

Implicit probabilisztikus tanulás: az elsajátítástól a konszolidációig

Akadémiai Doktori Értekezés Tézisei

Németh Dezső

2016

I. A DOKTORI MŰBEN TÁRGYALT KÉRDÉSKÖR ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

Az implicit tanulás alapvető a mindennapjainkban, ugyanis a környezetünkben fellelhető mintázatok, szabályszerűségek többségét implicit módon sajátítjuk el (Axmacher, Draguhn, Elger, & Fell, 2009; Hawkins, George, & Niemasik, 2009). Erre a tanulási formára jellemző, hogy nem tudatos, nehezen verbalizálható, és viszonylag lassú az explicit tanuláshoz képest (Cleeremans, Destrebecqz, & Boyer, 1998; Reber, 1993). Agyi hátterét tekintve elsősorban a kéreg alatti struktúrák és azon belül is a striátum szerepe jelentős (pl. Doyon et al., 2009; Hikosaka, Nakamura, Sakai, & Nakahara, 2002). Újabb kutatások azonban rávilágítottak arra, hogy több, egymással kooperatív, ugyanakkor néha kompetitív viszonyban álló folyamat is jelen van a tanulás során, melyeket a striátum frontális lebenyhez fűződő kapcsolatai alapoznak meg. Ennek következtében bizonyos helyzetekben az implicit tanulás javítható vagy gyengíthető a frontális lebenyhez kötődő funkciók manipulálásával (pl. Matilla-Duenas, Corral-Juan, Volpini, & Sanchez, 2012; Seidler et al., 2002).

Az implicit tanulás képezi az alapját számos mozgásos (pl. autóvezetés, sportolás), nyelvi-zenei (pl. olvasás, idegen nyelvek ismerete) és szociális (pl. társas interakciók, társas státusz) készségünknek (Kaufman et al., 2010; Lieberman, 2000; Nemeth et al., 2011; Romano Bergstrom, Howard, & Howard, 2011; Ullman, 2004), melyek meghatározóak a mindennapjainkban gyerekkortól egészen idősorig. Annak ellenére, hogy az utóbbi évtizedekben megnövekedett a tudományos érdeklődés az implicit tanulás iránt, viszonylag kevés kutatás foglalkozott az implicit tanulást és annak „offline” feldolgozását vagyis konszolidációját meghatározó faktorok alaposabb feltérképezésével.

Jelen disszertáció két részből áll: 1) feltérképezi az implicit tanulás első szakaszát meghatározó kulcsfaktorokat; 2) feltérképezi az elsajátított anyag konszolidációját meghatározó faktorokat. Tanulás és konszolidáció tehát a disszertáció két fő iránya: az első részben 9 vizsgálat (8 empirikus és 1 elméleti), míg a második – konszolidációt vizsgáló - részben 5 empirikus vizsgálat kerül bemutatásra.

II. A DOKTORI MŰBEN TÁRGYALT KÉRDÉSKÖRÖK FORRÁSAI ÉS A FELDOLGOZÁSUK SORÁN HASZNÁLT MÓDSZEREK

1-2. Vizsgálat

Az implicit tanulás életkori változásaival foglalkozó kutatások többnyire egyetértenek abban, hogy időskorban gyengül a tanulási képesség (pl. D. V. Howard et al., 2004; Nemeth et al., 2010), azonban a gyerekkori teljesítmény kapcsán vita bontakozott ki. Az egyik nézőpont szerint a tanulás háttérében álló agyi struktúrák már viszonylag korai életkorban érettek, így a tanulás már gyerekkorban hasonló szintű, mint felnőttkorban (pl. Meulemans, Van der Linden, & Perruchet, 1998; Vinter & Perruchet, 2000). A másik nézőpont képviselői szerint felnőttkorban a leghatékonyabb a tanulás (pl. Fletcher, Maybery, & Bennett, 2000; Maybery, Maybery, Taylor, & O'Brien-Malone, 1995), és ez összefüggésbe hozható a fronto-striatális hálózatok jelentős fejlődésével egészen felnőttkorig (pl. Thomas et al., 2004). Eddig azonban nem született olyan kutatás, amely ugyanazzal a módszerrel vizsgálta volna egy széles életkori spektrumban az implicit tanulást. Ezért az **1. kísérlet** célja az volt, hogy az implicit tanulás egész életen át tartó változásait térképezze fel. A vizsgálatban összesen 421 személy vett részt. Az életkor 4-től 85 éves korig terjedt. A személyeket 9 életkori csoportba soroltuk. Az implicit tanulás mérésére a kognitív idegtudományban egyre népszerűbb Alternáló Szeriális Reakcióidő (ASRT) feladatot használtuk (J. H. Howard, Jr. & Howard, 1997), melyben a vizsgálati személyeknek a számítógép képernyőjén megjelenő ingerekre kell minél gyorsabban és pontosabban válaszolniuk a megfelelő gombok megnyomásával. Az ingerek megjelenésének sorrendjében van egy rejtett mintázat (pl. 2r3r1r4r, ahol a számok az ingerek megjelenési helyét mutatják, az 'r' pedig egy random hely a négy lehetséges pozíció közül). A személyeknek erről nincs explicit/deklaratív tudásuk; implicit módon tanulják meg a rejtett mintázatot - ezt nevezzük a továbbiakban szekvencia-specifikus tanulásnak. A feladat előnye, hogy ezt a szekvencia-specifikus tanulást el tudjuk különíteni az általános készségtanulástól, vagyis attól, hogy a vizsgálati személyek egyre nagyobb rutint szereznek a válaszadás során, azonban ez független az ingerek megjelenésének szekvenciájától (lásd pl. Song, Howard, & Howard, 2007). Az ASRT feladat ebben a vizsgálatban 20 blokkból állt.

Az **1. vizsgálat** eredményei alapján megállapítható, hogy a 4-től 12 éves korig terjedő életkori csoportok mutatták a legnagyobb szekvencia-specifikus tanulást (a reakcióidő adatok alapján), a későbbi életkori csoportokban pedig valamivel gyengébb tanulás jelentkezett. Ennek a

12 éves kor körüli váltásnak a háttérben két alapvetően különböző (modell-függő és modell-független) tanulási forma versengése állhat (lásd pl. Daw, Niv, & Dayan, 2005). Ez a feltételezés alapján serdülőkor előtt a tanulás inkább modell-független, ami azt jelenti, hogy a környezetben fellelhető szabályszerűségek észlelése befolyásolja elsősorban a tanulási teljesítményt. Ez a modell-független tanulási forma a bazális ganglionokhoz köthető (lásd pl. Daw et al., 2005). A későbbi életkorokban pedig a frontális lebeny működésén alapuló modell-függő tanulás válik dominánssá, vagyis ekkor már a tanulást nagyobb mértékben befolyásolják a környezetünkről kialakított belső modellek, és kevésbé támaszkodunk a környezet statisztikai együttjárásainak, szabályszerűségeink észlelésére. A modell-függő tanulási forma hatékony lehet a már megtanult készségek használata során, illetve a környezet újabb eseményeinek bejósolására, azonban az alapvetően új szabályszerűségek, készségek megtanulását akár hátráltathatja is. A modell-függő és modell-független tanulás háttérben álló feltételezett mechanizmusok és agyi struktúrák összhangban állnak a különböző emlékezeti és tanulási folyamatok kooperatív-kompetitív viszonyát hangsúlyozó kutatásokkal (pl. Matilla-Duenas et al., 2012; Seidler et al., 2002). A fenti eredményeket és következtetéseket erősíti meg a **második vizsgálat** (2.2 fejezet, Nemeth, Janacsek & Fiser, 2013), melyben azon túl, hogy replikáltuk az első vizsgálat eredményeit, megvizsgáltuk az explicit szekvenciatanulás fejlődési görbáját is, ami eltért az implicittól. A második vizsgálat további fő eredménye, hogy el tudtunk különíteni különböző tanulási mechanizmusokat a szekvenciatanulás háttérben: 1) statisztikai tanulás, 2) magasabb-rendű szekvenciatanulás.

3-4. Vizsgálat

Mivel egyre több bizonyíték van arra, hogy a hipnózis megváltoztatja a frontális lebenyhez kötődő funkciókat, mint például a kontroll funkciókat (Egner, Jamieson, & Gruzelier, 2005; Fingelkurts, Kallio, & Revonsuo, 2007; Oakley & Halligan, 2009), ezért a **3. vizsgálatban** (2.3 fejezet) megvizsgáltuk azt, hogy hogyan változik az elsősorban striatumhoz kötődő implicit szekvenciatanulás hipnózisban. 14 magas hipnázibilitású személy vett részt a vizsgálatban. Egy 15 blokkból álló ASRT feladatot használtunk egy éber és egy hipnózisos feltételben. A két adatfelvétel között egy hónap telt el. A feltételek sorrendjét személyenként változtattuk, és különböző szekvenciák szerepeltek a két feltétel során. Emellett a frontális lebenyhez köthető végrehajtó funkciókat is felmértük Wisconsin kártyaszortírozási és verbális fluencia feladatokkal.

A vizsgálati személyek nagyobb mértékű szekvenciatanulás mutattak hipnózis alatt szemben az éber feltétellel. Továbbá, a végrehajtó funkciók szintje interakcióban állt ezzel a serkentő hatással. Azoknak a vizsgálati személyeknek, akik jobb végrehajtó funkciókkal rendelkeztek, gyengébb volt a tanulásuk az éber feltételben és javult hipnózis alatt. Ezzel szemben a gyengébb végrehajtó funkciókkal rendelkező személyek hasonló mértékben tanultak a két feltételben. Az eredmények alátámasztják azt a feltételezést, hogy a frontális lebeny-függő folyamatok kompetitív viszonyban állnak a bazális ganglionokhoz köthető tanulási folyamatokkal: ha a frontális lebenyhez köthető funkciókat megzavarjuk, jobb implicit szekvenciatanulási teljesítmény érhető el. Ezek az eredmények összhangban állnak a modell-függő és modell-független tanulási folyamatok megkülönböztetésével és feltételezett szerepével a tanulásban. A **4. vizsgálat** eredményei szintén alátámasztják a fent leírt kompetitív folyamatokat. Ebben a neuropszichológiai vizsgálatban alkohol-függő személyeknél találtunk ép implicit tanulás, de ami igazán fontos, hogy negatív korrelációt találtunk a végrehajtó funkciók és az implicit tanulás között.

5-7. Vizsgálat

Az **5. vizsgálatban** kidolgoztunk egy új módszert arra, hogy meg tudjuk állapítani, hogy mennyire perceptuális és mennyire motoros folyamatokra épül a probabilisztikus szekvenciatanulás. A módszer később hasznosítható más kutatásokban is (lásd. még 3.4-es fejezet).

A **6. kísérletben** azt vizsgáltuk, hogy mennyire robusztus az implicit tanulás, milyen kapcsolatban van más kognitív funkciókkal. Vajon egy másodlagos feladat kettős terheléses helyzetben lerontja az implicit tanulási teljesítményt? Az eredmények azt mutatják, hogy a párhuzamos számolási feladat és a párhuzamos szófeldolgozási feladat nem rontja le a tanulási teljesítményt. Tehát ezektől független az implicit szekvenciatanulás. Azonban a mondatmegértéssel interferenciát találtunk, ami arra utal, hogy a mondatmegértés (mentális nyelvtan) és az implicit probabilisztikus tanulás használ közös folyamatokat.

A **7. áttekintő vizsgálatban** feltérképeztük, hogy mi a kapcsolat a munkamemória kapacitás és implicit tanulás között. Már a 6. vizsgálatban is láttuk, hogy az extra munkamemória terhelés önmagában nem befolyásolja a tanulást. Ezt az eredményt támasztja alá az irodalom részletes elemzése is.

A **8. kísérletben** azt vizsgálatuk, hogy egy atipikus fejlődési forma befolyásolja-e az implicit tanulást. A 6. és 7. vizsgálathoz hasonlóan itt is azt az eredményt kaptuk, hogy a tanulás relatíve robusztus. Annak ellenére, hogy az autizmussal élő gyerekek számos kognitív zavarral küzdenek, ez nem befolyásolja az implicit tanulási teljesítményüket.

A **9. vizsgálatban** amnesztikus enyhe kognitív károsodásban szenvedő idős személyeket vizsgálatunk. Alacsonyabb implicit tanulási teljesítményt figyeltünk meg ebben a csoportban. Ebben a kutatásban kidolgoztunk finomabb elemzési módszereket, melyekkel megállapítottuk, hogy ez a gyengébb teljesítmény a tanulási blokkok elején figyelhető meg. Ha a tanulási görbét csak a blokkok második felének adataiból rajzoljuk fel, akkor eltűnik a két különbség a két csoport között. Ezek az eredmények a hippocampus szerepére is rámutatnak.

A konszolidációt meghatározó faktorok

Az első 9 vizsgálat az implicit szekvenciatanulás első – online – szakaszára fókuszált, azonban az elsajátított ismeretekben jelentős változások következhetnek be a gyakorlás utáni, offline szakaszban is (Krakauer & Shadmehr, 2006; Robertson, 2009; Song, 2009). Eddig viszonylag kevés kutatás foglalkozott az implicit szekvenciatanulás konszolidációjának feltérképezésével; és ezeknek a kutatásoknak a többsége nem vizsgálta külön a szekvencia-specifikus és általános készségtanulást (pl. Robertson, Press, & Pascual-Leone, 2005; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997; Walker & Stickgold, 2004), továbbá főleg csak a fiatal felnőtt életkori csoportra fókuszáltak. A tézis második felében (3.1-3.5 fejezet) olyan kutatások lesznek bemutatva, amik pótolják ezt a hiányt.

A **10. 11. 12.** (3.1, 3.2, 3.3 fejezet) az implicit szekvenciatanulás konszolidációját vizsgálta egészséges fiatal és idős felnőtteknél. A 10. vizsgálatban 12 órás késleltetést használtunk AM-PM, PM-AM kondícióban, így vizsgálva az alvás hatását a konszolidációra. Az eredmények azt mutatták, hogy az alvásnak egyik korcsoportban sincs hatása a konszolidációra. Ezt az eredményt támasztja alá a 12. vizsgálat eredményei, melyben alvászavarban (obstruktív alvási apnoe) szenvedő személyek teljesítményét vizsgáltuk 12 órás késleltetés után. Nem találtunk különbséget az egészséges és az alvászavaros csoport között szekvencia-specifikus tanulásban. Annak érdekében, hogy pontosabb képet kapjunk a konszolidáció idői dinamikájáról a 11. vizsgálatban, 3 késleltetési időt vizsgáltunk a tanulási és a tesztelési fázis között: 12-, 24 óra vagy pedig 1 hét telt el a két adatfelvétel között. Az első adatfelvétel alkalmával egy hosszabb (25 blokkos) ASRT

feladatot használtunk, a második alkalommal pedig egy rövidebbet (5 blokk), ami által lehetőség nyílt annak tesztelésére, hogy mennyire szilárdult meg a korábban megszerzett tudás az adott konszolidációs idő alatt. Külön elemezve a szekvencia-specifikus és általános készségtanulás offline változásait, azt találtuk, hogy a szekvencia-specifikus tudás megszilárdult a fiatal felnőtt csoportok esetében, tehát ugyanúgy teljesítettek a 2. adatfelvételnél, mint az 1. adatfelvétel végén. Ezzel szemben az idős csoport kis mértékű felejtést mutatott a szekvencia-specifikus tudásban a 2. adatfelvételnél. Ezeket az eredményeket nem befolyásolta a késleltetési idő egyik életkori csoportban sem. Ezzel szemben az általános készségtanulás esetében nagyobb mértékű javulás következett be, minél kevesebb idő telt el a tanulási és a tesztelési szakasz között. Az idősebb felnőtteknél csak a 12 órás késleltetés után jelentkezett javulás. Ezek az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a konszolidáció nem egy egységes folyamat, hanem eltérően hat a szekvencia-specifikus és az általános készségtanulásra. Továbbá ezeket a folyamatokat különböző módon befolyásolja a késleltetés és az életkori változások. A szekvencia-specifikus tanulás offline stabilizációja feltételezhetően a tanulási szakasz után rövidebb idő alatt következik be (az első 12 órában), majd további, viselkedésben mérhető változás nem történik. Ezzel szemben az általános készségtanulás esetében az offline változások időben elhúzódóbbak, még 1 hét után is tapasztalható javulás a korábbi szakaszban nyújtott teljesítményhez képest.

A **13. vizsgálat** (3.4 fejezet) célja az volt, hogy megvizsgáljuk, hogy másképp hat-e az offline periódus az implicit szekvenciatanulás perceptuális és motor faktoraira. Ebben a vizsgálatban sem találtunk alváshatást, mely összhangban van a korábbi vizsgálatok (10. 11.) eredményeivel. A motoros tudás valamivel hatékonyabban konszolidálódott, mint a perceptuális.

A tézis utolsó vizsgálatának (**14. vizsgálat**, 3.5 fejezet) az volt a kérdése, hogy milyen mértékű az implicit elsajátított probabilisztikus szekvenciális tudásnak a megtartása 1 év után. Azt a meglepő eredményt kaptuk, hogy nem volt teljesítményromlás 1 év után, ami arra utal, hogy az implicit probabilisztikus tanulás egy alapvetős és robosztus tanulási mechanizmus.

III. A DOKTORI MŰ FŐBB EREDMÉNYEI

1. Táblázat Az implicit probabilisztikus tanulást meghatározó tényezők.

Vizsgálat	Fejezet	Tényező	Kérdés	Eredmény
1.	2.1	Életkor	Melyik életszakaszban a legjobb az implicit tanulás?	12 éves korig jobb, utána romló teljesítmény.
2.	2.2	Életkor Explicititás	Mi a különbség az implicit és explicit szekvenciatanulási teljesítményben az életkor függvényében?	Az explicit jelzőingerek segítik megakadályozni a romló teljesítményt 12 éves kor után. Új tanulási mutatók lettek kidolgozva.
3.	2.3	Kontroll	Hogyan tudjuk javítani az implicit tanulást? Van versengő kapcsolat a kontroll folyamatok (végrehajtó funkciók) és az implicit tanulás között?	A hipnózis - kontroll funkciók gyengítése - javítja az implicit tanulást.
4.	2.4	Végrehajtó funkciók	Gyengébb végrehajtó funkciók vezethetnek jobb tanulási teljesítményhez?	Negatív korreláció a probabilisztikus szekvencia tanulás és a végrehajtó funkciók között.
5.	2.5	Perceptuális és motoros faktorok	Az implicit szekvenciatanulás inkább perceptuális vagy inkább motoros folyamatokra épül?	Mind a perceptuális mind a motoros faktorok hatnak a tanulási teljesítményre. Új vizsgálati módszer kidolgozása.
6.	2.6	Másodlagos feladat hatása	Egy másodlagos kognitív feladat kettős terheléses helyzetben le tudja rontani az implicit szekvenciatanulást?	A mondatmegértés interferál az implicit probabilisztikus tanulással, míg más másodlagos feladat nem.
7.	2.7	Munkamemória	Mi a szerepe a munkamemóriának az implicit tanulásban?	A klasszikus „terjedelem” tesztekkel mért munkamemória független az implicit szekvencia tanulástól.
8.	2.8	Atipikus fejlődés	Az olyan atipikus fejlődési forma, mint az autizmus hogyan hat az implicit szekvenciatanulásra?	Ép az implicit szekvenciatanulás autizmusban.
9.	2.9	Időskori Kori Kognitív Gyengülés	Az Enyhe Kognitív Zavar befolyásolja az implicit tanulási teljesítményt? Mi a szerepe a hippocampusnak az implicit tanulásban?	Új módszer kidolgozása, melyek lehetővé teszik a finomabb tanulási folyamatok vizsgálatát. Enyhe Kognitív Zavarban gyengébb az implicit tanulás, ami a blokkok eleji teljesítményhez köthető.

2. Táblázat A konszolidációt meghatározó tényezők

Vizsgálat	Fejezet	Tényező	Kérdés	Eredmény
10.	3.1	Életkor Alvás	Mi a szerepe az alvásnak az implicit tanulás konszolidációjában? A konszolidációs folyamatok megváltoznak időskorban?	Nem alvásfüggő a konszolidáció sem fiatal felnőtt, sem időskorban.
11.	3.2	Életkor Az offline periódus hossza	A konszolidációs periódus hossza (12h, 24h vagy 1 hét) befolyásolja az emlékezeti teljesítményt? A konszolidációs periódus hossza és az életkor mutat interakciót?	A szekvencia-specifikus tanulásnál nem volt felejtés vagy offline javulás egyik késleltetési periódusban sem. Időskorban a késleltetéstől függetlenül gyengébb volt a konszolidáció.
12.	3.3	Alvászavar	Az alvászavar hatással van az implicit tanulás konszolidációjára?	Az alvászavar nincs hatással a szekvencia-specifikus tanulás konszolidációjára.
13.	3.4	Alvás Perceptuális és motoros faktor	A perceptuális és motoros konszolidációja eltér? Az alvás befolyásolja ezeket?	Nem volt alváshatás sem a perceptuális, sem a motoros kondícióban.
14.	3.5	Az offline periódus hossza	Egy év késleltetés után hogyan alakulnak a konszolidációs folyamatok?	Egy év után is kimutatható a probabilisztikus szekvencia tudás megőrzése.

Összefoglalás

Összefoglalva 14 vizsgálat eredményeit, elmondható, hogy az implicit szekvenciatanulás gyerekkorban (12 éves kor előtt) a leghatékonyabb, ezután pedig egy váltás következik be a tanulási stratégiában. A felnőttek feltételezhetően jobban támaszkodnak a már frontális lebenyhez kötődő belső modelljeikre a tanulás során. Ezzel szemben gyerekkorban a modell-független tanulás a dominánsabb, mely hatékonyabban tudja detektálni a környezet szabályszerűségeit egy új készség elsajátítása során. Ezt a feltételezést alátámasztja az is, hogy ha hipnózissal megzavarjuk a frontális lebeny működését, akkor jobb lesz az implicit tanulás. Időskorban pedig mind az online tanulásban, mind a konszolidációban gyengülés következik be. Annak eldöntésére

azonban, hogy ennek háttérében pontosan milyen folyamatok állnak, még további vizsgálatok szükségesek.

A kísérletek eredményei nem csak a tanulási mechanizmusok viselkedéses szintű megértéséhez járulhatnak hozzá, hanem segíthetnek megérteni az agyi plaszticitás életkori változásait gyerekkortól idősorig. Emellett az eredmények segíthetnek olyan fejlődési rendellenességek (pl. autizmus, diszlexia), neurodegeneratív (pl. Parkinson-kór, Huntington-kór) és életkorral járó zavarok (pl. demencia) jobb megértéséhez, melyekben a vizsgált funkciók háttérében álló agyi struktúrák érintettek. Végül pedig eredményeink segítségül szolgálhatnak hatékonyabb diagnosztikus eszközök, fejlesztő és rehabilitációs programok kidolgozásához.

IV. A DOKTORI MŰ ÁLTAL TÁRGYALT KÉRDÉSKÖRBE A PÁLYÁZÓ ÁLTAL KÖZZÉTETT PUBLIKÁCIÓK

- 1) Janacsek, K., & Nemeth, D. (2012). Predicting the future: from implicit learning to consolidation. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PSYCHOPHYSIOLOGY*, 83(2), 213-221.
- 2) Janacsek, 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.
- 3) Nemeth, D., Janacsek, K., & Fiser, J. (2013). Age-dependent and coordinated shift in performance between implicit and explicit skill learning. *FRONTIERS IN COMPUTATIONAL NEUROSCIENCE*, 7, 147.
- 4) Nemeth, D., Janacsek, K., Polner, B., & Kovacs, Z. A. (2013). Boosting human learning by hypnosis. *CEREBRAL CORTEX*, 23(4), 801-805.
- 5) Virag, M., Janacsek, K., Horvath, A., Bujdoso, 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*, 233(7), 2081-2089.
- 6) Nemeth, D., Hallgato, E., Janacsek, K., Sándor, T., & Londe, Z. (2009). Perceptual and motor factors of implicit skill learning. *NEUROREPORT*, 20(18), 1654-1658.
- 7) Nemeth, D., Janacsek, K., Csifcsak, G., Szvoboda, G., Howard Jr, J. H., & Howard, D. V. (2011). Interference between sentence processing and probabilistic implicit sequence learning. *PLOS ONE*, 6(3), e17577.
- 8) Janacsek, K., & Nemeth, D. (2013). Implicit sequence learning and working memory: correlated or complicated? *CORTEX*, 49(8), 2001-2006.
- 9) Nemeth, D., Janacsek, K., Balogh, V., Londe, Z., Mingesz, R., Fazekas, M., Jambori Sz., Danyi, I. & Vetro, A. (2010). Learning in autism: implicitly superb. *PLOS ONE*, 5(7), e11731.
- 10) Nemeth D, Janacsek K, Király K, Londe Z, Németh K, Fazekas K, Csányi A. Probabilistic sequence learning in mild cognitive impairment. *FRONTIERS IN HUMAN NEUROSCIENCE*. 2013;7:318.
- 11) Nemeth, D., Csabi, E., Janacsek, K., Varszegi, M., & Mari, Z. (2012). Intact implicit probabilistic sequence learning in obstructive sleep apnea. *JOURNAL OF SLEEP RESEARCH*, 21(4), 396-401.
- 12) Nemeth, D., Janacsek, K., Londe, Z., Ullman, M. T., Howard, D. V., & Howard Jr, J. H. (2010). Sleep has no critical role in implicit motor sequence learning in young and old adults. *EXPERIMENTAL BRAIN RESEARCH*, 201(2), 351-358.
- 13) Csabi, E., Varszegi-Schulz, M., Janacsek, K., Malecek, N., & Nemeth, D. (2014). The consolidation of implicit sequence memory in obstructive sleep apnea. *PLOS ONE*, 9(10), e109010.
- 14) Nemeth, D., & Janacsek, K. (2011). The dynamics of implicit skill consolidation in young and elderly adults. *JOURNAL OF GERONTOLOGY PSYCHOLOGICAL SCIENCE*, 66(1), 15-22.
- 15) Hallgato, E., Győri-Dani, D., Pekár, J., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2013). The differential consolidation of perceptual and motor learning in skill acquisition. *CORTEX*, 49(4), 1073-1081.
- 16) Kóbor A., Takács, Á., Janacsek, K., & Nemeth, D. (under review). Stable but less flexible representation of statistical regularities: Evidence for resistance to interference after one year.

Irodalom

- Axmacher, N., Draguhn, A., Elger, C. E., & Fell, J. (2009). Memory processes during sleep: beyond the standard consolidation theory. *Cellular and molecular life sciences*, 66(14), 2285-2297.
- Cleeremans, A., Destrebecqz, A., & Boyer, M. (1998). Implicit learning: news from the front. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(10), 406-416.
- Daw, N. D., Niv, Y., & Dayan, P. (2005). Uncertainty-based competition between prefrontal and dorsolateral striatal systems for behavioral control. *Nature Neuroscience*, 8(12), 1704-1711.
- Doyon, J., Bellec, P., Amsel, R., Penhune, V., Monchi, O., Carrier, J., . . . Benali, H. (2009). Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behavioral Brain Research*, 199(1), 61-75.
- Egner, T., Jamieson, G., & Gruzelier, J. (2005). Hypnosis decouples cognitive control from conflict monitoring processes of the frontal lobe. *Neuroimage*, 27(4), 969-978.
- Fingelkurts, A. A., Kallio, S., & Revonsuo, A. (2007). Cortex functional connectivity as a neurophysiological correlate of hypnosis: An EEG case study. *Neuropsychologia*, 45(7), 1452-1462.
- Fletcher, J., Maybery, M. T., & Bennett, S. (2000). Implicit learning differences: A question of developmental level? *Journal of experimental psychology: learning, memory, and cognition*, 26(1), 246.
- Hawkins, J., George, D., & Niemasik, J. (2009). Sequence memory for prediction, inference and behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1521), 1203-1209.
- Hikosaka, O., Nakamura, K., Sakai, K., & Nakahara, H. (2002). Central mechanisms of motor skill learning. *Current Opinion in Neurobiology*, 12(2), 217-222.
- Howard, D. V., Howard, J. H., Jr., Japikse, K., DiYanni, C., Thompson, A., & Somberg, R. (2004). Implicit sequence learning: effects of level of structure, adult age, and extended practice. *Psychology and Aging*, 19(1), 79-92.
- Howard, J. H., Jr., & Howard, D. V. (1997). Age differences in implicit learning of higher-order dependencies in serial patterns. *Psychology and Aging*, 12(4), 634-656.
- Kaufman, S. B., DeYoung, C. G., Gray, J. R., Jiménez, L., Brown, J., & Mackintosh, N. (2010). Implicit learning as an ability. *Cognition*, 116(3), 321-340.
- Krakauer, J. W., & Shadmehr, R. (2006). Consolidation of motor memory. *Trends in Neuroscience*, 29(1), 58-64.
- Lieberman, M. D. (2000). Intuition: a social cognitive neuroscience approach. *Psychological Bulletin*, 126(1), 109-137.
- Matilla-Duenas, A., Corral-Juan, M., Volpini, V., & Sanchez, I. (2012). The spinocerebellar ataxias: clinical aspects and molecular genetics. *Advances in experimental medicine and biology*, 724, 351-374.
- Maybery, M., Maybery, M., Taylor, M., & O'Brien-Malone, A. (1995). Implicit learning: Sensitive to age but not IQ. *Australian Journal of Psychology*, 47(1), 8.
- Meulemans, T., Van der Linden, M., & Perruchet, P. (1998). Implicit sequence learning in children. *Journal of experimental child psychology*, 69(3), 199-221.
- Nemeth, D., Janacsek, K., Csifcsak, G., Szvoboda, G., Howard, J. H., Jr., & Howard, D. V. (2011). Interference between Sentence Processing and Probabilistic Implicit Sequence Learning. *PloS one*, 6(3), e17577.
- Nemeth, D., Janacsek, K., Londe, Z., Ullman, M. T., Howard, D. V., & Howard, J. H., Jr. (2010). Sleep has no critical role in implicit motor sequence learning in young and old adults. *Experimental brain research*, 201(2), 351-358.
- Oakley, D. A., & Halligan, P. W. (2009). Hypnotic suggestion and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(6), 264-270.
- Reber, A. S. (1993). *Implicit learning and tacit knowledge: An essay on the cognitive unconscious* (Vol. 19). New York: Oxford University Press.
- Robertson, E. M. (2009). From creation to consolidation: A novel framework for memory processing. *PLoS biology*, 7(1), e1000019.
- Robertson, E. M., Press, D. Z., & Pascual-Leone, A. (2005). Off-line learning and the primary motor cortex. *J Neurosci*, 25(27), 6372-6378.

- Romano Bergstrom, J. C., Howard, J. H., Jr., & Howard, D. V. (2011). Enhanced implicit sequence learning in collage-age video game players and musicians. *Applied Cognitive Psychology*. doi: 10.1002/acp.1800
- Seidler, R., Purushotham, A., Kim, S. G., UÄžurbil, K., Willingham, D., & Ashe, J. (2002). Cerebellum activation associated with performance change but not motor learning. *Science*, 296(5575), 2043-2046.
- Shadmehr, R., & Brashers-Krug, T. (1997). Functional stages in the formation of human long-term motor memory. *Journal of Neuroscience*, 17(1), 409-419.
- Song, S. (2009). Consciousness and the consolidation of motor learning. *Behavioural Brain Research*, 196(2), 180-186.
- Song, S., Howard, J. H., Jr., & Howard, D. V. (2007). Sleep does not benefit probabilistic motor sequence learning. *Journal of Neuroscience*, 27(46), 12475-12483.
- Thomas, K. M., Hunt, R. H., Vizueta, N., Sommer, T., Durston, S., Yang, Y., & Worden, M. S. (2004). Evidence of Developmental Differences in Implicit Sequence Learning: An fMRI Study of Children and Adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(8), 1339-1351.
- Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1-2), 231-270.
- Vinter, A., & Perruchet, P. (2000). Implicit learning in children is not related to age: evidence from drawing behavior. *Child Development*, 71(5), 1223-1240.
- Walker, M. P., & Stickgold, R. (2004). Sleep-dependent learning and memory consolidation. *Neuron*, 44(1), 121-133.