Idegtudományi Intézet, Epilepszia Centrum

³ MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet

E-mail: nemethd@gmail.com

Beérkezett: 2016. szeptember 2. – Elfogadva: 2016. szeptember 25.

Jelen tanulmány különböző neurokognitív folyamatok versengő kapcsolatát vizsgálja az implicit tanulás és a végrehajtó funkciók működésének bemutatásán keresztül. Az implicit tanulásról ma már tudjuk, hogy – a végrehajtó funkciókat működtető frontális területekkel átfedésben – a fronto-striatális hálózat működésén alapszik. Ez az átfedés egymással kooperáló és kompetitív folyamatokat is eredményezhet. Két kognitív folyamat versengő kapcsolatát többféle kísérleti elrendezésben is lehet vizsgálni, például az egyik folyamat gyengítésével vagy egy olyan vizsgálati populáció választásával, amelyben az egyik vagy a másik funkcióért felelős agyi terület sérült. Jelen áttekintő tanulmány célja, hogy az utóbbi években megjelent, ezeket a módszereket használó kutatásokon keresztül bemutassa az implicit tanulás és a végrehajtó funkciók kapcsolatát. A felsorakoztatott eredmények alapján a frontális lebeny függő végrehajtó funkciók és az implicit tanulás között negatív kapcsolat áll fenn, tehát a gyengébb végrehajtó funkciók jobb implicit tanulási képességgel járhatnak együtt. Ennek a versengő kapcsolatnak a hátterében a felhasznált kognitív erőforrások átfedése állhat. A kognitív folyamatok interaktív szemlélete a kognitív funkciókat más funkciókkal való interakcióban vizsgálja, ami hozzájárulhat a pszichológiai funkciók jobb megértéséhez általában véve. Ez a szemléleti keret segíthet az atipikus fejlődési mintázatok és kognitív nehézségek jobb megértésében és fejlesztő módszerek kidolgozásában.

Kulcsszavak: versengő neurokognitív folyamatok, implicit tanulás, végrehajtó funkciók, frontális lebeny

Viselkedésünk adaptív módon történő igazításához az út a motoros, kognitív és társas készségeink formálódásán át vezet, amelyhez alapvető fontosságú mechanizmus az implicit tanulás. Jól rámutat az implicit tanulás szerepére például az, ahogyan a fiatalabb generációk készségcsomagjához ma már hozzátartoznak a készségszintű számítógépes ismeretek is, ezek elsajátítása pedig szinte ugyanolyan gyorsan történik, mint a társas vagy a motoros készségeké. A folyamat nagy részben nem tudatos módon történik, ezért az ilyenfajta készségek fejlődését csak akkor realizáljuk, amikor már viselkedésünk szerves részéivé váltak. A tanulás nem tudatos része mellett fontosak azonban a kontrollált, több figyelmet igénylő mechanizmusok is. Az automatikusabb és a kontrollált folyamatok kapcsolatának megértésében fontos kérdés, hogy azok egymást támogató, vagy inkább egymással versengő folyamatok-e. Az utóbbi évek kutatásai azt mutatják, hogy a két folyamat nemcsak egymást segíti, hanem bizonyos esetekben egymással versenghetnek is (Poldrack, Clark, Pare-Blagoev, Shohamy, Creso Moyano és Meyers, 2001).

Az emberi tanulás tudatos és nem tudatos mechanizmusok interakciójára épül. Az implicit, nem tudatos tanulás egy, a fronto-striatális hálózathoz köthető (Doyon, Gaudreau, Laforce, Castonguay, Bedard és Bedard, 1997; Henke, 2010; Klivényi, Nemeth, Sefcsik, Janacsek, Hoffmann és Haden, 2012), alapvetően szabályszerűségek nem tudatos módon való detektálására épülő tanulási folyamat (Reber, 1967). Implicit tanulást mérhetünk mesterséges nyelvtanulási feladattal (Miller, 1958), időjósági feladattal (Knowlton, Squire és Gluck, 1994) vagy implicit szekvencia tanulási feladattal (Howard és Howard, 1997), amely a fentebb felsoroltak közül az egyik leggyakrabban használt módszer. Az implicit tanulásnak ezen altípusa tisztán és átláthatóan mutatja meg az implicit tanulási folyamatokat, ezért ebben a tanulmányban főként olyan eredményeket mutatunk be, amelyek ehhez a módszerhez köthetőek.

A frontális lebeny által vezérelt funkciókban is egyaránt hangsúlyos érintettsége az utóbbi években több olyan kutatást is inspirált, amelyek a végrehajtó funkciók és az implicit tanulás által közösen „használt” frontális hálózatokat hivatottak jobban feltárni, a közöttük lévő kapcsolatokat és ellentétes működéseket jobban megérteni. Munakata és munkatársai (2012) a rugalmasabb viselkedés felé vezető fejlődési átmenetnek, azaz a frontális lebeny érésének három különböző állomását különböztették meg. Először, amikor a kognitív kontroll már elegendő stabilitással rendelkezik, reaktív módon le tud már küzdeni öröklött viselkedéses mintázatokat. Ezt követi a folyamat proaktív szakasza, amelyben a viselkedést a környezeti ingerek erősen behatárolják, végül, a fejlődés csúcán pedig a környezettől függetlenül, önvezérelten is képesek vagyunk saját viselkedésünk befolyásolására. Az ilyenfajta kognitív kontroll tehát egyértelmű előnyökkel jár az adaptív viselkedés kialakításában és a rugalmasság fenntartásában, azonban fontos megjegyezni, hogy ahogy előnye, úgy hátrányai is vannak. Ezen a nyomvonalon elindulva Munakata és munkatársai egy későbbi vizsgálatuk során (2014) megkülönböztették az erősen működő végrehajtó funkciók viselkedéses előnyeit és hátrányait. Kutatásaik eredményei alapján a fejlett végrehajtó funkciók elsősorban a munkamemóriának és a célvezérelt viselkedés irányításának kedveznek. Ezek a konklúziók tovább mélyítik a végrehajtó funkciók és az implicit tanulási mechanizmusok közötti versengő szituáció megértését, miszerint átfedő kognitív források állnak a két funkció mögött, a kapcsolat iránya azonban még mindig nem teljesen világos.

A neurokognitív versengés kutatásában korábban Poldrack és munkatársai (2008), valamint Filoteo és munkatársai is (2010) versengést mutattak ki különböző neurokognitív folyamatok között. A frontális lebeny funkciók és az implicit tanulás versengő kapcsolatára az utóbbi időben számos hazai kutatás is rámutatott (Janacsek, Fiser és Németh, 2012; Németh, Janacsek, Polner, és Kovács, 2013; valamint Virág, Janacsek, Horváth, Bujdosó, Fabó és Németh). Janacsek és munkatársai az implicit tanulási készség fejlődési görbéjének bemutatásával járultak hozzá ehhez a kérdéshez (2012). Eszerint az implicit tanulás gyermekkorban a leghatékonyabb, később pedig fokozatosan gyengül. Ennek egyik magyarázata az, hogy a frontális lebeny és a hozzáköthető kognitív funkciók ontogenetikailag viszonylag későn kezdik meg fejlődésüket, addig is teret engedve más olyan funkciók fejlődésének, mint például az implicit tanulás. Amint a fejlődés során a frontális lebeny függő végrehajtó funkciók megerősödnek, az implicit tanulási teljesítmény gyengül. Ezen eredményeket összefoglalva tehát úgy tűnik, hogy gyerekkorban az agy érzékenyebb a nyers valószínűségek befogadására (azaz dominánsabb a modellfüggetlen tanulás), a frontális lebeny fejlődésével pedig egyre inkább az explicitebb szabályok irányába tolódik el (modellfüggő tanulás), ami gátolhatja a nyers valószínűségek feldolgozását. Az agy természetes fejlődése során tehát „versengő agyi hálózatok” jöhetnek létre.

A versengés kérdésének megértéséhez egy lehetséges módszer az, ha a végrehajtó funkciók és az implicit tanulás közös forrását, jelen esetben a frontális lebeny működését valamilyen módon manipuláljuk, miközben egy implicit szekvencia tanulási feladatot végeztetünk el a kísérleti személlyel (lásd az első alfejezetben). Egy másik lehetséges megközelítés a neuropszichológiai módszer, melyben a választott vizsgálati populáció végrehajtó funkciói sérültek, az implicit tanulási készség viszont megtartott. Így elkülöníthetőek a különböző kognitív hálózatok (lásd a második alfejezetben).

Az implicit tanulási folyamatok hipnózisban

A „versengő agyi hálózatok” elméletéből kiindulva Németh és munkatársai a hipnózis módszerét használták arra, hogy csökkentsék a frontális lebenyhez kapcsolható végrehajtó funkciók (például kontroll) és a fronto-striatális hálózat működésén alapuló implicit tanulás közötti versengést (Németh, Janacsek, Polner és Kovács, 2013). A hipnózisos állapot főként a frontális hálózatok gyengítésével vagy diszkonnekciójával (Kaiser, Barker, Haenschel, Baldeweg és Gruzelier, 1997; Kallio, Revonsuo, Hamalainen, Markela és Gruzelier, 2001; Egner, Jamieson, Gruzelier, 2005; Gruzelier, 2006; Wagstaff, Cole és Brunas-Wagstaff, 2007; Fingelkurts, Kallio és Revonsuo 2007; valamint Oakley és Halligan, 2009) visszafordítható változásokat okoz a kognitív feldolgozásban (Raz és Shapiro, 2002).

A vizsgálatban részt vevő kísérleti személyek magas hipnabilitás pontszámmal rendelkező fiatal felnőttek közül kerültek ki. Az elvégzendő feladatok között egy implicit tanulási feladat, az Alternáló Szekvencia Tanulási Feladat (ASRT), valamint két végrehajtó funkciókat mérő feladat, a Wisconsin Kártyaszortírozási Feladat (WCST) és a Verbális Fluencia Feladat volt. Az implicit tanulási feladatot éber és hipnózis alatti állapotban is elvégezték a kísérleti személyek (Németh, 2013).

Az eredmények egybevágóak azokkal a korábbi kutatási eredményekkel, amelyek a frontális lebeny funkciók és az implicit szekvenciatanulás között versengő kapcsolatot feltételeznek. Az eredmények azt mutatták, hogy a vizsgálati személyek jobban tanultak hipnózisban az éber kondícióhoz képest. A hipnózis frontális lebeny funkciókra gyakorolt hatását tovább tisztázandó, az éber és a hipnózis alatt tanuló kísérleti személyeket alacsony és magas végrehajtó funkció szerint is alcsoportokba osztották (1. ábra).

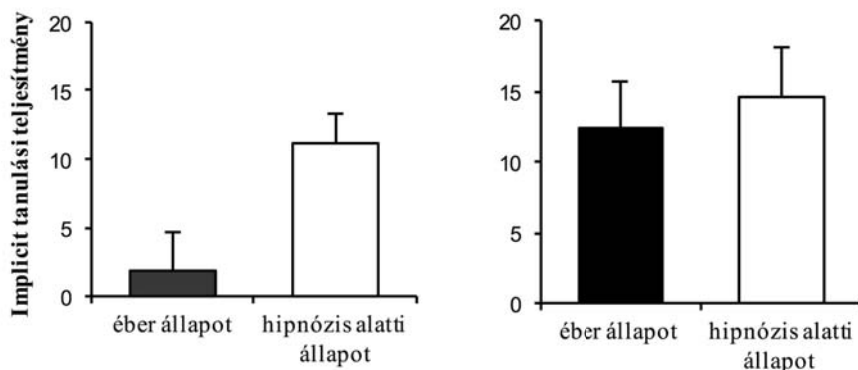
Ez az elemzés tehát tovább erősítette a korábbi irodalomban leírt versengés meglétét, és jól rámutat ennek a vizsgálatnak a relevanciájára is. A magas végrehajtó funkciókkal rendelkező kísérleti személyek tehát gyengébb implicit tanulási készséget mutattak az éber kondícióban a hipnózis kondícióhoz képest. Tehát a frontális agyi hálózatok és a hozzá kapcsolódó kognitív funkciók (például kontroll) működésének módosulásával (jelen esetben hipnózis alkalmazásával) felszabadul az implicit tanulás számára is használatos, egyébiránt a végrehajtó funkciók által elfoglalt frontális erőforrás.

Az implicit tanulás és a végrehajtó funkciók kapcsolatának neuropszichológiai vizsgálata

Az implicit tanulás és a végrehajtó funkciók versengésének bizonyításához egy újabb vizsgálatban Virág és munkatársai (2015) frontális lebeny sérült személyek neuropszichológiai vizsgálatára fókuszáltak. Ehhez ideálisnak bizonyult az alkoholfüggőségben szenvedők populációja, akiknél a frontális lebeny többé-kevésbé károsodott a hosszabb távon fennálló rendszeres alkoholbevitel következményeként.

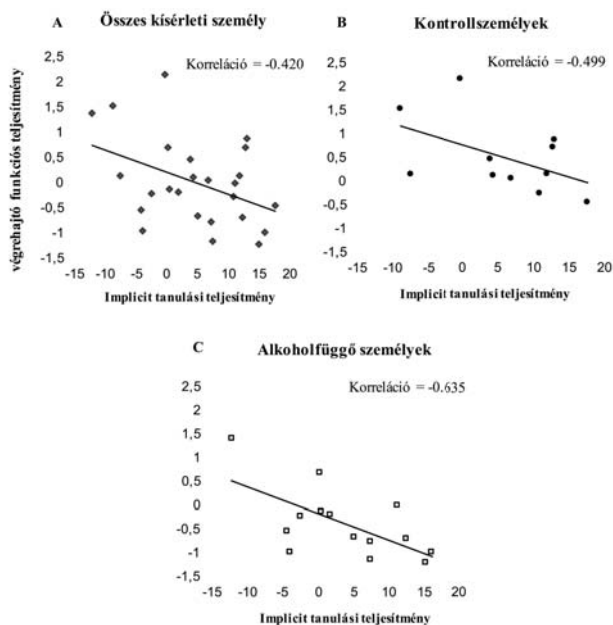
A vizsgálatban olyan, jól funkcionáló alkoholfüggő betegek vettek részt, akik a vizsgálat idején már legalább három hete absztinensek voltak. Viszonyításképpen melléjük korban és nemből illesztett egészséges kontrollcsoport került. Az előző vizsgálatához hasonlóan a vizsgálati személyek implicit tanulási és végrehajtó funkciók képességeit mérték. A vizsgálati személyek végrehajtó funkciói a vártak megfelelően alakultak: az alkoholbeteg kísérleti személyek gyengébben teljesítettek a végrehajtó funkciókat mérő feladatokon az egészséges kontrollszemélyekhez képest. Ezzel szemben a két csoport nem mutatott szignifikáns különbséget implicit tanulás tekintetében, amely azt indikálja, hogy az alkoholizmus frontális lebenyre gyakorolt hatása nem volt szignifikáns hatással az implicit tanulási készségekre. Egy következő elemzés során az implicit tanulási feladaton elért teljesítményt korreláltatták a végrehajtó funkciókat mérő feladatokon mért teljesítménnyel. Az elemzés az eddigi irodalommal és az előző hipnóziskutatással egybecsengő eredményt mutatott: a két funkció között egyértelműen negatív együttjárás látszódott, amely akkor is stabilnak mutatkozott, amikor a kísérleti személyek csoportjain külön-külön (2. ábra, A és B) vagy egyben, minden személyt az elemzésbe véve (2. ábra, C) vizsgálták. Tehát a gyengébb végrehajtó funkció erősebb implicit tanulást eredményezett.

Az előző vizsgálatához hasonlóan tehát ez a vizsgálat is a frontális lebeny funkciók és az implicit szekvencia tanulás között fennálló versengő kapcsolatot igazolja (Virág, 2015).

A Erősebb végrehajtó funkciók**B Gyengébb végrehajtó funkciók**

1. ábra. Németh és munkatársai (2013) alacsony és magas végrehajtó funkciók szerint két csoportba sorolták a kísérleti személyeket. Az erős végrehajtó funkciókkal rendelkező kísérleti személyek gyengébb implicit tanulást mutattak éber állapotban a hipnózis alatti állapothoz képest. Ez ugyanakkor nem volt elmondható az alacsony végrehajtó funkcióval rendelkező kísérleti személyeknél, ők ugyanis a kísérleti kondíciótól függetlenül hasonlóképpen teljesítettek. A hibásávok az átlag standard hibáját mutatják.

Az ábra átszerkesztve Németh és munkatársai, 2013, 3. 2. ábra alapján



2. ábra. Virág és munkatársai (2015) eredményei ellentétes kapcsolatot mutatnak az implicit tanulás és a végrehajtó funkciók között. Ez a negatív korreláció megjelent a kontrollszemélyeknél (B), csak az alkoholbeteg kísérleti személyeket vizsgálva (C), és az összes kísérleti személyt egybe véve is (A). Összességében tehát a gyengébb végrehajtó funkció jobb implicit tanulási készséggel jár együtt. Az ábra átszerkesztve Virág és munkatársai, 2015, 6. 2. ábra alapján

KONKLÚZIÓ

A „versengésemélet” logikus értelmezési keretet nyújt a fent bemutatott vizsgálatok eredményeihez, miszerint a gyengébb frontális lebeny funkciók jobb implicit tanulási készségekkel járnak együtt. Ez összhangban van olyan előzetes kutatási eredményekkel is, melyek szintén ellentétes irányú vagy versengő kapcsolatot találtak a frontális lebenyhez köthető funkciók és az implicit tanulási folyamatok között. Munakata és munkatársai (2012, 2014) fejlődési aspektusból vizsgálva azt találták, hogy az agyi és kognitív érés előrehaladtával a két funkció egyre inkább közös kognitív erőforrásért verseng. Az eredmények egybehangzanak Janacsek és munkatársainak (2012) eredményeivel is, a gyerekek implicit tanulási teljesítménye a frontális lebeny érésével és kognitív kontrollfunkciókban betöltött dominanciájának erősödésével együtt párhuzamosan változnak.

A kísérleti pszichológiában és a kognitív idegtudományban újabban közkedvelt értelmezési keret a memóriafolyamatok interaktív szemlélete. Az utóbbi években több olyan vizsgálat is született, amelyek valamilyen második, az első memóriafeladattal interferáló feladatot adtak a kísérleti személyeknek, így a feladatokon nyújtott teljesítmény az interferencia mértékétől függően változott (Filoteo és mtsai, 2010; Poldrack és mtsai, 2001; Albouy, Sterpenich és Baletau, 2008). Fontos megjegyezni, hogy nem csak több feladat közötti interferencia tud hasonló helyzetet létrehozni az interaktív memóriarendszerek között. Közepes vagy nagyobb mértékű stressz is a frontális funkciók gyengüléséhez, és ezen keresztül kevesebb explorációhoz és erősebb habituális (automatikusabb) viselkedéshez vezethet. Mindez azzal lehet összefüggésben, hogy a stresszel teli helyzetben a megnövekedett glükokortikoid mennyiség blokkolja a kognitív flexibilitását (frontális működést) (Schwabe és Wolf, 2013). Ezekkel az eredményekkel összhangban vannak Borragán és Peigneux (2016) újabb kutatási eredményei is, miszerint a fáradás (kognitív kimerülés) pozitív hatással van az implicit tanulási képességekre. A magyarázat hasonló, mint az előzőekben felsorolt kutatásoknál: a fáradás hatására a kognitív kontrollfolyamatok által lefoglalt erőforrások felszabadulnak, így azok az implicit tanulási folyamatokat tudják kiszolgálni. További kutatási lehetőségeket nyújthatnak a frontális lebenyt megcélzó repetitív transzkraniális stimulációs kutatások, konnektivitási kutatások vagy eltérő betegcsoportok neuropszichológiai vizsgálata is.

A fentebb felsorolt és ezekhez hasonló kutatások, amelyek a kognitív funkciókat más funkciókkal való interakcióban vizsgálják, sokat segíthetnek örökölt vagy fejlődési kognitív nehézségek megértésében, fejlesztésében. Ezen a nyomvonalon halad a frontális lebeny függő végrehajtó funkciók és a fronto-striatális hálózathoz kapcsolható implicit tanulás közötti kapcsolat mélyebb megértése, és az ezzel kapcsolatos kutatások is.

Köszönetnyilvánítás

A jelen tanulmányt az OTKA NF 105878-es számú pályázata támogatta. Janacsek Karolina Bolyai János Kutatói Ösztöndíjban részesült.

IRODALOM

- Albouy, G., Sterpenich, V., & Baeteau, E., (2008). Both the hippocampus and striatum are involved in consolidation of motor sequence memory. *Neuron*, 58, 261–272.
- Blackwell, K. A., & Munakata, Y. (2014). Costs and benefits linked to developments in cognitive control. *Developmental Science*, 17(2), 203–211.
- Borragán, G., Slama, H., Destrebecqz, A., & Peigneux, P. (2016). Cognitive Fatigue Facilitates Procedural Sequence Learning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 86.
- Doyon, J., Gaudreau, D., Laforce, R., Castonguay, M., Bedard, P. J., Bedard, F., & Bouchard, J. P. (1997) Role of the striatum, cerebellum, and frontal lobes in the learning of a visuomotor sequence. *Brain and Cognition*, 34, 218–245.
- Egner, T., Jamieson, G., & Gruzelier, J. (2005). Hypnosis decouples cognitive control from conflict monitoring processes of the frontal lobe. *Neuroimage*, 27, 969–978.
- Filoteo, J. V., Lauritzen, S., & Maddox, W. T. (2010). Removing the Frontal Lobes. *Psychological Science*, 21, 415–423.
- Fingelkurts, A. A., Kallio, S., & Revonsuo, A. (2007). Cortex functional connectivity as a neurophysiological correlate of hypnosis: an EEG case study. *Neuropsychologia*, 45, 1452–1462.
- Gruzelier, J. H. (2006). Frontal functions, connectivity and neural efficiency underpinning hypnosis and hypnotic susceptibility. *Contemporary Hypnosis*, 23, 15–32.
- Henke, K. (2010). A model for memory systems based on processing modes rather than consciousness. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 523–532.
- Howard, J. H., Jr., & Howard, D. V. (1997) Age differences in implicit learning of higher-order dependencies in serial patterns. *Psychology and Aging*, 12, 634–656.
- Janacek, K., Fiser, J., & Nemeth, D. (2012). The best time to acquire new skills: age-related differences in implicit sequence learning across the human lifespan. *Developmental Science*, 15(4), 496–505.
- Kaiser, J., Barker, R., Haenschel, C., Baldeweg, T., & Gruzelier, J. H. (1997). Hypnosis and event-related potential correlates of error processing in a stroop-type paradigm: a test of the frontal hypothesis* 1. *International Journal of Psychophysiology*, 27, 215–222.
- Kallio, S., Revonsuo, A., Hamalainen, H., Markela, J., & Gruzelier, J. (2001). Anterior brain functions and hypnosis: a test of the frontal hypothesis. *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 49, 95–108.
- Klívényi, P., Nemeth, D., Sefcsik, T., Janacek, K., Hoffmann, I., Haden, G. P., & Vecsei, L. (2012). Cognitive functions in ataxia with oculomotor apraxia type 2. *Frontiers in Neurology*, 3, 125.
- Knowlton, B. J., Squire, L. R., & Gluck, M. A. (1994). Probabilistic classification learning in amnesia. *Learning & Memory*, 1(2), 106–120.
- Miller, G. A. (1958). Free recall of redundant strings of letters. *Journal of Experimental Psychology*, 56(6), 485.
- Munakata, Y., Snyder, H. R., & Chatham, C. H. (2012). Developing cognitive control three key transitions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(2), 71–77.
- Nemeth, D., Janacek, K., Polner, B., & Kovacs, Z. A. (2013). Boosting human learning by hypnosis. *Cerebral Cortex*, 23(4), 801–805.
- Oakley, D. A., Halligan, P. W. (2009). Hypnotic suggestion and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 264–270.
- Poldrack, R., Clark, J., Pare-Blagoev, E. J., Shohamy, D., Creso Moyano, J., Meyers, C., & Gluck, M. A. (2001). Interactive memory systems in the human brain. *Nature*, 414, 546–550.
- Raz, A., & Shapiro T. (2002). Hypnosis and neuroscience: a cross talk between clinical and cognitive research. *Archives of General Psychiatry*, 59, 85–90.

- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6(6), 855–863.
- Schwabe, L., & Wolf, O. T. (2013). Stress and multiple memory systems: from ‘thinking’ to ‘doing’. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(2), 60–68.
- Virag, M., Janacsek, K., Horvath, A., Bujdosó, Z., Fabo, D., & Nemeth, D. (2015). Competition between frontal lobe functions and implicit sequence learning: evidence from the long-term effects of alcohol. *Experimental Brain Research*, 1–9.
- Wagstaff, G. F., Cole, J. C., & Brunas-Wagstaff, J. (2007). Effects of hypnotic induction and hypnotic depth on phonemic fluency: a test of the frontal inhibition account of hypnosis. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*, 7, 27–40.

COMPETITION BETWEEN EXECUTIVE FUNCTIONS AND IMPLICIT LEARNING

VIRÁG, MÁRTA – JANACSEK, KAROLINA – NÉMETH, DEZSŐ

This review demonstrates the competitive nature of different neurocognitive processes by focusing on the relationship between implicit learning and executive functions. Implicit learning mainly relies on fronto-striatal networks of the brain, while the cognitive resources of executive functions are based in frontal areas, hence indicating an overlap between the brain areas responsible for the two functions. This overlap could result in cooperative and competitive processes. Investigation of two cognitive functions such as implicit learning and executive functions can be based on different approaches: either by repressing one out of the two cognitive functions or by choosing an experimental population for which a brain region associated with one of the two cognitive functions is damaged or distorted. In the past couple of years, a great number of studies have shown the competitive nature of the two cognitive functions rooting from the above-mentioned approaches. Based on their results, one can conclude that weaker frontal lobe functions can lead to better implicit learning, which is presumably caused by the overlapping cognitive resources of the two functions. This interactive view of cognitive functions explains such processes as dependent on each other, which can lead us to a more thorough understanding of psychological functions in general. This conceptual framework can help in exploring and understanding atypical developmental patterns and other types of cognitive difficulties, and also in developing more effective rehabilitation methods.

Keywords: *competitive neurocognitive processes, implicit learning, executive functions, frontal lobe*