

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
PEDAGÓGIAI ÉS PSZICHOLÓGIAI KAR



A doktori disszertáció tézisei

Zavecz Zsófia

A procedurális emlékezet neurokognitív háttere: Neurális oszcillációk és az alvás szerepe

Pszichológiai Doktori Iskola

Vezető: Dr. Demetrovics Zsolt, egyetemi tanár, Eötvös Loránd Tudományegyetem

Klinikai Pszichológia és Addiktológia Program

Programvezető: Dr. Demetrovics Zsolt, egyetemi tanár, Eötvös Loránd Tudományegyetem

Témavezetők:

Dr. Németh Dezső, egyetemi tanár, Eötvös Loránd Tudományegyetem

Dr. Janacsek Karolina, egyetemi adjunktus, Eötvös Loránd Tudományegyetem

Budapest, 2020

1. fejezet: Általános bevezető

Emlékezeti rendszerek

Emlékezetünk teszi lehetővé az adaptív viselkedésünket. Ehhez annak számos különböző funkciót kell ellátnia, azaz nem egy egységes fogalom. A hosszú távú emlékezeten belül megkülönböztetünk explicit és implicit (Graf & Schacter, 1985), valamint deklaratív és nem-deklaratív (Squire, 1992) rendszereket a tudatosság és a mediális temporális lebeny (MTL) szerepe alapján. A nem-deklaratív emlékezeten belül továbbá megkülönböztetünk procedurális emlékezetet, kondicionálást, előfeszítést és habituációt (Squire & Zola, 1996). A disszertáció keretében a procedurális emlékezet pontosabb megértését tűztem ki célul, annak alfolyamatainak és neurális hátterének (azon belül pedig alvással való kapcsolatának) vizsgálatával.

A procedurális tanulás egy nélkülözhetetlen képességünk, amely lehetővé teszi a környezetből érkező komplex ingerek hatékony feldolgozását és az azokra való automatikus válaszadást. Számos perceptuális és motoros készségünk illetve szokásaink hátterében ez a kognitív folyamat áll (Fiser & Aslin, 2002; Kaufman et al., 2010; Saffran, Aslin, & Newport, 1996; Turk-Browne, Scholl, Johnson, & Chun, 2010; Ullman, 2004). A procedurális tudás hosszas gyakorlás során alakul ki, az elsajátítása gyakran nem tudatos/szándékos, a kialakult reprezentációk pedig rugalmatlanok (Kóbor, Janacsek, Takács, & Nemeth, 2017; A. S. Reber, 1967; Szegedi-Hallgató et al., 2017).

Azonban a procedurális tanulásnak is megkülönböztethetjük további alfolyamatait, amelyek közül kettő a szekvencia és statisztikai tanulás (Kóbor et al., 2018; Nemeth, Janacsek, & Fiser, 2013). Szekvenciatanulásnak azt tekintjük, amikor az ugyanabban a sorrendben előforduló (általában 5-12 ingerből álló) ingersorozatot sajátítjuk el. Ezzel szemben a statisztikai tanulás esetén rövidebb ingerkapcsolatokat sajátítunk el, amelyek gyakorisági információkon alapulnak. A legtöbb kutatásban (többek közt a disszertáció 1. és 2. tanulmányában is) a procedurális tanulás mérésekor a sorrend és a gyakorisági információkra is támaszkodó mutatót használnak. A 3. és 4. tanulmányban az volt a célunk, hogy elkülönítsük a két információt, így a két tanulási formát is és feltárjuk azok különbségeit.

A procedurális emlékezet méréshez az Alternáló Szeriális Reakcióidő (ASRT) feladatot használtuk (Howard & Howard, 1997; Nemeth, Janacsek, & Fiser, 2013; Nemeth et al., 2010). Ebben a perceptuális-motoros reakcióidő feladatban, az ingerek egy előre meghatározott alternáló szekvencia szerint követik egymást. A szekvencia struktúrája miatt bizonyos ingerhármasok gyakrabban fordulnak elő, mint mások. A feladat eredeti verziójában a tanulás mutatója a gyakori és ritkább ingerhármasokra adott válaszok reakcióidejének különbsége, ez azonban mind a sorrend, mind a gyakorisági információra érzékeny. Ezért azok (és így a szekvencia és statisztikai tanulás) szétválasztásához a feladat módosított változatát használtuk a 3. és 4. tanulmányban.

Emlékezeti szakaszok

Az emlékezet tanulmányozásakor azt is el kell különítenünk, hogy az emlékezeti folyamatok melyik szakaszát vizsgáljuk. Az első szakasz a tanulás, amelyben a környezeti ingereket dolgozzuk fel. Ezt követően konszolidáció megy végbe, azaz a megtanult információk stabilizálódnak és ellenállóvá válnak az interferenciával szemben (McGaugh, 2000). Végül, a konszolidálódott emlékeket szükség szerint előhívjuk. Az 1., 2. és 4. tanulmányban a procedurális tanulást vizsgáltuk, míg az 1. és a 3. tanulmányban a konszolidációt.

Neurális hátér

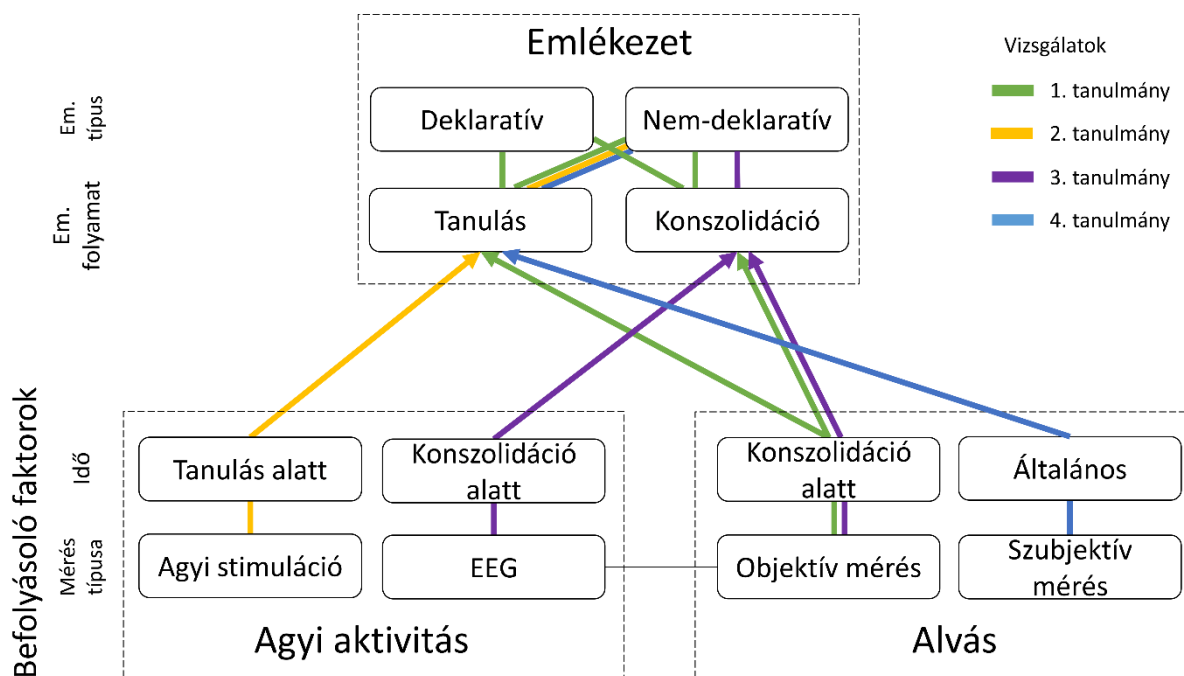
Tanulmányainkban az agy elektromos aktivitásnak vizsgálatával igyekeztünk a procedurális emlékezet neurális hátterét feltárni. Az erre alkalmas módszer, az elektroencefalográfia (EEG) előnye, hogy közvetlenül az agyban lejátszódó neurofiziológiai folyamatokat méri. Ilyen neurofiziológiai folyamatok az oszcillációk, amelyek távoli agyterületek kommunikációját teszik lehetővé azok szinkronizációjával, így az agyi plaszticitás alapjait képezik (Buzsáki &

Draguhn, 2004). Ezen neurofiziológiai folyamatok feltárása célzott fejlesztés alapja lehet, amellyel javíthatjuk a mindennapi emlékezeti teljesítményt, illetve felhasználhatjuk az emlékezetet érintő klinikai kórképek kezelésében (lásd 2. tanulmány).

Procedurális emlékezet és alvás

Korábbi tanulmányok kimutatták, hogy az alvásnak kritikus szerepe lehet az emlékezeti konszolidációban (Diekelmann, Wilhelm, & Born, 2009; Walker & Stickgold, 2004). Emellett az alvás hatással van egyéb kognitív képességeinkre is úgy, mint végrehajtó funkciók és figyelem (Jones & Harrison, 2001), illetve magára a tanulási képességeinkre is (Walker & Stickgold, 2004). Az 1. és 3. tanulmányban az alvásfüggő emlékezeti konszolidációt, míg az 1. és 4. tanulmányban az alvás hosszú távú hatásaival összefüggő tanulási kapacitást vizsgáltuk.

Azonban az alvást különböző módokon vizsgálva eltérő eredményeket kaphatunk, ezért a tanulmányainkban több módszerrel is vizsgáltuk azt. Meg kell különböztetnünk az alvást szubjektív (kérdőívekkel) és objektív (EEG-vel) mért paramétereit. Az alvás és procedurális emlékezet kapcsolatának feltárásához az 1. és 3. tanulmányban objektív, míg a 4. tanulmányban szubjektív módszereket használtunk. A disszertáció keretében vizsgált komplex kapcsolatrendszer áttekintéséhez, lásd az 1. ábrát.



1. ábra. A disszertációba foglalt négy tanulmány áttekintése. Mind a négy tanulmány esetén a nem-deklaratív (procedurális) emlékezet mélyebb megértését tűztük ki célul, annak neurális hátterének és alvással való kapcsolatának vizsgálatával. Az első tanulmányban (zöld vonalakkal jelölve) a deklaratív és nem-deklaratív emlékezet differenciált összefüggéseit vizsgáltuk az alvás paramétereivel egy alvászavaros populációban. A második tanulmányban (sárga vonalakkal jelölve) a procedurális tanulás agyi hátterét teszteltük nem-invazív elektromos agyi stimulációval. A harmadik tanulmányban (lila vonalakkal jelölve) a procedurális tanulást követő időszakban az alvás hatását (ébredléthez képest) vizsgáltuk a konszolidációra. A negyedik tanulmányban (kék vonalakkal jelölve) az alvás szubjektív paramétereit vetettük össze a procedurális tanulási képességekkel.

Disszertáció kérdései

A procedurális emlékezet viselkedéses és neurális szinten való jellemzéséhez az alábbi kérdések megválaszolásával kívántunk hozzájárulni: *“Hogyan függ össze a deklaratív és a nem-deklaratív emlékezet az alvással egy alvászavaros populációban?”* (1. tanulmány); *“Kiemelt szerepe van-e a theta frekvenciájú oszcillációknak a procedurális tanulásban?”* (2. tanulmány); *“Elengedhetetlen-e az alvás a procedurális emlékezeti konszolidációhoz annak különböző alfolyamatainak esetén?”* (3. tanulmány); *“Összefüggenek-e az alvás szubjektív paramétereinek a procedurális emlékezet alfolyamataival?”* (4. tanulmány).

2. fejezet: A lassú hullámú alvás alatti delta és théta aktivitás összefügg a deklaratív, de nem függ össze a nem-deklaratív emlékezettel alvászavaros gyermekeknél (1. tanulmány)¹

Az alvásfüggő légzészavar egy gyakori alvászavar fiatal gyermekeknél (Marcus, 2001). Megléte viselkedési és érzelmi problémákkal és csökkent kognitív képességekkel jár együtt (Beebe & Gozal, 2002; Blunden, Lushington, Lorenzen, Martin, & Kennedy, 2005; Csábi, Benedek, Janacsek, Katona, & Nemeth, 2013; Gottlieb et al., 2004; Gottlieb et al., 2003; Halbower et al., 2006; Kohler et al., 2009; O'Brien et al., 2004). Ugyanakkor a pontos mechanizmus, amely az alvászavar esetén kognitív és viselkedéses tüneteket okoz még feltáratlan. Egy ilyen mechanizmus lehet a lassú hullámú alvás. A lassú hullámú alvás szerepét kimutatták az emlékezeti konszolidációban (Ferri et al., 2008; Mander et al., 2013; Marshall, Helgadottir, Molle, & Born, 2006; Rasch & Born, 2013) és úgy tűnik, hogy megjelenése változik az alvás minőségének és hosszának függvényében (Cajochen, Foy, & Dijk, 1999; Munch et al., 2004; Jussila et al., 2016; Kheirandish-Gozal et al., 2007). Ezért tanulmányukban a lassú hullámú alvás spektrális felbontásának a deklaratív és nem-deklaratív (procedurális) emlékezettel való összefüggéseit vizsgáltuk alvászavaros gyermekek esetén.

Módszerek

Résztvevők – A kísérletben 27 gyermek vett részt, akiknek életkora 5 és 12 év közé esett ($M = 8,52$, $SD = 2,12$). Mindannyian megfeleltek az alvásfüggő légzészavar diagnosztikus kritériumainak (Darien, 2014)

Mérőeszközök – A deklaratív emlékezet mérésére a „Szellemek háborúja” történetfelidézés tesztet használtuk (Bartlett, 1932; Bergman & Roediger, 1999). A procedurális emlékezet mérésére az ASRT tesztet használtuk (Howard & Howard, 1997; Nemeth et al., 2010).

Eljárás – A kísérlet a Heim Pál Gyermekkórház alváslaborjában zajlott. A gyermekek este a lefekvés előtt, majd reggel felkelés után teljesítették a történetfelidézés és az ASRT teszteket. Az éjszakai alvásukról poliszomnográfias felvétel készült, amely lehetővé tette a diagnózis felállítását, illetve az agy elektromos aktivitásának mérését EEG segítségével.

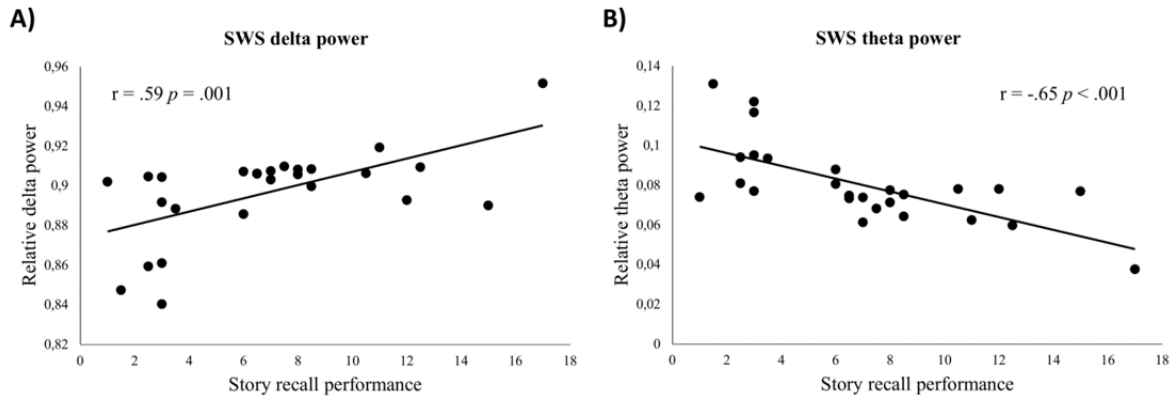
Spektrális elemzés – Az alvásról készült felvételeket az alvás szakaszainak meghatározásához két tapasztalt alváskutató pontosztta a standard kritériumok alapján (Silber et al., 2007). Az agyi aktivitás spektrális elemzését egy arra alkalmas szoftver segítségével végeztük el (FerciosEEGPlus, © Ferenc Gombos 2008-2016) a teljes éjszakai lassú hullámú alvásra, 1 és 25 Hz között. Mivel a gyermekeknél az életkorral együttjáró biológiai változások torzíthatják az abszolút spektrális erő értékeket (Carrier, Land, Buysse, Kupfer, & Monk, 2001), elemzéseinkhez a relatív erő értékeket használtuk. Ezen kívül a különböző oszcillációk erejét az alábbi frekvenciasávokba átlagolva elemeztük: delta (1.25-4 Hz), théta (4.25-8), alpha (8.25-11), sigma (11.25-15), és béta (15.25-25 Hz).

Statisztikai elemzés – A deklaratív tanulási feladatnál három mérőszámot vettünk figyelembe: az esti és reggeli történetfelidézési pontszámot, illetve a konszolidációt. A procedurális tanulási feladatnál tanulási mutatókat számoltunk a gyakori és ritka ingerhármásokra adott válaszok reakcióidejének és pontosságának különbségéből. A konszolidáció méréshez az esti alkalom utolsó tanulási mutatóját kivontunk a reggeli első tanulási mutatóból mind reakcióidő, mind pontosság esetén. A tanulási kapacitás és az emlékezeti konszolidáció összefüggéseit a lassú hullámú alvás spektrális felbontásával korrelációs tesztekkel vizsgáltuk.

¹ Simor, P., Zavecz, Z., Csábi, E., Benedek, P., Janacsek, K., Gombos, F., & Németh, D. (2017). Delta and theta activity during slow-wave sleep are associated with declarative but not with non-declarative learning in children with sleep-disordered breathing. *Sleep Spindles & Cortical Up States*, 1(1), 55-66.

Eredmények

A lassú hullámú alvás spektrális felbontása a delta tartományban pozitív ($r = .59, p = .001$; 2A. ábra), míg a théta tartományban negatív ($r = -.65, p < .001$; 2B. ábra) összefüggést mutatott az esti történetfelidézés pontszámmal. Az esti történetfelidézés más frekvenciatartományokban nem mutatott összefüggést (minden $p > .68$). A reggeli történetfelidézés pontszám hasonló összefüggéseket mutatott (delta: $r = .472, p = .02$; théta: $r = -.52, p = .006$; minden más $p > .38$), míg a konszolidációs mutató és a spektrális erők között nem mutatkozott összefüggés (minden $p > .59$). Ezen kívül a procedurális emlékezet semmilyen mutatója nem mutatott összefüggést a lassú hullámú alvás spektrális felbontásával (minden $p > .11$).



2. ábra. A lassú hullámú alvás delta (A) és théta (B) spektrális erejének korrelációja az esti történetfelidézési pontszámmal.

Megbeszélés

Eredményeink azt mutatják, hogy a deklaratív és nem-deklaratív emlékezet alvással való összefüggése különbözik: az alvás alatti oszcillációs mechanizmusok összefüggnek a deklaratív emlékezeti teljesítménnyel, míg nem-deklaratív emlékezet esetén nem tudtunk ilyen összefüggéseket kimutatni. Továbbá az eredmény, miszerint a deklaratív emlékezet esetén a tanulási kapacitás függ össze az alvás paramétereivel arra utalhat, hogy az alvászavarhoz köthető emlékezeti teljesítmény romlás az alvás hosszú távú hatásainak köszönhető és a tanulási kapacitásra hat, nem pedig az éjszakai alvás alatti emlékezeti konszolidáció romlik le.

1. tézispont: A deklaratív emlékezet összefügg az alvásparaméterekkel egy alvászavaros populációban, míg a nem deklaratív nem.

2. tézispont: A deklaratív emlékezet az alvás lassú oszcillációval (delta és théta) függ össze.

3. fejezet: Frontális középilonali théta frekvencia és probabilisztikus tanulás: egy transzkranialis váltóáram stimuláció vizsgálat (2. tanulmány)²

Korábbi tanulmányok kimutatták, hogy a végrehajtó funkciókhoz/munkamemóriához és a procedurális emlékezethez kapcsolható neurális hálózatok között versengés lehet (Albouy et al., 2015; Albouy et al., 2008; Ashby & O'Brien, 2005; Daw, Niv, & Dayan, 2005; Poldrack et al., 2001). A szinkronizáció théta frekvenciában előnyös a frontális lebenyhez köthető funkciók esetén (Gevins, Smith, McEvoy, & Yu, 1997; Hsieh & Ranganath, 2014; Jensen & Tesche, 2002; Meyer, Grigutsch, Schmuck, Gaston, & Friederici, 2015; Onton, Delorme, & Makeig, 2005; Scheeringa et al., 2009; Summerfield & Mangels, 2005; Tóth et al., 2014), míg egy korábbi saját kísérletünk alapján a procedurális emlékezet esetén thétában a deszinkronizáció járt együtt jobb procedurális emlékezeti teljesítménnyel (Tóth et al., 2017). Ebben a kísérletben a célunk az volt, hogy a théta kauzális szerepét igazoljuk a procedurális emlékezet hátterében egy nem-invazív elektromos váltóáram stimulációval.

Módszerek

Résztvevők – A kísérletben 26 egészséges fiatal felnőtt (19 nő) vett részt (átlagos életkor: $M = 21,38 \pm 1,52$ év). A résztvevőknek nem volt neurológiai, pszichiátriai vagy kardiovaszkuláris betegsége, fejsérülése, és nem volt a testükben fém implantátum, illetve nem szedtek központi idegrendszerre ható szereket.

Mérőeszközök – A procedurális emlékezet mérésére az ASRT tesztet használtuk (Howard & Howard, 1997; Nemeth et al., 2010).

Eljárás – A vizsgálat kettős-vak, placebo-kontrollált, ismételt-méréses elrendezésű volt. A résztvevőket két alkalom során (amelyek között egy hét telt el) teszteltük, egyik alkalommal 1mA aktív théta frekvenciájú stimuláció, a másik alkalommal placebo stimuláció közben, a személyek között az alkalmak sorrendjét kiegyenlítve.

Transzkranialis váltóáram stimuláció – A szinuszosid váltóáram stimulációt egy kereskedelmi forgalomban lévő stimullátorral (DC-Stimulator Plus, NeuroConn, Ilmenau, Germany) adtuk a résztvevők skalpjára két 5x5 cm méretű elektródával, amelyeket a frontális és parietális középilonalon helyeztünk el. A stimuláció csúcs áramerőssége 1 mA volt, amely 6 Hz-en oszcillált. Az aktív stimulációs feltételben a résztvevők a feladat teljes hossza alatt (megközelítőleg 20 perc) kapták a stimulációt, míg a placebo (sham) feltételben csak 30 másodpercig. Mindkét esetben a stimuláció 30 mp alatt érte el a maximális áramerősséget a stimuláció elején és 30 mp alatt gyengült el a stimuláció végén.

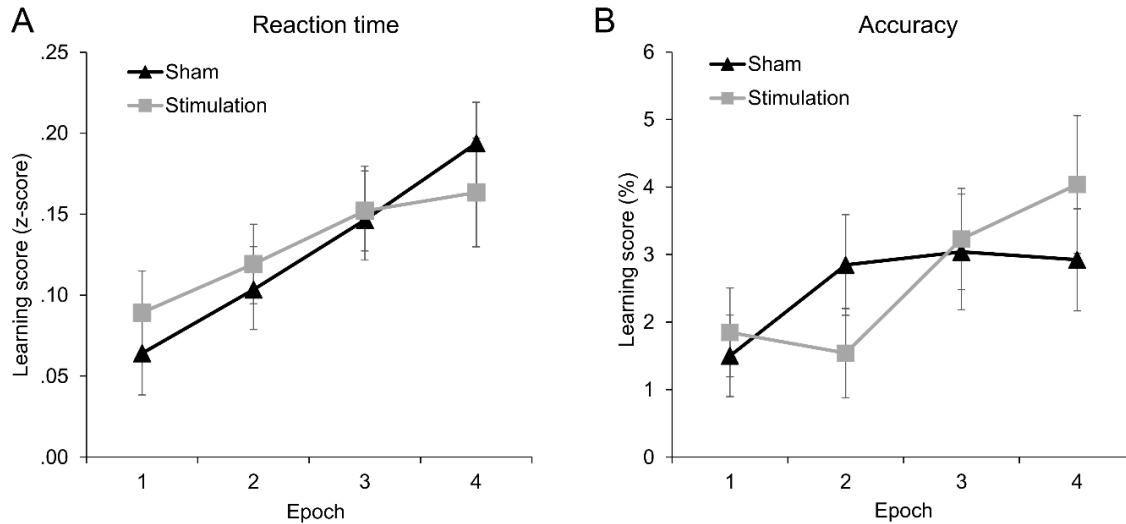
Statisztikai elemzés – Az ASRT feladatnál az 1. tanulmánynál leírt módon tanulási mutatókat számoltunk. Mivel a feladat hosszú, a tanulás során több tanulási mutatót számoltunk, ún. epochonként. A tanulás lefutásának vizsgálatához frekventista és Bayesianus ismételt méréses varianciaanalízist számoltunk, a STIMULÁCIÓ (Aktív vs. Sham) és az EPOCH (1-4) személyen belüli faktorokkal külön a reakcióidő és pontossági tanulási mutatókra. A Bayesianus elemzésnél az egyes főhatások és interakciók modellbe való bevonásának eldöntésére Bayes Faktorokat számoltunk ($BF_{Inclusion}$).

Eredmények

Nem találtunk különbséget az aktív és a sham stimuláció alatti tanulásban, illetve annak lefutásában sem a reakcióidő tanulási mutatókon (STIMULÁCIÓ főhatás: $F(1, 24) = 0,093$, $p = ,763$, $\eta^2_p = ,004$; STIMULÁCIÓ * EPOCH interakció: $F(3, 72) = 0,637$, $p = ,593$, $\eta^2_p = ,026$),

² Zavecz, Z., Horváth, K., Solymosi, P., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2020). Frontal-midline theta frequency and probabilistic learning: A transcranial Alternating Current Stimulation study. *Behavioural Brain Research*, 112733.

sem pedig a pontossági tanulási mutatókon (STIMULÁCIÓ főhatás $F(1, 24) = 0,054$, $p = ,819$, $\eta^2_p = ,002$; STIMULÁCIÓ * EPOCH interakció: $F(3, 72) = 1,065$, $p = ,359$, $\eta^2_p = ,042$; 3. ábra). A Bayesianus elemzések pedig kimutatták, hogy a stimuláció nem befolyásolta a tanulást sem a reakcióidő ($BF_{\text{Inclusion}} = 0.073$) sem a pontosság ($BF_{\text{Inclusion}} = 0.035$) tanulási mutatók tekintetében.



3. ábra. Procedurális tanulás reakcióidő (A) és pontosság alapján (B) mérve az aktív és a placebo stimulációs feltételekben. Nem mutatkozott különbség az théta frekvenciájú aktív stimuláció (szürke négyzetekkel jelölve) és a placebo (sham, fekete háromszögekkel jelölve) feltételek között sem a tanulásban, sem annak lefutásában. A hibamutató az átlag standard hibája.

Megbeszélés

A tanulás és annak lefutása sem mutatott különbséget a stimulációs és a kontroll kondíciók között. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a théta frekvenciájú szinkronizáció nincs hatással a procedurális emlékezetre. A stimuláció alatt, vagy az azt követő EEG mérés hiányában nem tudjuk igazolni, hogy a stimuláció kiváltotta a megfelelő változásokat az agyi aktivitásban. A stimuláció paramétereit korábbi tanulmányok alapján választottuk, ahol sikerrel befolyásolták az agyi aktivitást és a kognitív teljesítményt (Chander et al., 2016; Polanía, Moisa, Opitz, Grueschow, & Ruff, 2015; Violante et al., 2017; Vosskuhl, Huster, & Herrmann, 2015), ugyanakkor elképzelhető, hogy a saját vizsgálatunkban ezek a paraméterek (fronto-parietális elektróda pozíciók, relatív gyenge 1 mA-s áramerősség vagy a théta frekvencia) nem voltak megfelelőek az emlékezeti teljesítmény befolyásolásához. Az áramerősség tekintetében friss állatkísérletek arra utalnak, hogy a transzkraniális elektromos stimulációkban általában (és a mi tanulmányunkban is) használt áramerősség túl gyenge ahhoz, hogy tényleges változásokat okozzon az agyi aktivitásban (Khatoun, Asamoah, & Mc Laughlin, 2019; Krause, Vieira, Csorba, Pilly, & Pack, 2019; Vöröslakos et al., 2018). Azért, hogy meggyőződhetünk, hogy az agyi stimuláció kiváltja a várt hatásokat az agyi aktivitásra, azt mindenképpen mérnünk kellene. A mi vizsgálatunkhoz nem állt rendelkezésre olyan eszköz, amely egyszerre lett volna alkalmas az agyi aktivitás mérésére és stimuláció adására, azonban érdemes lenne a kísérletünket megismételni egy ilyen eszköz segítségével.

3. tézispont: A nem-invazív agyi stimuláció egy jó módszer az agyi aktivitás és az emlékezeti teljesítmény közötti ok-okozati viszonyok feltárásához.

4. fejezet: A procedurális emlékezet felbontása: A szekvencia és statisztikai tanulás eltérő tanulási görbéi és konszolidációja (3. tanulmány)³

Korábbi tanulmányok kimutatták, hogy az alvásnak kritikus szerepe lehet az emlékezeti konszolidációban (Diekelmann, Wilhelm, & Born, 2009; Walker & Stickgold, 2004). Azonban friss tanulmányok szerint az interferencia nélküli (csendes) ébrenlét az alváshoz hasonló jótékony hatással lehet az emlékezeti konszolidációra (Brokaw et al., 2016; Craig & Dewar, 2018; Mednick, Cai, Shuman, Anagnostaras, & Wixted, 2011). Ebben a vizsgálatban azt vizsgáltuk, hogy van-e az alvásnak a csendes ébrenléthez képest jótékony hatása a procedurális emlékezet konszolidációjára. Ehhez a kísérletünkben a résztvevőket a tanulás után három csoportra osztottuk: alvó, csendes ébrenléti, és filmnéző csoportra. Ezen kívül, mivel számos tanulmány eredményei arra utalnak, hogy nem maga az alvás, hanem az alváshoz kötődő oszcillációk segítik az emlékezeti konszolidációt, a tanulás utáni pihenési (konszolidációs) szakaszt EEG-vel monitoroztuk. Az agyi aktivitás és az emlékezeti konszolidáció összefüggéseinek feltárása érdekében minden csoportban összevetettük az agyi aktivitás spektrális felbontását a memóriateljesítménnyel. Végül fontos kiemelni, hogy ebben a kísérletben megkülönböztettük a szekvencia és statisztikai tanulást, és arra is kíváncsiak voltunk, hogy a kettő eltérő összefüggéseket mutat-e az alvással.

Módszerek

Résztvevők – A vizsgálat végleges mintájában 78 fiatal felnőtt (58 nő, átlag életkor: $M = 21,71 \pm 1,97$) vett részt. A résztvevőknek nem volt neurológiai, pszichiátriai vagy kardiovaszkuláris betegsége, fejsérülése, általánosan jó vagy közepes alvásminőségről számoltak be és nem szedtek központi idegrendszerre ható szereket.

Mérőeszközök – A procedurális emlékezet mérésére a módosított ASRT tesztet használtuk (Nemeth, Janacsek, & Fiser, 2013), amely lehetővé teszi a szekvencia és statisztikai tanulás megkülönböztetését.

Eljárás – A kísérleti alkalom elején felhelyeztük a résztvevőkre az EEG sapkát. Ezután az ASRT feladat következett, amely tanulási, tesztelési, pihenési és retesztelési szakaszokból állt. A pihenési szakaszban a résztvevők három csoport valamelyikébe kerültek beosztásra: alvó/csendes ébrenléti/filmnéző. A csendes ébrenléti csoport esetén a személyeket arra kértük, hogy a fal felé fordulva nyugodtan üljenek, a szemeiket 5 percenként kinyitva, illetve becsukva, hogy az elalvásukat megakadályozzuk.

EEG felvétel és elemzés – A résztvevők agyi aktivitását egy 64 csatornás EEG rendszerrel monitoroztuk (BrainAmp amplifier and BrainVision Recorder software, BrainProducts GmbH, Gilching, Germany). Az ébrenléti csoportok esetén a szem és egyéb izomeredetű műtermékek eltávolítását egy automatizált toolbox segítségével végeztük (Fully Automated Statistical Thresholding for EEG artifact Rejection toolbox, Nolan, Whelan, & Reilly, 2010). Az agyi aktivitás spektrális elemzését egy arra alkalmas szoftver segítségével végeztük el (FerciosEEGPlus, © Ferenc Gombos 2008-2017). A spektrális erőket az alábbi 5 frekvenciatartományba átlagoltuk az ébrenléti csoportoknál: delta (1,5-4 Hz), theta (4,25-8), alpha (8,25-13), sigma (13,25-16), és beta (16,25-25 Hz), és az alvó csoportnál: delta (0,75-4 Hz), theta (4,25-8), alpha (8,25-13), sigma (13,25-16), és beta (16,25-31 Hz).

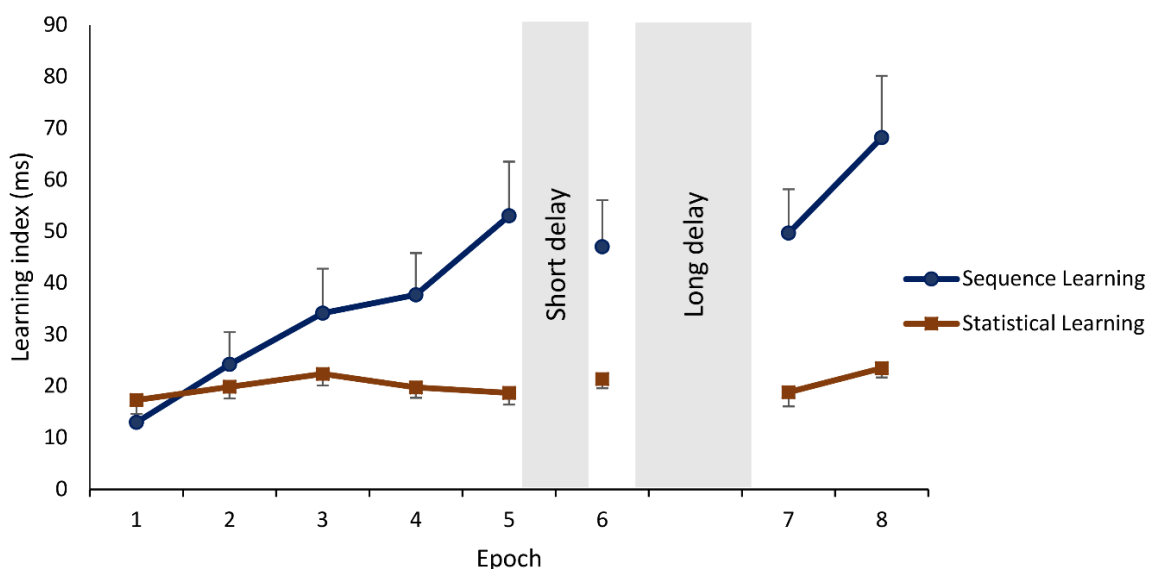
Statisztikai elemzés – A procedurális emlékezet méréséhez az ASRT feladatban tanulási mutatókat számoltunk külön a szekvencia és a statisztikai tanulásra. A szekvenciatanulási mutatót az egyformán gyakori ingerhármak végén található szekvencia és random elemekre

³ Simor, P., Zavecz, Z., Horváth, K., Éltető, N., Török, C., Pesthy, O., Gombos, F., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2019). Deconstructing procedural memory: Different learning trajectories and consolidation of sequence and statistical learning. *Frontiers in Psychology*, 9, 2708.

adott válaszok reakcióidejének különbségéből számoltuk. A statisztikai tanulási mutatót pedig a random elemekre, amelyek gyakoribb vagy ritkább ingerhármások utolsó elemei voltak. Mivel a feladat hosszú, a tanulás során több tanulási mutatót számoltunk, ún. epochonként. A tanulás lefutásának vizsgálatához vegyes elrendezésű varianciaanalíziseket számoltunk az EPOCH, és a TANULÁSI TÍPUS (Szekvencia, Statisztikai) személyen belüli faktorokkal és a CSOPORT (Alvó, Csendes ébrenléti, Filmnéző) személyek közötti faktorról. A konszolidáció méréshez a pihenés előtti utolsó (tesztelési) tanulási mutatót kivontunk a pihenés utáni (retesztelési) első tanulási mutatóból mind a szekvencia mind a statisztikai tanulás esetén. A konszolidációs mutatók és a pihenés alatti agyi aktivitás összefüggéseit korrelációs tesztekkel vizsgáltuk.

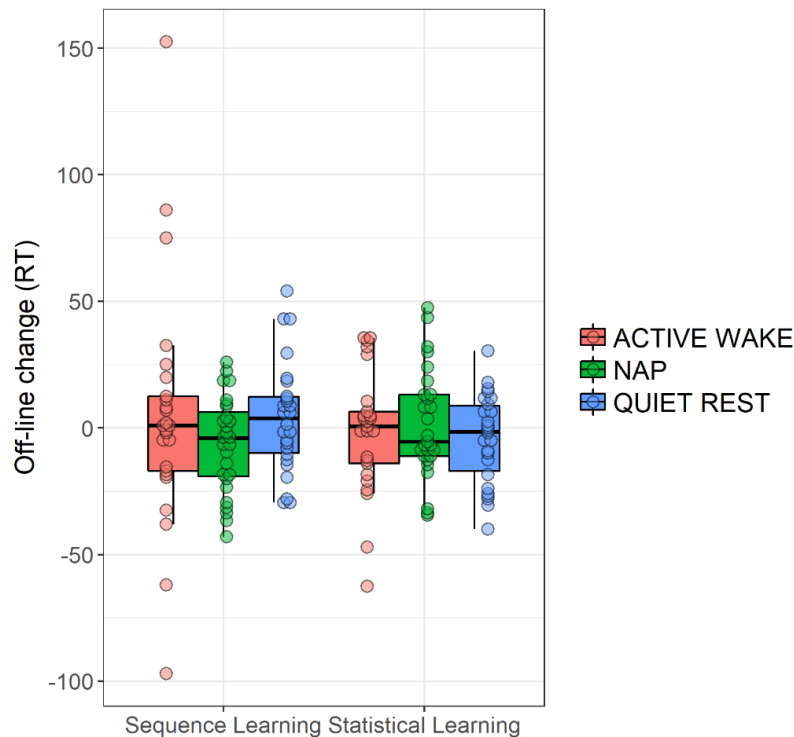
Eredmények

A szekvencia és statisztikai tanulás lefutása – A szekvencia és statisztikai tanulás eltérő tanulási görbéket mutatott (EPOCH x TANULÁSI TÍPUS interakció: $F(4,300) = 5,52$, $p = 0,002$, $\eta^2_p = 0,07$). Ahogy a 4. ábrán is látszik, a résztvevők folyamatosan növekvő szekvenciatanulást mutattak, míg a statisztikai tanulás nagyon korán megmutatkozott, de a gyakorlás további részében nem változott. Egyik tanulási mutató sem mutatott változást a pihenési időszak alatt ($p = 0,86$).



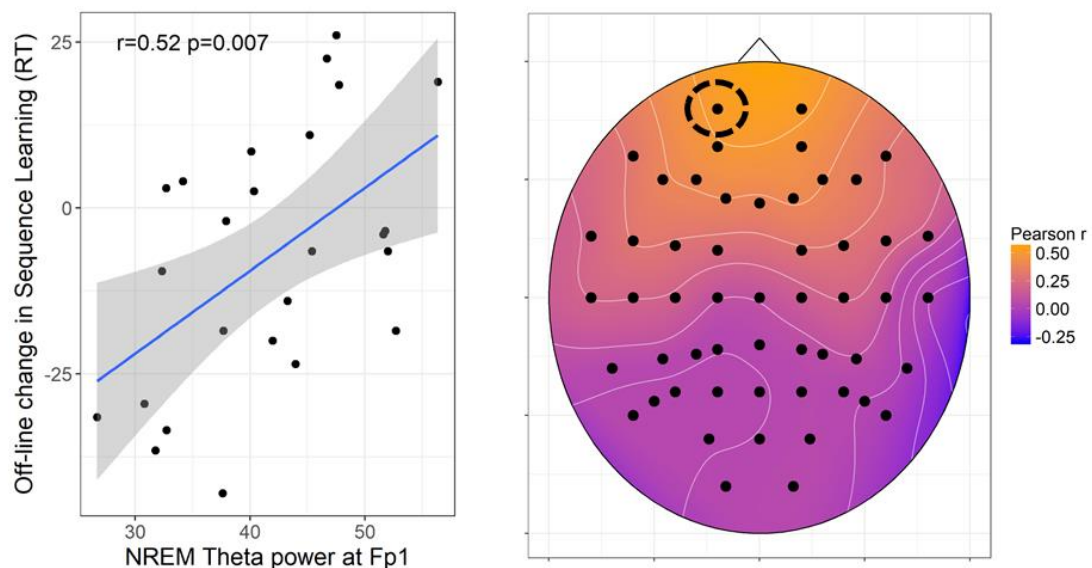
4. ábra. A szekvencia és statisztikai tanulás tanulási görbéje és konszolidációja. A tanulási mutatók átlaga és azok standard hibája epochonként. A szekvenciatanulás (késsel jelölve) meredek emelkedést mutatott a tanulási szakaszban (1-5 epochok) és pihenést követő további gyakorlás során (7-8 epochok), míg a statisztikai tanulás (pirossal jelölve) nem változott a feladat előrehaladtával.

Különbözik-e a szekvencia és statisztikai tanulás a csoportokban? – Sem a szekvencia sem a statisztikai tudás konszolidációja nem különbözött az alvó, csendes ébrenléti és filmnéző csoport között (nem szignifikáns CSOPORT főhatás: $F(2,75) = 0,65$, $p = 0,53$, $\eta^2_p = 0,02$; CSOPORT x EPOCH interakció: $F(4,150) = 0,52$, $p = 0,67$, $\eta^2_p = 0,01$; CSOPORT x TANULÁSI TÍPUS interakció: $F_{2,75} = 0,65$, $p = 0,53$, $\eta^2_p = 0,02$; és CSOPORT x EPOCH x TANULÁSI TÍPUS interakció: $F_{4,150} = 0,73$, $p = 0,55$, $\eta^2_p = 0,02$; 5. ábra)



5. ábra. A szekvencia és statisztikai tanulás konszolidációja a három csoportban. A körök az egyes személyek adatait mutatják, a vízszintes vonal a mediánokat, míg a dobozok az első és harmadik kvartiliseket, az abból nyíló vonalak pedig az 1,5-ös interkvartilis tartományt jelölik. Az alvó csoport (zöld) nem mutatott eltérő konszolidációt, a csendes ébrenléti (kék) vagy filmnőző (piros) csoportoktól.

A pihenés alatti agyi aktivitás spektrális felbontása és az emlékezeti konszolidáció összefüggései – Az alvó csoportban a szekvenciatanulás konszolidációja pozitív összefüggést mutatott a frontális theta erejével ($r = 0,44$, $p = 0,028$; 6. ábra), míg a statisztikai tanulás nem mutatott összefüggést egyik frekvenciatartomány erejével sem. Az ébrenléti csoportokban sem szekvencia, sem a statisztikai tanulás konszolidációja nem mutatott összefüggést az agyi aktivitás spektrális felbontásával.



6. ábra. Az alvás alatti theta ereje és a szekvenciatanulás konszolidációja közötti összefüggés. A jobb oldali hő térkép a szekvenciatanulás konszolidációjának theta erővel mutatott korrelációs koefficienseit mutatja különböző elektródák esetén. A bal oldalon egy erős asszociációt mutató elektróda (bal frontális) példa összefüggése látható.

Megbeszélés

A szekvencia és statisztikai tanulás konszolidációja nem különbözött attól függően, hogy a konszolidáció alatti pihenőidőszakot a résztvevők alvással vagy ébrenléttel töltötték. Ez az eredmény összhangban van azokkal a korábbi eredményekkel, amelyek nem mutattak ki alvás-függő konszolidációs hatásokat egyéb procedurális emlékezeti feladatok esetén (Peigneux et al., 2003, 2006; Song et al., 2007; Nemeth et al., 2010; Hallgató et al., 2013). Azonban a pihenőidő alatti agyi aktivitás spektrális felbontása csak az alvás esetén mutatott összefüggést az emlékezeti konszolidációval, ébrenlét esetén nem. Ez az eredmény szelektíven, csak a szekvenciatanulás esetén jelent meg: a szekvenciatanulás konszolidációja pozitív összefüggést mutatott az alvás alatti θ spektrális erejével. Ez az eredmény arra utal, hogy míg maga az alvás nem, alváshoz köthető specifikus oszcillációk összefüggésben lehetnek a procedurális emlékezeti konszolidációval.

Habár a kísérlet elsődleges fókuszja az alvás szerepének vizsgálata volt a procedurális emlékezet konszolidációjában, egyben ez volt az egyik első vizsgálat, amelyben a szekvencia és a statisztikai tanulást elkülönítették egy paradigmán belül. Eredményeink szerint a szekvencia és statisztikai tanulás eltérő lefutást mutat. A szekvenciatanulás folyamatosan emelkedett, még a pihenést követő további gyakorlás során is. Ehhez képest a statisztikai tanulás nagyon hamar megmutatkozott, ám a feladat előrehaladtával változatlan maradt. A konszolidációt tekintve, mindkét tanulási forma megőrzésre került a pihenési szakasz alatt, sem felejtés, sem teljesítménynövekedés nem következett be. Ez utalhat arra, hogy a két tanulási forma konszolidációja hasonló mechanizmusokon alapszik, szemben a tanulási folyamattal. Ez azonban annak fényében, hogy a pihenési idő alatt eltérő neurális korrelátumaik voltak, valószínűtlen. Egy újabb (a disszertációban nem közölt) kísérletünkben igyekszünk pontosabban feltárni a két tanulási forma neurális hátterének különbségeit.

4. tézispont: *A szekvencia és statisztikai tanulás lefutása eltér.*

5. tézispont: *Az alvásnak nincs kiemelt szerepe a procedurális emlékezet konszolidációjában az ébrenléthez képest.*

6. tézispont: *Az alvás alatti lassú oszcillációk azonban összefüggnek a szekvenciatanulás konszolidációjával.*

5. fejezet: A szubjektív alvásminőség és a kognitív teljesítmény kapcsolata fiatal felnőtteknél: Három empirikus tanulmány alapján (4. tanulmány)⁴

Korábbi tanulmányok kimutatták, hogy az alvás szubjektív és objektív paraméterei eltérnek (Armitage, Trivedi, Hoffmann, & Rush, 1997; Guedes et al., 2016; Landry, Best, & Liu-Ambrose, 2015). Ezek között extrém eltérések lehetnek alvászavarok, mint például inszomnia esetén. Zhang és Zhao (2007) és és mtsai. (1989) alapján inszomnia esetén mind a kezelés igényét mind a hatékony terápia módját befolyásolja a szubjektív alvásminőség. Ezen kívül, az, hogy mit gondol az ember a saját alvásáról placebo és nocebo hatással lehet a kognitív teljesítményre mind inszomniás, mind egészséges személyeknél (Draganich & Erdal, 2014; Gavriloff et al., 2018). Tehát a szubjektív alvásminőségnek jelentősége van terápiás szempontból is, amellet pedig magyarázhatja a kognitív teljesítménybeli különbségeket is. Azonban a szubjektív alvásminőség és a kogníció kapcsolatának irodalma nem tisztázott, és azzal kapcsolatban a procedurális emlékezetet még nem vizsgálták. Ezért jelen vizsgálatban ezt az irodalmi rést kívántuk betölteni egy széleskörű vizsgálattal, amelyben fiatal felnőttek esetén kutattuk a szubjektív alvásminőség és a kogníció (beleértve a procedurális emlékezetet) kapcsolatát.

Módszerek

Résztvevők – Ehhez a tanulmányhoz 3 kísérlet adatait használtuk fel. Az első vizsgálatban 47 (Török, Janacsek, & Nemeth, 2016), a másodikban 103 (Simor et al., 2019), a harmadikban pedig 85 (Á. Takács et al., 2016) egészséges fiatal felnőtt vett részt. A résztvevőknek nem volt neurológiai, pszichiátriai vagy kardiovaszkuláris betegsége, fejsérülése, és nem szedtek központi idegrendszerre ható szereket.

Mérőeszközök – *Szubjektív alvásminőség kérdőívek* – Az elmúlt hónap általános alvásminőségét a Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI, Buysse, Reynolds III, Monk, Berman, & Kupfer, 1989; J. Takács et al., 2016) és az Athens Insomnia Scale (AIS, Novak, Mucsi, Shapiro, Rethelyi, & Kopp, 2004; Soldatos, Dikeos, & Paparrigopoulos, 2000) skála segítségével mértük. Ezen kívül a 2. vizsgálatban további kérdőíveket vettünk fel: a hosszú távú alvásminőség napi monitorozására egy alvásnaplót, míg a tesztelés előtti éjszaka vizsgálatához a Groningen Sleep Quality Scale (GSQS) skálát (Meijman, de Vries-Griever, De Vries, & Kampman, 1988; Simor, Köteles, Bódizs, & Bárdos, 2009). *Kognitív tesztek* – A munkamemóriát a Számlálási terjedelem tesztel (Counting Span task, Case, Kurland, & Goldberg, 1982; Conway et al., 2005; Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999; Virag et al., 2015), míg a végrehajtó funkciókat a Wisconsin Kártyaszortírozási tesztel (Wisconsin Card Sorting Test, WCST, Berg, 1948; Nemeth, Janacsek, Polner, & Kovacs, 2013; Piper et al., 2015) mértük. A procedurális emlékezet mérésére a módosított ASRT tesztel használtuk (Nemeth, Janacsek, & Fiser, 2013), amely lehetővé teszi a szekvencia és statisztikai tanulás megkülönböztetését. Ebben a tanulmányban az ASRT feladat további mutatóit is megkülönböztettük, úgy mint átlagos reakcióidő, pontosság, és általános készségtanulás (a pontosság és reakcióidő változása a feladat elejéről a végére), hogy a tanulás motoros komponenseit is elkülöníthessük (Hallgato, Györi-Dani, Pekár, Janacsek, & Nemeth, 2013).

Statisztikai elemzés – A PSQI és AIS skálákat főkomponens elemzéssel egy Alvásminőség skálává alakítottuk át. Ezután lineáris regressziót számoltunk külön minden kognitív teszten mutatott teljesítményre, amelyben az Alvásminőség skálát prediktorként használtuk és a vizsgálat számát (1, 2 vagy 3) random hatásként adtuk hozzá. Ezen kívül kovariánsként

⁴ Zavec, Z., Nagy, T., Galkó, A., Nemeth, D., & Janacsek, K. (2020). The relationship between subjective sleep quality and cognitive performance in healthy young adults: Evidence from three empirical studies. *Scientific reports*, 10(1), 1-12.

hozzáadtuk a modellhez a kor, nem, és a kronotípus pontszámot, hogy ezekre kontrolláljunk az elemzéseinkben. Továbbá, hogy igazolni tudjuk, ha nincs összefüggés két változó között, Bayes Faktorokat (BF_{01}) is számoltunk. A BF_{01} esetén az 1-nél nagyobb értékek az összefüggés hiányát igazolják, míg az 1-nél kisebb értékek annak meglétét (Wagenmakers, Wetzels, Borsboom, & van der Maas, 2011). A második vizsgálat egyéb kérdőívei esetén hasonlóan jártunk el, azonban ezekben a modellekben a random hatások (vizsgálatok) nem szerepeltek.

Eredmények

A szubjektív alvásminőség nem mutatott kapcsolatot egyik általunk mért kognitív teljesítménnyel sem (1. táblázat). A Bayes Faktorok értékei 5,01 és 14,35 között változtak, vagyis igazolják, hogy nincs összefüggés a szubjektív alvásminőség és a kognitív teljesítmény között.

1. táblázat. Az alvásminőség összefüggése a kognitív teljesítmény mérőszámaival

Mérőszám	β	95% CI	df	p	BF_{01}
Pontosság tanulási mutatók					
Pontosság szekvencia tanulás	-,041	[-0,18, 0,11]	205	,58	12,28
Pontosság statisztikai tanulás	-,038	[-0,17, 0,09]	205	,56	12,42
Pontosság kevert tanulási mutató	-,067	[-0,19, 0,06]	205	,30	8,50
Reakcióidő tanulási mutatók					
Reakcióidő szekvencia tanulás	,014	[-0,15, 0,16]	205	,85	14,29
Reakcióidő statisztikai tanulás	-,062	[-0,21, 0,07]	205	,39	10,48
Reakcióidő kevert tanulási mutató	-,028	[-0,17, 0,12]	205	,71	13,60
Általános készség mutatók					
Pontosság változása	,037	[-0,06, 0,13]	205	,45	11,06
Átlagos pontosság	,065	[-0,04, 0,17]	205	,23	6,79
Átlagos reakcióidő	-,019	[-0,17, 0,12]	205	,80	14,05
Reakcióidő változása	-,075	[-0,23, 0,07]	205	,33	8,83
MM és VF funkciók					
Számlálási terjedelem	-,013	[-0,17, 0,14]	205	,87	14,35
WCST – perszeverációs hiba	,107	[-0,03, 0,24]	199	,13	5,01

Megjegyzés: MM = munkamemória. VF = végrehajtó funkció. WCST = Wisconsin Card Sorting Test.

A 2. vizsgálatban az alvásnapló szintén nem mutatott összefüggést a kognitív tesztek mérőszámaival (minden $p > ,05$). A Bayes Faktorok értékei 2,51 és 12,58 között változtak, vagyis igazolják, hogy nincs összefüggés a szubjektív alvásminőség és a kognitív teljesítmény között. Az előbbiekhöz hasonlóan a GSQS sem mutatott összefüggést a kognitív tesztek mérőszámaival (minden $p > ,11$). A Bayes Faktorok értékei 3,46 és 16,46 között változtak,

vagyis igazolják, hogy nincs összefüggés az előző éjszakai szubjektív alvásminőség és a kognitív teljesítmény között.

Megbeszélés

Nem tudtunk összefüggést kimutatni a szubjektív alvásminőség és a kognitív teljesítmény között a robosztus frekventista elemzéseinkkel. A Bayesianus elemzések pedig igazolták, hogy a szubjektív alvásminőség és a munkamemória, végrehajtó funkciók és procedurális emlékezet között nincs kapcsolat. Ez igaznak bizonyult mind az általános alvásminőségre, amiről retrospektíven (PSQI, AIS), vagy amiről napi önmonitorozás során (Alvásnapló) számoltak be a személyek, illetve a tesztelést megelőző éjszaka alvásminőségre is (GSQS). Ez arra utal, hogy sem az átmeneti sem pedig a tartós szubjektív alvásminőség nem függ össze a kognitív teljesítménnyel egészséges fiatal felnőttek esetén. Fontos azonban, hogy ez nem azt jelenti, hogy az alvás maga nem függ össze a vizsgált kognitív folyamatokkal. Mivel az alvás objektíven és szubjektíven mért paramétereik között nagy különbségek vannak (Armitage et al., 1997; Guedes et al., 2016; Landry et al., 2015), ezért az azokkal kapcsolatos eredményeket nem lehet általánosítani. Ehelyett eredményeink azt mutatják, hogy az alvás egy másik aspektusa, a szubjektív alvásminőség sem függ össze a procedurális emlékezettel.

7. tézispont: A szubjektív alvásminőség nem függ össze a procedurális emlékezeten belül sem a szekvencia, sem a statisztikai sem pedig a motoros tanulással.

6. fejezet: Általános megbeszélés

A tanulmányok konklúziói a viselkedéses szinten

A viselkedéses szinten egyrészt kimutattuk, hogy a procedurális tanulás vizsgált alfolyamatai, a szekvencia és statisztikai tanulás eltérő tanulási görbét mutat (3. és 4. tanulmány). Másrészt kimutattuk, hogy viselkedéses szinten az alvásnak nincs szerepe a procedurális tanulásban és konszolidációban, sem szekvencia, sem statisztikai tanulás esetén (3. és 4. tanulmány). Ez igaz az alvás szubjektív és objektív mérése esetén is. Ezek az eredmények összhangban vannak azokkal a korábbi eredményekkel, amelyeknél az alvás nem mutatott összefüggést a procedurális emlékezettel (Csabi et al., 2015; Nemeth, Csábi, Janacsek, Varszegi, & Mari, 2012; Wilhelm, Diekelmann, & Born, 2008).

A tanulmányok konklúziói a neurális szinten

A viselkedéses szinttel szemben, a neurális szinten az alvás mégis összefügghet a procedurális emlékezettel. Az 1. tanulmányban a lassú hullámú alvás spektrális felbontása nem mutatott összefüggést a procedurális emlékezettel. A 3. tanulmányban azonban, amelyben külön vizsgálatuk a szekvencia és statisztikai tanulást, a szekvenciatanulás összefüggött az alvás spektrális jellemzőivel. Érdekes módon, ez az összefüggés az alvás lassú oszcillációival mutatkozott, amellyel az 1. tanulmányban a deklaratív emlékezeti teljesítmény is összefüggést mutatott.

A deklaratív emlékezet és a szekvenciatanulás neurális korrelátumai közötti hasonlóság két okból is létrejöhetett: 1) A deklaratív emlékezetnek és a szekvenciatanulásnak közös jellemzői vannak, úgy, mint tudatosság vagy az MTL szerepe, vagy 2) az alvás alatti lassú oszcillációk különböző emlékezeti folyamatokat is támogatnak. Mind a két lehetőségre van némi, bár nem konkluzív bizonyíték. Azonban fontos megemlíteni, hogy habár mindkét esetben az emlékezeti teljesítménnyel a lassú oszcillációk mutattak összefüggést, a két tanulmány között eltért az összefüggést mutató pontos frekvenciatartomány, az összefüggés iránya és az összefüggést mutató emlékezeti szakasz (tanulás vs. konszolidáció) is. Kérdéses tehát, hogy itt hasonló vagy eltérő mechanizmusok játszottak szerepet.

A procedurális emlékezet ébrenlét alatti neurális korrelátumaival kapcsolatban a tanulmányaink nem hoztak áttörő eredményt, azonban tanulságokkal szolgáltak. Egyrészt bemutattuk a transzkraniális elektromos ingerlést, mint lehetséges módszert az agyi aktivitás és a kogníció közötti kauzális viszonyok feltárására. Másrészt látható, hogy az agyi aktivitás és az emlékezeti teljesítmény közötti kapcsolatok feltárásához szofisztikáltabb elemzési módszerek szükségesek. Egy ilyen lehetséges elemzés a funkcionális konnektivitás, amelyet további tanulmányainkban (amelyek nem részei a disszertációnk) sikeresen használtunk az ébrenlét alatti agyi aktivitás és az emlékezeti teljesítmény kapcsolatának feltárására.

Összefoglalás

A disszertáció tanulmányaival a célunk a procedurális emlékezet jobb megértése volt, annak alfolyamatainak és neurális hátterének, illetve alvással való kapcsolatának feltárásával. Eredményeink szerint a procedurális emlékezet nem egységes, legalább két alfolyamata, a szekvencia és statisztikai tanulás elkülöníthetőek. Ezek az alfolyamatok eltérő tanulási görbét és neurális korrelátumokat mutattak. Ezen kívül úgy tűnik, hogy a procedurális emlékezet független az alvástól, azonban alváshoz köthető oszcillációk szerepet játszhatnak a szekvenciatanulás konszolidációjában. Az eredményeink az emlékezetről, az alvásról és a hozzájuk köthető agyi aktivitásról széles körű módszerek segítségével kerültek bizonyításra: használtunk agyi stimulációt, elektrofiziológiai, és objektív és szubjektív alvás méréseket. Ezek az eredmények azért fontosak, mert az emlékezet hátterében álló mechanizmusok feltárása hozzájárulhat a mindennapi emlékezeti teljesítmény fejlesztéséhez és az emlékezetet érintő klinikai kórképek (amnézia, poszt-traumatikus stressz szindróma, demencia) kezeléséhez.

Irodalomjegyzék

- Albouy, G., Fogel, S., King, B. R., Laventure, S., Benali, H., Karni, A., . . . Doyon, J. (2015). Maintaining vs. enhancing motor sequence memories: respective roles of striatal and hippocampal systems. *Neuroimage*, 108, 423-434.
- Albouy, G., Sterpenich, V., Balet, E., Vandewalle, G., Desseilles, M., Dang-Vu, T., . . . Maquet, P. (2008). Both the hippocampus and striatum are involved in consolidation of motor sequence memory. *Neuron*, 58(2), 261-272.
- Armitage, R., Trivedi, M., Hoffmann, R., & Rush, A. J. (1997). Relationship between objective and subjective sleep measures in depressed patients and healthy controls. *Depression and anxiety*, 5(2), 97-102.
- Ashby, F. G., & O'Brien, J. B. (2005). Category learning and multiple memory systems. *Trends in Cognitive Science*, 9(2).
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: An experimental and social study*: Cambridge: Cambridge University.
- Beebe, D. W., & Gozal, D. (2002). Obstructive sleep apnea and the prefrontal cortex: towards a comprehensive model linking nocturnal upper airway obstruction to daytime cognitive and behavioral deficits. *Journal of Sleep Research*, 11(1), 1-16. doi: 10.1046/j.1365-2869.2002.00289.x
- Berg, E. A. (1948). A simple objective treatment for measuring flexibility in thinking. *Journal of General Psychology*, 39, 15-22.
- Bergman, E. T., & Roediger, H. L. (1999). Can Bartlett's repeated reproduction experiments be replicated? *Memory & Cognition*, 27(6), 937-947. doi: 10.3758/BF03201224
- Blunden, S., Lushington, K., Lorenzen, B., Martin, J., & Kennedy, D. (2005). Neuropsychological and psychosocial function in children with a history of snoring or behavioral sleep problems. *The Journal of pediatrics*, 146(6), 780-786.
- Brokaw, K., Tishler, W., Manceor, S., Hamilton, K., Gaulden, A., Parr, E., & Wamsley, E. J. (2016). Resting state EEG correlates of memory consolidation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 130, 17-25.
- Buysse, D. J., Reynolds III, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28(2), 193-213.
- Buzsáki, G., & Draguhn, A. (2004). Neuronal oscillations in cortical networks. *Science*, 304(5679), 1926-1929.
- Cajochen, C., Foy, R., & Dijk, D. J. (1999). Frontal predominance of a relative increase in sleep delta and theta EEG activity after sleep loss in humans. *Sleep Res Online*, 2(3), 65-69.
- Carrier, J., Land, S., Buysse, D. J., Kupfer, D. J., & Monk, T. H. (2001). The effects of age and gender on sleep EEG power spectral density in the middle years of life (ages 20-60 years old). *Psychophysiology*, 38(2), 232-242.
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33(3), 386-404.
- Chander, B. S., Witkowski, M., Braun, C., Robinson, S. E., Born, J., Cohen, L. G., . . . Soekadar, S. R. (2016). tACS phase locking of frontal midline theta oscillations disrupts working memory performance. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 10, 120.
- Conway, A. R., Kane, M. J., Bunting, M., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic bulletin & review*, 12(5), 769-786.
- Craig, M., & Dewar, M. (2018). Rest-related consolidation protects the fine detail of new memories. *Scientific Reports*, 8(1), 6857.
- Csábi, E., Benedek, P., Janacsek, K., Katona, G., & Nemeth, D. (2013). Sleep disorder in childhood impairs declarative but not nondeclarative forms of learning. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 35(7), 677-685.
- Csabi, E., Benedek, P., Janacsek, K., Zavecz, Z., Katona, G., & Nemeth, D. (2015). Declarative and Non-declarative Memory Consolidation in Children with Sleep Disorder. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 709. doi: 10.3389/fnhum.2015.00709
- Darien, I. (2014). International classification of sleep disorders. *American Academy of Sleep Medicine*.

- Daw, Niv, & Dayan. (2005). Uncertainty-based competition between prefrontal and dorsolateral striatal systems for behavioral control. *Nature Neuroscience*, 8(12), 1704-1711.
- Diekelmann, S., Wilhelm, I., & Born, J. (2009). The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep Medicine Reviews*, 13(5), 309-321.
- Draganich, C., & Erdal, K. (2014). Placebo sleep affects cognitive functioning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(3), 857.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology*, 128(3), 309-331.
- Ferri, R., Huber, R., Arico, D., Drago, V., Rundo, F., Ghilardi, M. F., . . . Tononi, G. (2008). The slow-wave components of the cyclic alternating pattern (CAP) have a role in sleep-related learning processes. *Neuroscience Letters*, 432(3), 228-231. doi: 10.1016/j.neulet.2007.12.025
- Fiser, J., & Aslin, R. N. (2002). Statistical learning of new visual feature combinations by infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(24), 15822-15826. doi: 10.1073/pnas.232472899
- Gavriloff, D., Sheaves, B., Juss, A., Espie, C. A., Miller, C. B., & Kyle, S. D. (2018). Sham sleep feedback delivered via actigraphy biases daytime symptom reports in people with insomnia: Implications for insomnia disorder and wearable devices. *Journal of Sleep Research*, e12726.
- Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L., & Yu, D. (1997). High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral cortex (New York, NY: 1991)*, 7(4), 374-385.
- Gilson, M., Deliens, G., Leproult, R., Bodart, A., Nonclercq, A., Ercek, R., & Peigneux, P. (2015). REM-enriched naps are associated with memory consolidation for sad stories and enhance mood-related reactivity. *Brain sciences*, 6(1), 1.
- Gottlieb, D. J., Chase, C., Vezina, R. M., Heeren, T. C., Corwin, M. J., Auerbach, S. H., . . . Lesko, S. M. (2004). Sleep-disordered breathing symptoms are associated with poorer cognitive function in 5-year-old children. *Journal of Pediatrics*, 145(4), 458-464. doi: 10.1016/j.jpeds.2004.05.039
- Gottlieb, D. J., Vezina, R. M., Chase, C., Lesko, S. M., Heeren, T. C., Weese-Mayer, D. E., . . . Corwin, M. J. (2003). Symptoms of sleep-disordered breathing in 5-year-old children are associated with sleepiness and problem behaviors. *Pediatrics*, 112(4), 870-877. doi: 10.1542/peds.112.4.870
- Graf, P., & Schacter, D. L. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11(3), 501-518.
- Guedes, L. G., Abreu, G. d. A., Rodrigues, D. F., Teixeira, L. R., Luiz, R. R., & Bloch, K. V. (2016). Comparison between self-reported sleep duration and actigraphy among adolescents: gender differences. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 19(2), 339-347.
- Halbower, A. C., Degaonkar, M., Barker, P. B., Earley, C. J., Marcus, C. L., Smith, P. L., . . . Mahone, E. M. (2006). Childhood obstructive sleep apnea associates with neuropsychological deficits and neuronal brain injury. *PLoS Medicine*, 3(8), e301. doi: 10.1371/journal.pmed.0030301
- Hallgato, E., Györi-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.
- 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.
- Hsieh, L.-T., & Ranganath, C. (2014). Frontal midline theta oscillations during working memory maintenance and episodic encoding and retrieval. *Neuroimage*, 85, 721-729.
- Jensen, O., & Tesche, C. D. (2002). Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. *European Journal of Neuroscience*, 15(8), 1395-1399.
- Jones, K., & Harrison, Y. (2001). Frontal lobe function, sleep loss and fragmented sleep. *Sleep Medicine Reviews*, 5(6), 463-475.
- Jussila, M., Saarenpaa-Heikkila, O., Huupponen, E., Lapinlampi, A. M., Penttala, J., & Himanen, S. L. (2016). Sleep apnea reduces the amount of computational deep sleep in the right frontopolar area in school-aged children. *Clinical Neurophysiology*, 127(5), 2167-2174. doi: 10.1016/j.clinph.2016.02.016
- Kaufman, S. B., Deyoung, C. G., Gray, J. R., Jimenez, L., Brown, J., & Mackintosh, N. (2010). Implicit learning as an ability. *Cognition*, 116(3), 321-340. doi: 10.1016/j.cognition.2010.05.011

- Khatoun, A., Asamoah, B., & Mc Laughlin, M. (2019). How does transcranial alternating current stimulation entrain single-neuron activity in the primate brain? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(45), 22438-22439.
- Kheirandish-Gozal, L., Miano, S., Bruni, O., Ferri, R., Pagani, J., Villa, M. P., & Gozal, D. (2007). Reduced NREM sleep instability in children with sleep disordered breathing. *Sleep*, 30(4), 450-457. doi: 10.1093/sleep/30.4.450
- Kóbor, A., Janacsek, K., Takács, Á., & Nemeth, D. (2017). Statistical learning leads to persistent memory: Evidence for one-year consolidation. *Scientific Reports*, 7(1), 760. doi: 10.1038/s41598-017-00807-3
- Kóbor, A., Takács, Á., Kardos, Z., Janacsek, K., Horváth, K., Csépe, V., & Nemeth, D. (2018). ERPs differentiate the sensitivity to statistical probabilities and the learning of sequential structures during procedural learning. *Biological Psychology*, 135, 180-193.
- Kohler, M. J., Lushington, K., van den Heuvel, C. J., Martin, J., Pamula, Y., & Kennedy, D. (2009). Adenotonsillectomy and neurocognitive deficits in children with Sleep Disordered Breathing. *PloS One*, 4(10), e7343. doi: 10.1371/journal.pone.0007343
- Krause, M. R., Vieira, P. G., Csorba, B. A., Pilly, P. K., & Pack, C. C. (2019). Transcranial alternating current stimulation entrains single-neuron activity in the primate brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(12), 5747-5755.
- Landry, G. J., Best, J. R., & Liu-Ambrose, T. (2015). Measuring sleep quality in older adults: a comparison using subjective and objective methods. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7, 166.
- Mander, B. A., Rao, V., Lu, B., Saletin, J. M., Lindquist, J. R., Ancoli-Israel, S., . . . Walker, M. P. (2013). Prefrontal atrophy, disrupted NREM slow waves and impaired hippocampal-dependent memory in aging. *Nature Neuroscience*, 16(3), 357-364. doi: 10.1038/nn.3324
- Marcus, C. L. (2001). Sleep-disordered breathing in children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 164(1), 16-30. doi: 10.1164/ajrccm.164.1.2008171
- Marshall, L., Helgadottir, H., Molle, M., & Born, J. (2006). Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory. *Nature*, 444(7119), 610-613. doi: 10.1038/nature05278
- McGaugh, J. L. (2000). Memory--A century of consolidation. *Science*, 287(5451), 248-251.
- Mednick, S. C., Cai, D. J., Shuman, T., Anagnostaras, S., & Wixted, J. T. (2011). An opportunistic theory of cellular and systems consolidation. *Trends in Neurosciences*, 34(10), 504-514.
- Meijman, T., de Vries-Griever, A., De Vries, G., & Kampman, R. (1988). The evaluation of the Groningen sleep quality scale. *Groningen: Heymans Bulletin (HB 88-13-EX)*, 2006.
- Meyer, L., Grigutsch, M., Schmuck, N., Gaston, P., & Friederici, A. D. (2015). Frontal-posterior theta oscillations reflect memory retrieval during sentence comprehension. *Cortex*, 71, 205-218.
- Munch, M., Knoblauch, V., Blatter, K., Schroder, C., Schnitzler, C., Krauchi, K., . . . Cajochen, C. (2004). The frontal predominance in human EEG delta activity after sleep loss decreases with age. *European Journal of Neuroscience*, 20(5), 1402-1410. doi: 10.1111/j.1460-9568.2004.03580.x
- Nemeth, D., Csábi, 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. doi: 10.1111/j.1365-2869.2011.00983.x
- 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. doi: 10.3389/fncom.2013.00147
- 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. doi: 10.1007/s00221-009-2024-x
- Nemeth, D., Janacsek, K., Polner, B., & Kovacs, Z. A. (2013). Boosting Human Learning by Hypnosis. *Cerebral Cortex*, 23(4), 801-805. doi: 10.1093/cercor/bhs068
- Nolan, H., Whelan, R., & Reilly, R. B. (2010). FASTER: fully automated statistical thresholding for EEG artifact rejection. *Journal of Neuroscience Methods*, 192(1), 152-162.
- Novak, M., Mucsi, I., Shapiro, C. M., Rethelyi, J., & Kopp, M. S. (2004). Increased utilization of health services by insomniacs—an epidemiological perspective. *Journal of Psychosomatic Research*, 56(5), 527-536.

- O'Brien, L. M., Mervis, C. B., Holbrook, C. R., Bruner, J. L., Smith, N. H., McNally, N., . . . Gozal, D. (2004). Neurobehavioral correlates of sleep-disordered breathing in children. *Journal of Sleep Research*, 13(2), 165-172. doi: 10.1111/j.1365-2869.2004.00395.x
- Onton, J., Delorme, A., & Makeig, S. (2005). Frontal midline EEG dynamics during working memory. *Neuroimage*, 27(2), 341-356.
- Peigneux, P., Orban, P., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., Laureys, S., & Maquet, P. (2006). Offline persistence of memory-related cerebral activity during active wakefulness. *PLoS Biology*, 4(4), e100.
- Peigneux, P., Orban, P., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., Laureys, S., & Maquet, P. (2006). Offline persistence of memory-related cerebral activity during active wakefulness. *PLoS Biology*, 4(4), e100.
- Piper, B. J., Mueller, S. T., Geerken, A. R., Dixon, K. L., Krolczak, G., Olsen, R. H., & Miller, J. K. (2015). Reliability and validity of neurobehavioral function on the Psychology Experimental Building Language test battery in young adults. *PeerJ*, 3, e1460.
- Polanía, R., Moisa, M., Opitz, A., Grueschow, M., & Ruff, C. C. (2015). The precision of value-based choices depends causally on fronto-parietal phase coupling. *Nature communications*, 6, 8090.
- Poldrack, R. A., Clark, J., Pare-Blagoev, E. J., Shohamy, D., Creso Moyano, J., Myers, C., & Gluck, M. A. (2001). Interactive memory systems in the human brain. *Nature*, 414(6863), 546-550.
- Rasch, B., & Born, J. (2013). About sleep's role in memory. *Physiological Reviews*, 93(2), 681-766. doi: 10.1152/physrev.00032.2012
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6, 855-863.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274(5294), 1926-1928.
- Scheeringa, R., Petersson, K. M., Oostenveld, R., Norris, D. G., Hagoort, P., & Bastiaansen, M. C. (2009). Trial-by-trial coupling between EEG and BOLD identifies networks related to alpha and theta EEG power increases during working memory maintenance. *Neuroimage*, 44(3), 1224-1238.
- Silber, M. H., Ancoli-Israel, S., Bonnet, M. H., Chokroverty, S., Grigg-Damberger, M. M., Hirshkowitz, M., . . . Iber, C. (2007). The visual scoring of sleep in adults. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 3(2), 121-131.
- Simor, P., Köteles, F., Bódizs, R., & Bárdos, G. (2009). A questionnaire based study of subjective sleep quality: the psychometric evaluation of the Hungarian version of the Groningen Sleep Quality Scale. *Mentálhigiéné és Pszichoszomatika*, 10(3), 249-261.
- Simor, P., Zavecz, Z., Horvath, K., Elteto, N., Török, C., Pesthy, O., . . . Nemeth, D. (2019). Deconstructing procedural memory: Different learning trajectories and consolidation of sequence and statistical learning. *Frontiers in Psychology*, 9, 2708.
- Soldatos, C. R., Dikeos, D. G., & Paparrigopoulos, T. J. (2000). Athens Insomnia Scale: validation of an instrument based on ICD-10 criteria. *Journal of Psychosomatic Research*, 48(6), 555-560.
- 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. doi: 10.1523/jneurosci.2062-07.2007
- Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, 99(2), 195-231.
- Squire, L. R., & Zola, S. M. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 93, 13515-13522.
- Stepanski, E., Koshorek, G., Zorick, F., Glinn, M., Roehrs, T., & Roth, T. (1989). Characteristics of individuals who do or do not seek treatment for chronic insomnia. *Psychosomatics*, 30(4), 421-427.
- Summerfield, C., & Mangels, J. A. (2005). Coherent theta-band EEG activity predicts item-context binding during encoding. *Neuroimage*, 24(3), 692-703.
- Szegedi-Hallgató, E., Janacsek, K., Vékony, T., Tasi, L. A., Kerepes, L., Hompoth, E. A., . . . Németh, D. (2017). Explicit instructions and consolidation promote rewiring of automatic behaviors in the human mind. *Scientific Reports*, 7(1), 4365.

- Takács, Á., Kóbor, A., Janacsek, K., Honbolygó, F., Kardos, Z., & Nemeth, D. (2016). *Controlled and automatic functions in risk-taking behavior*. Paper presented at the 3rd Conference of the European Society for Cognitive and Affective Neuroscience, Porto, Portugal.
- Takács, J., Bódizs, R., Ujma, P. P., Horváth, K., Rajna, P., & Harmat, L. (2016). Reliability and validity of the Hungarian version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-HUN): comparing psychiatric patients with control subjects. *Sleep and Breathing*, 20(3), 1045-1051.
- Tóth, B., Janacsek, K., Takács, Á., Kóbor, A., Zavecz, Z., & Nemeth, D. (2017). Dynamics of EEG functional connectivity during statistical learning. *Neurobiology of Learning and Memory*.
- Tóth, B., Kardos, Z., File, B., Boha, R., Stam, C. J., & Molnár, M. (2014). Frontal midline theta connectivity is related to efficiency of WM maintenance and is affected by aging. *Neurobiology of Learning and Memory*, 114, 58-69.
- Török, C., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2016). *How to boost consolidation of implicit probabilistic learning by manipulation of reconsolidation*. Paper presented at the International Conference On Memory, Budapest, Hungary.
- Turk-Browne, N. B., Scholl, B. J., Johnson, M. K., & Chun, M. M. (2010). Implicit perceptual anticipation triggered by statistical learning. *The Journal of Neuroscience*, 30(33), 11177-11187.
- Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1-2), 231-270.
- Violante, I. R., Li, L. M., Carmichael, D. W., Lorenz, R., Leech, R., Hampshire, A., . . . Sharp, D. J. (2017). Externally induced frontoparietal synchronization modulates network dynamics and enhances working memory performance. *Elife*, 6, e22001.
- 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.
- Vosskuhl, J., Huster, R. J., & Herrmann, C. S. (2015). Increase in short-term memory capacity induced by down-regulating individual theta frequency via transcranial alternating current stimulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 257.
- Vöröslakos, M., Takeuchi, Y., Brinyiczki, K., Zombori, T., Oliva, A., Fernández-Ruiz, A., . . . Buzsáki, G. (2018). Direct effects of transcranial electric stimulation on brain circuits in rats and humans. *Nature communications*, 9(1), 483.
- Wagenmakers, E. J., Wetzels, R., Borsboom, D., & van der Maas, H. L. (2011). Why psychologists must change the way they analyze their data: the case of psi: comment on Bem (2011). *Journal of Personality and Social Psychology*, 100(3), 426-432. doi: 10.1037/a0022790
- Walker, M. P., & Stickgold, R. (2004). Sleep-dependent learning and memory consolidation. *Neuron*, 44(1), 121-133.
- Wilhelm, I., Diekelmann, S., & Born, J. (2008). Sleep in children improves memory performance on declarative but not procedural tasks. *Learning and Memory*, 15(5), 373-377.
- Zhang, L., & Zhao, Z.-X. (2007). Objective and subjective measures for sleep disorders. *Neuroscience Bulletin*, 23(4), 236-240.

A disszertáció alapjául szolgáló publikációk listája

* osztott első szerzőséget jelöl (egyenlő hozzájárulás a cikk megszületéséhez)

Zavecz, Z., Horváth, K., Solymosi, P., Janacsek, K., & Nemeth D. (2020) Frontal-midline theta frequency and probabilistic learning: A transcranial alternating current stimulation study. *Behavioural Brain Research*, 393, 112733.

Zavecz, Z., Nagy, T., Galkó, A., Nemeth, D., & Janacsek, K. (2020). The relationship between subjective sleep quality and cognitive performance in healthy young adults: Evidence from three empirical studies. *Scientific Reports*, 10, 4855.

Simor, P. *, **Zavecz, Z.** *, Horvath, K., Elteto, N., Török, C., Pesthy, O., ... & Nemeth, D. (2018). Deconstructing procedural memory: Different learning trajectories and consolidation of sequence and statistical learning. *Frontiers in Psychology*, 9, 2708.

Simor, P. *, **Zavecz, Z.** *, Csábi, E. *, Benedek, P. *, Janacsek, K. *, Gombos, F. *, & Németh, D. * (2017). Delta and theta activity during slow-wave sleep are associated with declarative but not with non-declarative learning in children with sleep-disordered breathing. *Sleep Spindles & Cortical Up States*, 1(1), 55-66.

A megjelent publikációk kumulatív impakt faktora: 8.91

Megjegyzés: Minden társszerző hozzájárult ahhoz, hogy az adott publikáció a jelen disszertáció részét képezze.

A disszertációban fel nem használt publikációk listája

- Tóth, B., Janacsek, K., Takács, Á., Kóbor, A., **Zavecz, Z.**, & Nemeth, D. (2017). Dynamics of EEG functional connectivity during statistical learning. *Neurobiology of learning and memory*, 144, 216-229.
- Csabi, E., Benedek, P., Janacsek, K., **Zavecz, Z.**, Katona, G., Nemeth, D. (2016). Declarative and non-declarative memory consolidation in children with sleep disorder. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 709.
- Simor, P., **Zavecz, Z.**, Pálosi, V., Török, C., & Köteles, F. (2014). The influence of sleep complaints on the association between chronotype and negative emotionality in young adults. *Chronobiology international*, 32(1), 1-10.
- Zavecz, Z.**, Török, C., Köteles, F., Pálosi, V., & Simor, P. (2014). The psychometric properties of the Hungarian version of the Morningness-Eveningness Questionnaire (MEQ-H): the separate factors of Morning Freshness and Circadian Rhythmicity. *Psychiatria Hungarica: Journal of the Hungarian Association of Psychiatry*, 30(3), 318-331.