

HOGYAN FEJLESZTHETŐ A KÉSZSÉGTANULÁS? A PREFRONTÁLIS
KÉREG ÉS AZ ALVÁS SZEREPE

Hogyan fejleszthető a készségtanulás? A prefrontális kéreg és az alvás szerepe

Tartalomjegyzék

Absztrakt	3
I. Bevezetés	4
II. A vizsgálat elméleti háttere, előzményei és célja	4
II/1 A készségtanulás pszichológiai háttere	4
II/2 A szekvenciatanulás agyi háttere	7
II/3 A szekvenciatanulás és az alvás kapcsolat	9
II/4 Nem invazív eljárások és szekvenciatanulás	10
III. Módszer	11
III/1 Résztevők	11
III/2 A kísérlet menete	13
III/3 Alternáló Szeriális Reakcióidő Feladat	14
III/4 Transzkraniális Egyenáram Stimuláció	16
III/5 Az etika a jelen kutatásban, standard protokoll eljárás	17
IV. Eredmények	19
IV/1 Adatok előkészítése	19
IV/2 Adatok elemzése	19
IV/2.1 A gyakorlási szakasz csoportonkénti összehasonlítása	19
IV/2.2 Az első tanulási alkalom elemzése	20
IV/2.3 A konszolidációs adatok elemzése	21
V. Diskusszió	22
V/1. Tanulási hatás	22
V/2. Az alvás hatása	23
V/3. További felmerülő kérdéseink	23
V/4. Kitekintés	24
VI. Köszönetnyilvánítás	25
VII. Szakirodalom	26
VII. Mellékletek	29
1. Melléklet. Etikai engedély	29
2. Melléklet. Tájékoztató nyilatkozat	36
3. Melléklet. Egészségügyi szűrés	38

Absztrakt

Az emlékezeti és tanulási funkciók kiemelkedő fontosságúak az életünkben, mivel gyerekkortól egészen idősorig folyamatosan új információkat, készségeket sajátítunk el és használunk. A tanulási és emlékezeti folyamatok agyi hátterét tekintve a korábbi kutatások többek között a dorsolaterális prefrontális kéreg (DLPFC) szerepét emelték ki. Ezért kutatásunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk, hogy a DLPFC működésének megváltozása milyen hatással van a készségtanulásra. A DLPFC ingerelhetőségének növeléséhez anodális transzkraniális egyenáram-stimulációt (tDCS) használtunk, melynek paramétereit a tanulmányunkban részletezzük. A készségtanulás mérésére az alternáló szeriális reakcióidő (ASRT) feladatot használtuk. A korábbi tanulmányok jobb tanulási teljesítményről számoltak be hasonló stimulációt követően, azonban ez a jótékony hatás bizonyos esetekben csak rövidtávon érvényesült. Kutatásunkban ezért megismételtük az adatfelvételt 12 óra elteltével, mely a vizsgálati személyek felénél magában foglalt alvást (PM-AM csoport), a másik felénél pedig nem (AM-PM csoport). Így azt is meg tudtuk vizsgálni, hogy a tanulás utáni alvás segíti-e a stimuláció következtében esetlegesen jobb teljesítmény hosszútávú megtartását, stabilizációját. A kapott eredmények alapján elmondhatjuk, hogy az alvás és a jobb oldali DLPFC serkentése külön-külön nem javította a teljesítményt, de a kettő együtt igen. Tehát úgy tűnik, hogy az ilyen jellegű serkentés fokozta az alvás alatti konszolidációt, információ feldolgozást. Kutatásunk hozzájárulhat új pedagógiai, gyógypedagógiai módszerek kidolgozásához a tipikus és atipikus fejlődésű gyerekek tanulási képességeinek fejlesztésére.

Kulcsszavak: alvás, készségtanulás, ASRT, jobb oldali DLPFC serkentés, tDCS, szekvenciatanulás

I. Bevezetés

A készségtanulás olyan kérdés, amely már régóta foglalkoztatja a kutatókat. Mivel fontos részét képezi az életünknek, esszenciális, hogy jobban megismerjük működését, feltérképezzük azokat az agyi struktúrákat, amelyek felelősek a tanulási és emlékezeti mechanizmusokért. A készségtanulás ugyanis szerepet játszik nemcsak a motoros (pl.: sport), hanem a szociális és kognitív területen is (pl.: nyelvtanulás, kommunikáció). Ha sikerül elmélyedni a témában, az lehetőséget kínál arra, hogy további vizsgálatok elvégzésével olyan technikákat és módszereket dolgozzunk ki, amelyek segítenek abban, hogy a számunkra fontos készségeket gyorsabban és/vagy hatékonyabban sajátítsuk el.

Dolgozatunkban azt vizsgáljuk, hogy milyen hatással van az alvás és az elektromos stimuláció kölcsönhatása a szekvenciatanulásra, amely a készségtanulás háttérében álló egyik fontos folyamat. Szekvenciatanulás során mozdulatsorokat, egymás után következő elemekből álló viselkedéseket sajátítunk el anélkül, hogy ennek igazán tudatában lennénk. Megelőző tanulmányok foglalkoztak már az alvás konszolidációban betöltött szerepével, illetve a különböző noninvazív ingerlési módszerek (TMS, tCDS) hatékonyságával, de ezek kölcsönhatását eddig tudomásunk szerint egyetlen tanulmány sem vizsgálta.

Először áttekintjük azokat a pszichológiai folyamatokat, amelyek a készségtanulás háttérében állnak, majd rátérünk ezeknek az élettani, anatómiai háttérére, sorra vesszük azokat az agyi struktúrákat, melyek nélkülözhetetlenek a memóriafeladatokban, az emlékezésben. Ezután szeretnénk további elméleti keretet adni a vizsgálatunknak azáltal, hogy áttekintjük azokat a tanulmányokat, melyek a miénknek alapot szolgáltattak, megemlítjük a fontosabb kutatási eredményeket.

Később bemutatjuk saját vizsgálatunkat, az alkalmazott módszereket és megtárgyaljuk azokat a fontos eredményeket, amelyeket az elemzésünk során kaptunk, és amelyek nem csak jelen, de számos jövőbeni kutatás szempontjából is rendkívüli fontossággal bírnak. Tekintsük át először, hogy mi is pontosan az a készségtanulás, és melyek azok az emlékezeti folyamatok, amelyek kutatásunk központjában állnak.

II. A vizsgálat elméleti háttére, előzményei és célja

II/1. A készségtanulás pszichológiai háttére

A készségtanulás életünk szerves részét képezi, születésünktől fogva egészen időskorig rengeteg tudást sajátítunk el – némelyiket tudatosan, másokat észrevétlenül. A készségtanulást három nagyobb csoportba sorolhatjuk. Az egyik csoportba tartoznak a motoros készségek; amikor egy kisgyermek megtanul mászni, később jární, biciklizni, vagy éppen valamilyen táncípust sajátít el, az mind készségtanulás eredménye. Beszélhetünk még kognitív készségekről, mint például a nyelvtanulás. Amikor megtanulunk egy nyelvet, megismerkedünk rengeteg nyelvtani szabállyal, és a kezdeti nehézségek után, kellő gyakorlással már észre sem vesszük, hogy ezeket gyorsan és pontosan tudjuk alkalmazni anélkül, hogy gondolkodnunk kellene rajta, a folyamat szinte teljesen automatizálódik. A készségtanulás harmadik csoportjába a szociális készségek kerülnek, melyek elsajátítás a szocializáció során történik, leginkább megfigyelés alapján. Megtanuljuk, hogy milyen helyzetben hogyan kell reagálni, viselkedérepertoárunkból melyik a megfelelő, milyen szavakat használhatunk és milyen kifejezések a kerülendők. Társas interakció során, például egy párbeszéd alatt olyan automatikus folyamatok dolgoznak, melyeket észre sem veszünk. Ilyen például a két személy közötti távolság, a szemkontaktus gyakorisága és hossza, illetve erősen befolyásol a másik személy viselkedésének affektív vonatkozása is. Az, hogy a partner mozdulatai, mimikája, testbeszéde milyen érzéseket kelt bennünk hatással van a mi viselkedésünkre is – ha kellemetlen számunkra a helyzet, eltávolodunk, igyekszünk kilépni belőle, míg ellenkező esetben csökkentjük a távolságot, gyakoribbá válik a szemkontaktus, a fizikai érintkezés, a tetszést kifejező, pozitív reakciók, mint például a mosoly.

Amikor a fent említett készségek közül bármelyiket használjuk, azt implicit procedurális helyzetnek nevezzük. Implicit, hiszen nem tudjuk tudatosan felidézni, annyira automatikus a feladatvégzés, és procedurális, mert úgy dolgozunk, hogy közben nem figyelünk a cselekvés részleteire. Hétköznapi példával élve, amikor valaki vezetni tanul, rengeteg dologra kell odafigyelnie. Hogyan kell pontosan nyomni a pedálokat, hogy elinduljon az autó, mikor kell sebességet váltani, indexelni, figyelni a többi autósra, a sebességhatár betartására, ám amint az illető kellő gyakorlatot szerzett, ezek a feladatok nem jelentenek többé nehézséget. Annyira automatikussá válik a folyamat, hogy vezetés közben könnyedén képes a mellette ülővel beszélgetni, betenni valami zenét, válaszolni egy szöveges üzenetre. Ha azonban megzavarjuk, ha felhívjuk a figyelmét annak részleteire, amit csinál, sokkal nagyobb a valószínűsége, hogy valamiben hibázni fog, és gondot okoz olyan feladat végrehajtása, amely addig semmilyen nehézséget nem jelentett (Atkinson & Hilgard, 2005).

Az eddigi kutatások alapján vitatott, hogy az implicit és explicit memóriafolyamatok háttérben más háttérmechanizmusok játszanak-e szerepet (Schacter, 1987). Explicit tudásról beszélünk akkor, ha az egyén tudatosan idézi fel az elsajátított információkat, amely megfelel egy klasszikus vizsgahelyzetnek. A diák leül, megtanulja a feladott anyagot, majd tudatosan előhívja azt, amikor szükség van rá.

Ez a fajta felidézés a deklaratív memóriához tartozik. A deklaratív memóriának két alcsoportját különíthetjük el: az epizodikus és a szemantikus emlékezetet (Tulving, 1972). Az epizodikus emlékezet lehetővé teszi azt, hogy felidézzük a kontextust, amelyben a tanulás történt, meg tudjuk határozni a múltbéli cselekvés helyét és idejét. Előző példánknál maradva a felelő diák el tudja mondani, hogy két nappal ezelőtt délután leült a tankönyvvvel, és megtanulta, amit kellett. Azt is fel tudja idézni, hogy milyen idő volt, hogy jó kedvvel állt-e neki a tanulásnak, vagy éppen unottan, kelletlenül, azaz minden olyan saját magához kapcsolódó információt expliciten el tud mondani, amely valamilyen formában a tanulás eseményéhez köthető. A szemantikus emlékezethez tartoznak azok a tények, információk, amelyeket elsajátított, tehát az előhívandó tananyag a memória ezen részéhez kapcsolódik, míg a tanulás körülményeit az epizodikus emlékezet tárolja. A deklaratív memóriával szemben találjuk a nondeklaratív memóriát, amelybe a fent említett implicit, procedurális tanulás tartozik. Nem igazán tudjuk felidézni a körülményeket, amelyek során elsajátítottuk az adott tudást, hiszen a készségtanulás inkább folyamat jellegű, apránként épül fel, nem úgy, mint valamilyen lexikális ismeret.

A készségtanulás mérésének egyik legjobban bevett módja a szakirodalomban a szekvenciatanulási paradigmák használata. Erre a legalkalmasabb feladatok a Szeriális Reakcióidő Feladat (SRT) és az Alternáló Szeriális Reakcióidő Feladat (ASRT) (ld. Módszerek részt), mivel ezek reakcióidőből engednek következtetni arra, hogy az adott vizsgálati személy esetén történt-e tanulás vagy sem. Az ASRT feladat annyiban különbözik az SRT-től, hogy az előre meghatározott, tehát mintázat ingerek random ingerekkel keverednek, a feladat tehát probabilisztikus, bizonyos ingerek megjelenési helye biztosan bejósolható (Howard és Howard, 1997).

Az implicit tanulási és nondeklaratív memóriafolyamatok agyi háttérével már igen sok tanulmány foglalkozott. Leginkább az olyan struktúrák szerepét emelik ki, mint az agyalapi magok (bazális ganglionok), a cerebellum, illetve a hipotalamusz. A frontális és a temporális lebeny fontossága is vitathatatlan. A hippokampusz emlékezetben betöltött szerepét illetően a kutatók még nem jutottak konszenzusra. Egyesek úgy vélik, hogy az epizodikus emlékek

hosszan tárolódnak a hippocampusban, míg mások szerint a reprezentációk csak rövid időt töltenek ezen a területen, a konszolidációt követően a neocortexbe kerülnek (Deisseroth, 2004).

II/2. A szekvenciatanulás agyi háttere

A szekvenciatanulás agyi hátterének vizsgálata messzire nyúlik vissza. Schacter és Tulving szerint (1994, idézi Howard és Howard, 1997) az explicit és az implicit tanulásért, illetve a kapcsolódó memóriefolyamatokért más-más idegrendszeri mechanizmusok felelősek. Reber és munkatársai azt állították, hogy az implicit tanulásért felelős struktúrák mind fejlődési, mind evolúciós szempontból ősbbe, alapvetőbbek, mint a deklaratív memóriefolyamatok hátterében álló képletek („in press”, idézte Howard és Howard, 1997). Mivel Howard és Howard meghatározó vizsgálatukban (1997) a szekvenciatanulást az életkorral összefüggésben vizsgálták, eredményeik a mi vizsgálatunk szempontjából irrelevánsak, így részletesebben nem foglalkozunk velük.

Már fentebb kitértünk több olyan agyterületre, amelyek fontos szerepet játszanak a tanulási – és memóriefolyamatokban (cerebellum, bazális ganglionok, stb.), de a dorzolaterális prefrontális cortex (továbbiakban DLPFC) jelentőségével csak később kezdtek el foglalkozni a szakma nagyjai. Galea vizsgálatában (2010) a résztvevőkkel SRT feladatot végeztetett nyolc órás eltérésekkel. Arra volt kíváncsi, hogy ha a szekvenciatanulás után a vizsgálati személyek rövid ideig cTBS (Continuous Theta-Burst Stimulation) stimulációt kapnak, annak milyen hatása lesz a konszolidációra. Galea a stimulációt vagy a DLPFC jobb agyféltekei részére, vagy a bal agyféltekei részére fókuszálta, a kontrollcsoport pedig az okcipitális lebenyen kapta az ingerlést. Azt figyelte meg, hogy a nyolc órával későbbi adatfelvételen a stimulált csoportok teljesítménye szignifikánsan nőtt a kontrollcsoporténál, ezen belül is a jobb DLPFC-n ingerelték mutattak jobb eredményeket. További érdekessége a vizsgálatnak, hogy negatív korrelációt találtak a teljesítmény javulása (melyet a probabilisztikus ingerekre mutatott csökkent reakcióidő mutatott) és a szekvencia explicit felidézése között. Azt, hogy a cTBS pontosan milyen változást idéz elő a DLPFC neuronjain, nem lehetett az eredményekből megállapítani. Mivel a vizsgálati személyek nem aludtak a két adatfelvétel között, az eredmények egészen biztosan nem az alvás tanulásra gyakorolt hatásának köszönhetők.

Kantak további agyterületek szerepét emelte ki friss publikációjában (2012), melyben az elektromos ingerlés szekvenciatanulásra gyakorolt hatását vizsgálta. A transzkaraniális egyenáram stimuláció (tDCS), melyet vizsgálatunkban mi is alkalmaztunk kiválóan megfelel

arra, hogy a tanulmányozni kívánt agyterületeken található neuronok aktivitását befolyásolja. Kantak az elsődleges motoros kéreg és a dorzálispremotoros kéreg szerepét igyekezett feltárni azáltal, hogy ezt a két területet stimulálta, miközben a vizsgálati személyek SRT feladatot végeztek (2012). Az elsődleges motoros kéreg szerepe inkább az implicit, míg a premotoros kéreg az explicit tanulás során válik kiemelkedően fontossá. Ahhoz, hogy az eredmények teljesen érthetőek legyenek meg kell említenünk, hogy a szekvenciatanulás során két szakaszt különítünk el. Amikor a vizsgálati személy először találkozik a feladattal, és gyakorlás közben sajátítja el a rejtett szekvenciát, azt online szakasznak nevezzük, míg a két adatfelvétel között eltelt idő az offline szakasz, melynek során a konszolidáció fellép, a tanult információk rendszereződnek, megerősödnek (Németh, 2010). Kantak azt találta, hogy az elsődleges motoros kéreg stimulálása szignifikánsan jobb eredményre vezetett a gyakorlás alatt és az offline szakaszban is jelentősebb megerősödést tapasztalt a kontrollcsoportéhoz képest, akik csupán sham stimulációt kaptak (nevezhetjük őket placebo csoportnak is). Ezzel szemben az online szakasz alatti dorzálispremotoros kérgi ingerlés rontotta az offline szakaszban tapasztalható megerősödést, stabilizációt mind az elsődleges motoros kéreggel, mind a kontrollcsoporttal összehasonlítva (2012).

A készségtanulásban tehát nagyon sok agyterület tölt be nélkülözhetetlen szerepet. Amint fentebb láthattuk, a legfontosabb kérgi és kéreg alatti struktúrák az elsődleges motoros kéreg, a dorzolaterális prefrontális kéreg, a cerebellum, a bazálisganglionok és a hippokampusz. Elfogadott nézet a memóriefolyamatokkal kapcsolatban, hogy a bazális ganglionok vagy törzsdúcok leginkább akkor jutnak szerephez, amikor egy mozgás már automatizálódott (pl. Schacter et al., 2011) tehát nem az akaratlagos mozgások tervezéséért felelős piramispálya irányítása alatt áll (a piramispálya a primer motoros cortextből [Brodmann 4-es área] kiinduló pályarendszer, mely a premotoros és a szenzoros kéregből is kap rostokat, és együtt felelősek az aprólékos, tanult, részleteiben tudatosítható mozgások kivitelezéséért).

Németh és munkatársai (2010) a szekvenciatanulásnak egy gyakorlatiasabb aspektusát vizsgálták, amikor autista gyerekekkel végeztették el az ASRT feladatot. Ez a rendellenesség gyakran nyilvánul meg az explicit tanulási nehézségekben, figyelem-és alvászavarokban. A kutatás azonban azt mutatta, hogy az intelligenciával erősen összefüggő explicit tanulási képességek csökkenése mellett az implicit tanulás egyáltalán nem szenvedett sérülést a vizsgálati személyeknél. Az ASRT feladatban elrejtett szekvenciát ugyanolyan eredményekkel sikerült visszaadniuk, mint a kontrollcsoportként használt életkorukban,

illetve intelligenciájukban hozzájuk igazított gyerekeknek, és az általános reakcióidejük sem volt hosszabb, mint a többieké. Kijelenthetjük, hogy semmilyen deficit nem volt kimutatható a konszolidációban. A két adatfelvétel között tizenhat óra telt el, így nem csupán azt vehetjük észre, hogy a megtanult sorozat hosszabb idő elteltével is felidézhető, hanem az alvás konszolidációban betöltött szerepének fontosságát is kétségbe vonhatjuk.

II/3. A szekvenciatanulás és az alvás kapcsolata

Természetesen olyan elemzéseket is találunk, melyeknek fókuszában az alvás tanulásra gyakorolt hatása áll. Több vizsgálat is azt támasztotta alá, hogy az alvásnak van teljesítményjavító hatása. Ezekben a kutatásokban leggyakrabban finger-tapping feladatokat használtak, melynek során a résztvevőknek egy adott sorozatot kellett eldobolniuk. Amennyiben a két feladat közötti offline szakaszban történik alvás, a vizsgálati személyek gyorsabbá és pontosabbá válnak, tehát egyértelműen kimutatható az alváshatás (pl. Fisher et al., 2002., Walker et al., 2002.). Ezekben a feladatokban azonban nagyon erősen jelen van az explicit tanulás is, hiszen a változatlanul ismétlődő sorozatot könnyű elsajátítani. Ezért Song és munkatársai (2007) ASRT feladatban vizsgálták az alvás hatását. A klasszikus SRT feladatnak ebben a változatában az előre meghatározott szekvencia szerint megjelenő ingerek véletlenszerűen megjelenő ingerekkel keverednek, így a szabályszerűség expliciten nem fedezhető fel. Másik nagy előnye, hogy egyszerre mérhető vele az általános tanulás és a készségtanulás, melyek eredményei könnyedén elkülöníthetők. Az adatelemzés során két lényeges felfedezés emelkedett ki: egyrészt az általános reakcióidő csökkent abban a csoportban, melynek tagjai nem aludtak az adatfelvételek között, viszont az alvós csoportokban nem sikerült alváshatást kimutatni sem az általános, sem a szekvenciatanulásban.

Ez a vizsgálat adott alapot Németh és munkatársai (2010) kutatásának, amelyben fiatal és idős vizsgálati személyekkel végezték el az ASRT feladatot. A kísérlet független változója az volt, hogy a két adatfelvétel között, melyek 12 órára estek egymástól történt-e alvás, azaz reggel és este regisztrálták az adatokat, vagy este és másnap reggel. Bár mindegyik csoportban megfigyelhető volt a teljesítmény javulása a feladat másodszori elvégzése során (tehát történt konszolidáció), az alvós és nem alvós csoportok eredményeiben nem mutatkozott szignifikáns különbség, tehát nem mondható el, hogy az alvás jelentős teljesítmény javuláshoz vezetett.

Ezzel szemben Peigneux és munkatársai (2003) azt találták, hogy a probabilisztikus ingereket tartalmazó feladat végzése közben aktív agyterületek aktivitása megnő a gyakorlást

követő alvás REM (rapid eye movement – gyors szemmozgás) szakaszában. Ha a feladatban nem megjósolható, random ingerekkel találkoztak a résztvevők, akkor ez az aktivitás nem volt jellemző a feladatvégzés utáni alvás során. Ebből arra következtettek, hogy az ébrenlét alatt szerzett tapasztalatok az alvás során tovább rendszereződnek és raktározódnak, megerősödnek. Eredményeiket pozitron emissziós tomográfia mérésekkel támasztották alá.

Az ehhez hasonló képalkotó eljárások nagy segítséget nyújtanak a kutatóknak az egyes agyterületek és ezek funkcióinak vizsgálatában, tekintsük most át, hogy a vizsgálatunk típusát tekintve mely eljárások azok, amelyek a segítségünkre lehetnek.

II/4. Nem invazív eljárások és a szekvenciatanulás

Napjaink képalkotó eljárásai (mint például az előbb említett PET vizsgálat, de ide tartozik az MRI, fMRI, EEG, stb.) nagyban hozzájárulnak ahhoz, hogy jobban megismerhessük mind az agy morfológiáját, szerkezetét, behatóbb képet kaphassunk egyes területek funkciójáról, feladatvégzés közben mutatott aktivitásáról.

Természetesen egyetlen terület aktivitásából még nem következtethetünk arra, hogy az adott struktúra szerepe nélkülözhetetlen, vagy hogy egyedül felelős azért a funkcióért, amelyet vizsgálunk. Ahhoz, hogy többet tudjunk meg a kérdéses entitás szerepéről, valamilyen léziós technikát kell alkalmaznunk, melynek segítségével reverzibilisen beleavatkozhatunk egyes agyi folyamatokba, időlegesen megszüntethetünk egyes kapcsolatokat. (Antal, 2003)

Az egyik kézenfekvő módszer a transzkraniális mágneses stimuláció (TMS), amelynek alapja tulajdonképpen a Faraday-törvény. A fej közelében egy rézgyűrűben erős (1 Tesla feletti) mágneses teret hozunk létre, melynek változásai a koponyacsont alatt a szövetekben áramot indukálnak. Az ingerlés általában egy másodpercig tart. Ezzel a technikával befolyásolhatók a kérgi folyamatok, több vizsgálat is született, melyek az okcipitális lebenyen a látókéreg ingerlésével foglalkoztak, és sokan számoltak be arról, hogy az ingerlés hatására a látótérben fényfelvillanások jelentek meg (főleg a látótér alsó felében, amelyből arra következtethetünk, hogy nem a primer látókéreg (V1) ingerlésének hatására keletkeznek), vagy bonyolultabb formák, foszfének jelenlétéről tettek említést. A motoros kéreg ingerlésére is találunk példát, ebben az esetben a kis kézizmok mozgása is jelzi, hogy megtörtént az aktiváció (Kantak, 2012).

Mágneses ingerlés segítségével előidézhethetünk serkentést és gátlást is attól függően, hogy az érintett terület neuronjain depolarizációt vagy hiperpolarizációt hozunk létre.

Amennyiben ismételt ingerlést alkalmazunk (repetitív TMS, rTMS), azzal befolyásolhatóvá válik a szinaptikus interakciók hatékonysága, és hosszú távú depresszió (LTD) vagy hosszú távú potenciáció (LTP) váltható ki, melynek szerepe a hosszú távú memóriefolyamatokban ismert. A hatás attól függ, hogy magas vagy alacsony frekvenciát használtunk az rTMS során: magas frekvencián váltható ki az LTP, alacsony frekvencián az LTD. LTP-t leggyakrabban a hippokampuszban, a prefrontális kéregben, a talamuszban és a motoros – illetve látókéregben figyelhetünk meg.

A TMS ingerlés mellett végzett feladatok többféle eredménnyel is szolgálnak. Elsőként Amassian és munkatársai (1989), majd több más kutató is (Walsh és Cowey 1998, Cowey és Walsh 2001) leírta, hogy különböző perceptuális és kognitív feladatban teljesítményromlás idézhető elő mágneses hatásra.

Már említettük Galea 2010-es vizsgálatát, amelyben azt feltételezte, hogy ha a szekvenciatanulás után a DLPFC-n TMS ingerlést alkalmaz, az rontani fogja a deklaratív memóriát, azaz az explicit tanulást, miközben elősegíti a procedurális tanulást és az offline konszolidációt. Hipotézise, mint tudjuk, beigazolódott, a jobb DLPFC-n ingerelt vizsgálati személyek, miközben nem voltak képesek tudatosan felidézni a szekvenciát, szignifikánsan jobb teljesítményt nyújtottak a szeriális reakcióidő-feladatban, mint a bal DLPFC-n ingerelt résztvevők, vagy az okcipitális lebenyen stimulált kontrollcsoport.

A mi vizsgálatunk szempontjából azonban sokkal fontosabb egy másik noninvazív eljárás, a transzkraniális egyenáram stimuláció (tDCS), melyről részletesebben a Módszerek fejezetben fogunk beszélni, és amely több szekvenciatanulással kapcsolatos kutatásnak is fontos eleme volt (pl. Kantank 2012).

Láthatjuk tehát, hogy az eredmények sokszínűek és gyakran ellentmondásosak egymással, de a legtöbb kutatás mégis azt a nézetet támasztja alá, hogy a szekvenciatanulásban az alvásnak nincsen annyira jelentős szerepe, mint más tanulási – és memóriefolyamatokban. Bár olyan tanulmányokat is bemutattunk, amelyek egyes agyterületek stimulálásának hatásával kapcsolatosak, nem tudunk róla, hogy született volna olyan munka, amely a stimuláció és az alvás kölcsönhatását vizsgálta a készségtanulásban. Ezt a hiányt igyekeztünk pótolni. Kérdéseink a következők: van-e az alvásnak szignifikáns hatása a szekvenciatanulásra? Van-e a tDCS stimulációnak szignifikáns hatása a szekvenciatanulásra? Kölcsönhatásba lép-e egymással az alvás és a tDCS ingerlés, és ha igen, milyen hatással vannak az implicit szekvenciatanulásra?

III. Módszer

III/1. Résztevők

A vizsgálatban 40 személy vett részt. A résztvevők 18 és 39 év közöttiek voltak ($M = 21,7$ $SD = 3,611$), 19 férfi és 21 nő. Az iskolázottság 13 és 23 év között ($M = 14,89$ $SD = 2,3$) volt. A vizsgálati személyek jórészt egy kurzushoz kapcsolódóan érkeztek, de a toborzásban segített az Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Karának (ELTE PPK) Hallgatói Önkormányzata, az ELTE PPK Animátori Kör és az ELTE PPK Delegált Kör is. A kiválasztás során ügyeltünk a legszigorúbb egészségügyi elvek betartására, a nemzetközi gyakorlatban elterjedt protokollal összhangban (Nitsce et al. 2003., Poreisz et al. 2007). A vizsgálati személyek kiválasztása során elvégeztünk egy előzetes egészségügyi szűrést. Ennek keretében megkérdeztük, hogy szednek-e bármilyen központi idegrendszerre ható gyógyszert, fogyasztanak-e rendszeresen alkoholt vagy egyéb tudatmódosító szereket, illetve volt-e korábban fejsérülésük (pl. agyrázkódás, koponyatörés), diagnosztizáltak-e előzőleg epilepsziát, cukorbetegséget vagy magas vérnyomást. (lásd 3. *melléklet*).

Azok a személyek kerültek kizárára, akik a szűrés bármelyik kérdésére igennel válaszoltak. A kiválasztott vizsgálati személyeket négy csoportba osztottuk be a vizsgálat céljainak megfelelően. Az első csoport (10 személy) valódi stimulációt kapott 10 percen keresztül, és a két adatfelvétel között eltelt 12 órában aludtak (stimulált-alvós), míg a második csoport (10 személy) ebben az időtartamban végig ébren volt (stimulált-nem alvós). A kontrollcsoportokat ugyanígy osztottuk kettő felé: 11 személy sham stimulációt kapott (mindössze fél percig), és aludtak a második vizsgálatot megelőző 12 órában (placebo-alvós), további 9 személynél pedig nem történt alvás a két adatfelvétel között (placebo-nem alvós) (lásd 1. ábra). Minden vizsgálati személy teljes körű tájékoztatást kapott, kérdéseiket bármikor feltehették és aláírtak mind egy tájékoztató, mind pedig egy informált beleegyező nyilatkozatot. A kutatást az ELTE Kutatásetikai Bizottsága engedélyezte.

Stimuláció (10 perc) – anodális tDCS a jobb DLPFC-n

tanulás → 12 óra - alvás → tesztelés

tanulás → 12 óra – nincs alvás → tesztelés

Placebo (sham stimuláció, fél perc)

tanulás → 12 óra - alvás → tesztelés

tanulás → 12 óra – nincs alvás → tesztelés

1. ábra - a kísérleti elrendezés

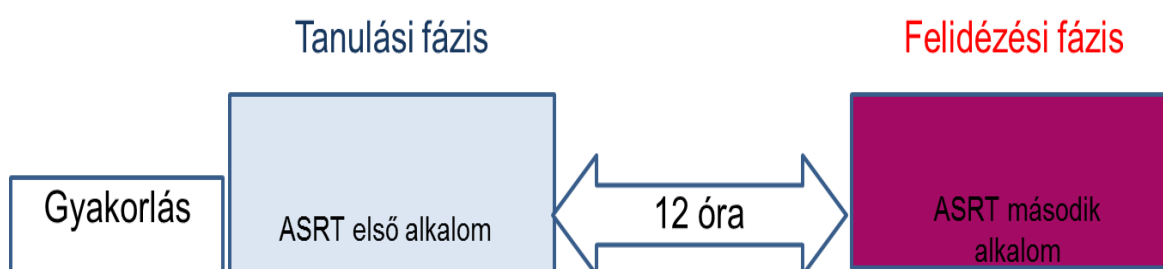
III/2. A kísérlet menete

Az egészségügyi szűrést követően megtörtént az első adatfelvétel a csoporttól függően reggeli vagy az esti órákban. A stimulált alvós és a stimulált nem alvós csoportok ekkor kaptak a jobb DLPFC-n 10 percen keresztül ingerlést, amely a 30 perces ASRT feladat első 10 percében történt, a placebo alvós és placebo nem alvós csoportok pedig fél percig tartó sham stimulációt kaptak a tDCS stimulációs eszközzel (lásd 2. ábra). Ez az első adatfelvétel felel meg az online, tanulási szakasznak, amikor a vizsgálati személyek gyakorlás közben elsajátítják a rejtett szekvenciát.

Először egy 2 perces gyakorló rész következett, ahol az ingerek random sorrendben követték egymást. Ennek a résznek két célja volt: egyrészt hogy a vizsgálati személyek begyakorolják a feladatot (pl. melyik válaszgomb melyik ingerhez tartozik), másrészt hogy felmérjük a vizsgálati személyek általános gyorsaságát, mert e tekintetben fontosnak tartottuk a csoportok kiegyenlítését. Amennyiben a csoportok között nincs különbség a gyakorló résznél, úgy minden további eltérés a csoportok között a stimuláció, az alvási csoport illetve a kettő faktor interakciójának tudható be.

A gyakorlást követően az ASRT feladat 25 blokkból álló változata következett (kb. 30 perc). A résztvevők 1-1,5 percenként kaptak a teljesítményükről százalékos visszajelzést, illetve valamilyen szöveges értékelést, melyben a feladat teljesítményüktől függően arra kérte őket, hogy legyenek gyorsabbak, vagy pontosabbak. Ideálisnak a 92%-os pontosság feletti eredményt tekintettük

A második adatfelvétel során, melyre 12 órával később került sor (ld. 2. ábra) a résztvevők az ASRT feladat 5 blokkos változatát végezték el (kb. 5-10 perc). Hatféle különböző szekvenciával dolgoztunk, de minden vizsgálati személy ugyanazt a szabályt kapta az első és a második adatfelvétel során is.



2. ábra: Vizsgálat szakaszai

III/3. Alternáló Szeriális Reakcióidő Feladat (ASRT)

Az ASRT feladat (Howard & Howard, 1997) egy módosított változatát használtuk a reakcióidő mérésére. A kísérleti személy négy üres kört látott maga előtt a képernyőn, melyek mindegyikéhez tartozott egy-egy gomb a billentyűzeten (Y, C, B, M). A résztvevőknek a körökben megjelenő ingerek (esetünkben kutyafejek) megjelenésére kellett minél gyorsabban és pontosabban reagálni a körhöz tartozó billentyű lenyomásával. Az Y és a C billentyűket a bal, míg a B és az M billentyűket a jobb kezükkel irányították (lásd 3. ábra).

Az ASRT során a szekvencia véletlenszerű ingerekkel keveredik, azaz minden második inger megjelenési helye kiszámíthatatlan (pl. 1R2R3R4R, ahol a számok az előre meghatározott helyű ingert jelzik, míg az R a random ingereket). Ez is nehezíti, hogy a kísérleti személyek expliciten felismerjék a rejtett szabályszerűséget. A feladatban tehát egy probabilisztikus szekvenciát használtunk (pl. Remillard, 2008).

A reakcióidő feladat során a kutyafejek 500 ms-ig voltak láthatóak, és 120 ms múlva jelent meg a következő inger. Az ingerek blokkokban jelennek meg, egy blokkban 85 leütés

van, melyből az első 5 random inger, csak a bemelegítés a célja, majd egy nyolc elemű szekvencia (pl. 1R2R3R4R) ismétlődik tízszer.

3. ábra - ASRT feladat; a felvillanó ingerek és a hozzájuk tartozó billentyűk



III/4. Transzkraniális egyenáram-stimuláció (tDCS)

A transzkraniális egyenáram stimuláció nem invazív eljárás, és azt ahogy Antal Andrea összefoglaló munkája (2003) is írja már több évtizede használják állatkísérleteknél és humán vizsgálatoknál egyaránt. Amint azt előadásában (Antal, 2012) ismertette, ezt az eljárást Németországban kezelések kiegészítéseként használják például migrénes fejfájásban szenvedőknél.

A tDCS stimuláció egy EldithDC-stimulatorral történt, melyet a Göttingeni Orvosi Egyetem Klinikai Neurofiziológia Tanszékétől kaptunk meg. Az eszköz megfelelő használatára külön képzést kaptunk Dr. Janacsek Karolinától. Az eszköz két részből áll, egy anodális serkentő elektródból és egy katodális gátló elektródból. Az elektródok a megfelelő agyterület fölé helyezve célirányosan serkentik, illetve gátolják az adott agyterület idegi aktivitását azáltal, hogy a sejtaktivitást megváltoztatják, az anodális rész alatti agyterületnél hiperpolarizáció, a katodális résznél hipopolarizáció lép fel (Antal, 2003; Galea et al., 2009; Antal, 2012.). Így az anodális rész alatti területeken, mivel csökkent az ingerküszöb szintje, az ingerületképződés és vezetés is könnyebben megy végbe, mint a nem serkentett területeken, nő a sejtaktivizáció. A katodális rész alatti területen pedig csökken az excitabilitás. Ez az elektród a referencia elektród, az eszköz működési elve miatt elengedhetetlen, hogy felhelyezzük, hogy a megfelelő hatást kiválthassuk (Zaghi, 2009; Antal, 2012).

Az anodális rész a korábbi szakirodalomra támaszkodva a jobb oldali DLPFC a 10-20-as EEG rendszer szerinti F4-es pontra helyeztük, mert ezen az oldalon való serkentés hatásosabb és eredményesebb (Galea et al., 2009). A referencia elektródot a fejtetőre a Cz pontra helyeztük. Az elektródák nedves, fiziológiás szivacsba voltak téve, hogy csökkenjen az impedancia mértéke, ahogy azt Nitsce és munkatársai (2003) is javasolják a biztonsági leírásukban. Így voltak felhelyezve a megadott agykérgi területek fölé, gumiszíjjal rögzítve (lásd 3. és 4. ábra).



3. ábra. A tDCS elektródák helyzete (Bal oldali képen látható a tDCS elektródák helyzete egy vizsgálati személyen, így néz ki az eszköz, miután felraktuk. Sárga szivacsban van az anodális-, kéken a katodális (referencia) elektróda. Jobb oldali illusztráció mutatja, hogy mely agyterületek felett helyezkednek el az elektródák, az agyterületek nevét felírtuk az ábrára- Pirossal az anodális elektródát, késsel a katodális (referencia) elektródát ábrázoltuk. .

Az agykérgi sejt működés változáshoz szükséges minimális 1 mA áramerősséget használtunk a biztonsági leírások alapján (Nitsce et al., 2003; Gandiga et al., 2006; Poreisz et al., 2007). A stimuláció időtartama attól függött, hogy ki melyik csoportba került. A *valódi stimuláció* csoportban lévők 10 percig kaptak stimulációt, ez 1,5 órás hatást válthatott ki (Antal, 2012). A *placebo* csoportban lévők csak 0,5 perces stimulációt kaptak, aminek nem lehetett hatása (Zaghi, 2009; Antal, 2012), viszont a placebo-hatást ki tudtuk szűrni és a csoportban résztvevők sem tudták megállapítani, hogy melyik csoportba kerültek.

Mivel vannak mellékhatások, mint minden hasonló eszköznél és eljárásnál, ezért a következő részben külön tárgyaljuk és részletezzük az etikai és biztonsági eljárásokat.

III/5. Az etika a jelen kutatásban, standard protokoll eljárás

Mivel a tDCS annak ellenére, hogy nem invazív stimuláló módszer, de mivel az enyhe elektromos ingerlés és ezáltal való serkentés illetve gátlás is sokak számára szokatlan, ezért

úgy gondoltuk, érdemes kitérni külön részben a kutatásunk ezirányú etikai vonatkozásaira és a standard protokoll eljárásra. Ezért szeretnénk hangsúlyozni, hogy a korábbi biztonsági leírásokat (Nitsche et al., 2003; Gandiga et al., 2006; Poreisz et al., 2007) valamint a Pszichológusok Szakmai Etikai Kódexének szellemében, azaz a „primum nil nocere” (Pszichológusok Szakmai Etikai Kódexe, 2004, 4.old.) elvét teljes mértékben szem előtt tartva dolgoztunk.

A vizsgálatot megelőzte egy előzetes egészségügyi szűrés, ami azt a célt szolgálta, hogy a tDCS vizsgálatok során fellépő igen kisszámú mellékhatást is elkerüljük, mint az enyhe, múló fejfájást; stimuláció utáni álmoságérzetet esetlegesen az igen ritkán tapasztalt, stimuláció közbeni fényjelenségek a látótér szélén, amik a stimuláció után elmúltak. A 3. mellékletben is látható, hogy igen szigorúak a kritériumok, ezt bizonyítja az is, hogy a közel 70 felvett előzetes szűrés során, csak alig több mint 50 embernek mondhattuk azt, hogy részt vehet a vizsgálat további részében. Természetesen a kísérleti személyek megfelelő tájékoztatás után vettek részt a vizsgálatban (lásd 2. melléklet, ez a SzEKIII. A SzEK általános szabályainak (*Kutatásetika alapelvek*) című 6. rész 3. pontjának (SzEK, 2004. 7.old.) teljes mértékű követése).

Az enyhe elektromos stimuláció által keltett kellemetlen érzést enyhítendő alapul véve Nitsche és munkatársai (2003) biztonsági kritérium leírását a stimuláció során használt 1 mA áramerősséget 30 s alatt, fokozatosan, emelkedve értük el, illetve 30 s alatt, fokozatosan csökkentve állítottuk le. Mint fentebb is írtam az elektródákat fiziológias sóoldatba áztatott, nedves szivacsba bújtatva helyeztük fel a kísérleti személyekre, (ahogy az a 3. ábrán is látható) ezzel tovább csökkentve az esetlegesen fellépő kellemetlen, bizsergető érzés intenzitását.

Végül még megemlíteném, hogy magasan és maradéktalanul eleget téve a SzEKSzakszerűség követelményei (*szakmai kompetencia*) című 3. részének 8. pontjának (SzEK, 2004. 5.old.) folyamatos, telefonos kapcsolatban voltunk a vizsgálatok ideje alatt Dr. Balázs Judit szakorvossal.

IV. EREDMÉNYEK

IV/1. Adatok előkészítése

Az ASRT feladatban az előre meghatározott szekvencia és a random elemek keveredése miatt (pl. 1 R 2 R 3 R 4 R) a legkisebb tanulható egységek a tripletek, melyek három ingerből

tevődnek össze. Ez a három inger lehet két szekvencia és egy random (pl. 2 R 3) vagy két random és egy szekvencia (pl. R 4 R). Azokat a tripleteket, amelyekben két szekvencia is megjelent magas gyakoriságú tripletnek nevezzük, míg a két random ingert tartalmazó tripletek általában alacsony gyakoriságúak, de az esetek egynegyed részében előfordulhat, hogy a két random elemet tartalmazó triplet is magas gyakoriságú lesz (pl. 1 2 2 előjöhet úgy is, hogy a gép teljesen véletlenül ilyen formában sorsolta ki a random ingereket). Az elemzés során minden egyes leütésről eldöntjük, hogy alacsony gyakoriságú vagy magas gyakoriságú triplet utolsó eleme volt-e (ez az előző két leütéstől függ). Azért így elemezzük az adatokat, mert a probabilisztikus szekvenciának köszönhetően az ingerek bejósolják egymást, tehát tudjuk, hogy az 1-es után kettővel biztosan a 2-es következik (közöttük pedig egy random inger jelenik meg), és ugyanígy a 3-as is bejósolja a kettővel utána következő 4-es ingerhelyet.

Előzetes kutatások azt mutatják, hogy az implicit tanulás következtében az alacsony gyakoriságú triplettekre adott reakcióidő és a magas triplettekre adott reakcióidő különbsége egyre nő (Csábi et al., 2012; Németh et al., 2010b), az általános, triplet-típustól független reakcióidő pedig csökken, amely lehetővé teszi, hogy az általános motoros készségtanulásról szerezzünk információkat.

Hogy megkönnyítsük az adatok elemzését az ASRT blokkokat egy-egy epochba szerveztük úgy, hogy minden epoch 5 blokkot tartalmaz, vagyis 1-5. blokk kerül az első epochba, 6-10. blokk kerül a második epochba, és így tovább. Mivel a pontossági mutatók nagyon magasak voltak, ezért a reakcióidő adatokra fókuszáltunk az elemzés során. A reakcióidőhöz kiszámítottuk a helyes válaszok mediánját külön a magas és külön az alacsony gyakoriságú triplettekre minden kísérleti személynél minden epochban.

IV/2. Adatok elemzése

IV/2.1. A gyakorlási szakasz csoportonkénti összehasonlítása

Annak érdekében, hogy az ASRT tanulási szakaszát megelőzően ellenőrizzük a csoportok közötti esetleges általános reakcióidőbeli különbségeket, a gyakorló szakasz (lásd 2. ábra), reakcióidejét varianciaanalízissel elemeztük, ahol a független változóink a STIMULÁCIÓ (valódi vs. placebo) és az ALVÁS (alvós vs. nem alvós) voltak. Az elemzés során nem találtunk szignifikáns különbséget egyik faktor esetében sem (STIMULÁCIÓ

főhatás: $F(1, 36) = 0,024$, $\eta^2_p = 0,001$, $p = 0,877$; ALVÁS főhatás: $F(1, 36) = 0,567$, $\eta^2_p = 0,016$, $p = 0,456$; STIMULÁCIÓ x ALVÁS interakció: $F(1, 36) = 0,089$, $\eta^2_p = 0,002$, $p = 0,767$), tehát a csoportok hasonló reakcióidővel válaszoltak a gyakorló szakaszban így feltételezhetjük, hogy minden további különbség a független változóink, mint a tDCS stimuláció és/vagy az alvás hatásának tudható be.

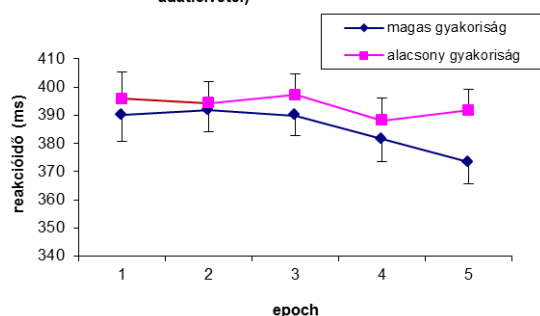
IV/2.2. Az első tanulási alkalom elemzése

Az ASRT első alkalommal (lásd 4. ábra) rögzített adatainak elemzéséhez kevert mintás varianciaanalízist használtunk a TRIPLET (magas vs. alacsony gyakoriság) és az EPOCH (1-5) összetartozó mintás faktorok, valamint a STIMULÁCIÓ (valódi vs. placebo) és az ALVÁS (alvós vs. nem alvós) független mintás faktorok bevonásával.

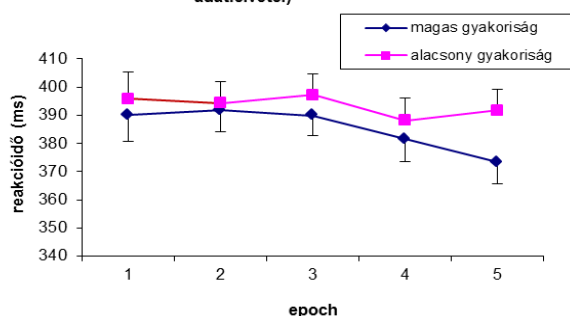
Az ANOVA szignifikáns szekvencia-specifikus tanulást mutatott (TRIPLET főhatás: $F(1, 36) = 86,30$, $\eta^2_p = 0,75$, $p < 0,001$), vagyis a vizsgálati személyek gyorsabban válaszoltak a magas gyakoriságú tripletekre az alacsony gyakoriságúakhoz képest. Ez a különbség egyre nagyobb lett a gyakorlás előrehaladtával (szignifikáns TRIPLET x EPOCH interakció: $F(4, 144) = 155,68$, $\eta^2_p = 0,109$, $p = 0,002$). A stimuláció nem befolyásolta ezt a szekvencia-specifikus tanulást (TRIPLET x STIMULÁCIÓ: $F(1, 36) = 0,075$, $\eta^2_p = 0,002$, $p = 0,785$), akárcsak az sem, hogy a vizsgálati személyeknél este vagy reggel került sor az első tanulási adatfelvételre (TRIPLET x ALVÁS: $F(1, 36) = 1,145$, $\eta^2_p = 0,031$, $p = 0,292$). Továbbá a TRIPLET x STIMULÁCIÓ x ALVÁS interakció sem lett szignifikáns ($F(1, 36) = 0,936$, $\eta^2_p = 0,025$, $p = 0,340$).

Az EPOCH főhatás is szignifikáns lett ($F(4, 144) = 9,207$, $\eta^2_p = 0,204$, $p < 0,001$), vagyis minél többet gyakoroltak a vizsgálati személyek, annál gyorsabbak lettek. A stimuláció nem befolyásolta ezt az általános motoros készségtanulást (EPOCH x STIMULÁCIÓ: $F(4, 144) = 1,027$, $\eta^2_p = 0,028$, $p = 0,395$), akárcsak az sem, hogy a vizsgálati személyeknél este vagy reggel került sor az első tanulási adatfelvételre (EPOCH x ALVÁS: $F(4, 144) = 0,037$, $\eta^2_p = 0,001$, $p = 0,997$). Továbbá az EPOCH x STIMULÁCIÓ x ALVÁS interakció sem lett szignifikáns ($F(4, 144) = 0,648$, $\eta^2_p = 0,018$, $p = 0,629$).

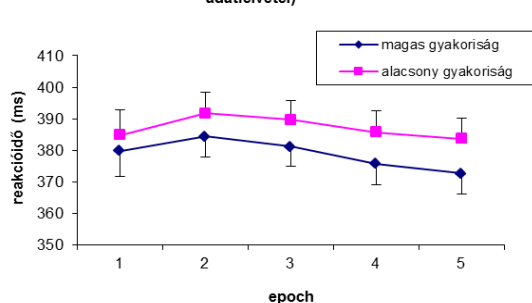
Tanulási görbe a nem alvós- placebo csoportnál (1. adatfelvétel)



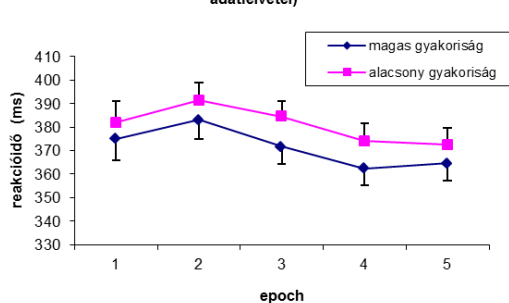
Tanulási görbe a nem alvós-valódi stimulált csoportnál (1. adatfelvétel)



Tanulási görbe az alvós-placebo csoportnál (1. adatfelvétel)



Tanulási görbe az alvós-valódi stimulált csoportnál (1. adatfelvétel)



4. ábra: Implicit tanulási hatás ábrázolva: (Az ábrán a négy csoport szerinti tanulási görbe látható, amik balról jobbra és fentről lefelé haladva a következők: *nem alvós placebo*-, *nem alvós valódi stimulált*-, *alvós placebo*- és *alvós valódi stimulált* csoport. A kék szín a magas gyakoriságú tripletek reakcióideje, a rózsaszín az alacsony gyakoriságú tripleteké. Az ábrázolt szóródási mutató az átlag standard hiba)

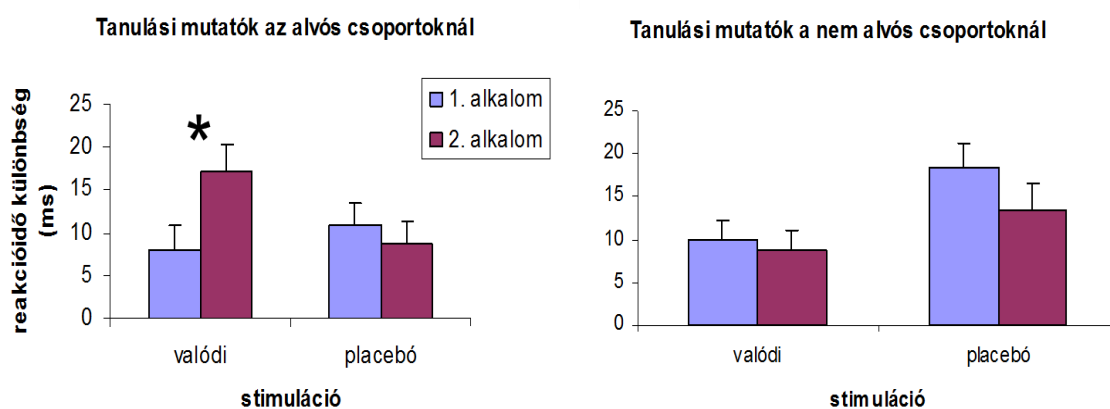
IV/2.3. A konszolidációs adatok elemzése

A 12 órás késleltetés tanulásra kifejtett hatásának elemzése érdekében ismét kevert mintás varianciaanalízist használtunk a TRIplet (magas vs. alacsony gyakoriság) és az EPOCH (első adatfelvétel utolsó epochja vs. második adatfelvétel első epochja) összetartozó mintás faktorok, valamint a STIMULÁCIÓ (valódi vs. placebo) és az ALVÁS (alvós vs. nem alvós) független mintás faktorok bevonásával.

Az ANOVA összességében szignifikáns szekvencia-specifikus tanulást mutatott (TRIplet főhatás: $F(1, 36) = 111,025$, $\eta^2_p = 0,755$, $p < 0,001$), vagyis a vizsgálati személyek gyorsabban válaszoltak a magas gyakoriságú tripletekre az alacsony gyakoriságúakhoz képest. Ez a különbség összességében nem változott a két adatfelvétel között (nem szignifikáns TRIplet x EPOCH interakció: $F(1, 36) = 0,012$, $\eta^2_p < 0,001$, $p = 0,912$). Azonban ha figyelembe vesszük a stimuláció meglétét/hiányát illetve hogy a vizsgálati személyek aludtak-e a két adatfelvétel között, akkor mindkét faktor befolyásolja a szekvencia-specifikus tanulás offline változását (TRIplet x EPOCH x STIMULÁCIÓ: $F(1, 36) = 6,30$, $\eta^2_p = 0,149$,

$p = 0,017$; TRIPLET x EPOCH x ALVÁS: $F(1, 36) = 4,841$, $\eta^2_p = 0,119$, $p = 0,034$). Habár a négyes interakció, ami a két faktor kölcsönhatását mutatná, nem lett szignifikáns (TRIPLET x EPOCH x STIMULÁCIÓ x ALVÁS: $F(1, 36) = 1,691$, $\eta^2_p = 0,045$, $p = 0,202$), az elvégzett páronkénti összehasonlítások azt mutatják, hogy egyedül annál a csoportnál következett be a szekvencia-specifikus tudásban teljesítményjavulás a két adatfelvétel között ($p = 0,006$), akik az első alkalommal valódi stimulációt kaptak, majd alvást követően került sor a második adatfelvételre (lásd 5. ábra). A többi csoport esetében nem történt változás a szekvencia-specifikus tudásban a két adatfelvétel között (minden $p > 0,144$).

Az EPOCH főhatás is szignifikáns lett ($F(1, 36) = 117,931$, $\eta^2_p = 0,766$, $p < 0,001$), vagyis a második adatfelvétel kezdetén összességében gyorsabban válaszoltak a vizsgálati személyek, mint ahogy az első adatfelvétel végén abbahagyták. A stimuláció nem befolyásolta ezt az offline általános motoros készségtanulást (EPOCH x STIMULÁCIÓ: $F(1, 36) = 1,740$, $\eta^2_p = 0,146$, $p = 0,196$), akárcsak az sem, hogy a vizsgálati személyeknél este vagy reggel került sor az első tanulási adatfelvételre (EPOCH x ALVÁS: $F(1, 36) = 2,724$, $\eta^2_p = 0,070$, $p = 0,108$). Továbbá az EPOCH x STIMULÁCIÓ x ALVÁS interakció sem lett szignifikáns ($F(1, 36) = 0,017$, $\eta^2_p < 0,001$, $p = 0,897$).



5.. ábra: A konszolidációs eredmények ábrázolása. Az ábrán a szekvencia-specifikus tanulás mértéke látható. A tanulási mutatót úgy kaptuk, hogy az alacsony gyakoriságú TRIPLETEkből kivontuk a magas gyakoriságúakat. Minél nagyobb a kettő közti különbség, annál nagyobb mértékű a tanulási teljesítmény. Ezt a tanulási mutatót hasonlítottuk össze Csoportonként és alkalmanként. (Tanulási fázis és Tesztelési fázis). Mint az eredmények is mutatják a Tanulási fázisban nem volt szignifikáns különbség, azonban a Tesztelési fázisnál a Tanulási fázishoz képest szignifikáns javulás történt az alvós, valódi stimulációs csoportban ($p = 0,006$). A szóródási mutató az átlag standard hibája.

V. DISZKUSSZIÓ

Kísérletünkben arra voltunk kíváncsiak, hogy az alvásnak, a jobb dorsolaterális prefrontális kéreg stimulációjának és ezek együttes alkalmazásának van-e hatása a készségtanulásra, azaz ezek a független változók segíteni vagy rontani fogják az implicit szekvenciatanulás mértékét. Ezért, ahogy azt már kifejtettük, négy csoportot vizsgáltunk meg: stimulált alvós, stimulált nem alvós, placebo alvós és placebo nem alvós csoportokat. Erre a csoportfelosztásra azért volt szükség, hogy a korábbi szakirodalommal való összehasonlítás érdekében vizsgálni tudjuk az alvás és a stimuláció hatását külön-külön és interakcióban is, illetve hogy ki tudjuk szűrni az esetleges placebo-jelenséget.

Nem győzzük hangsúlyozni, hogy vizsgálatunkban a nondeklaratív memóriával foglalkoztunk, amelynek mechanizmusai merőben eltérnek a deklaratív, explicit memória működésétől. A vizsgálat alatt elvégzett feladatban a résztvevők procedurális tanulást hajtottak végre, azaz úgy sajátították el az ASRT-ben elrejtett frekvenciát, hogy nem csak nem tudták azt pontosan felidézni, de más módon sem voltak tudatában annak, hogy bármit is megtanultak volna. Ez azért fontos, mert az ingersorrend elsajátítása egy motoros készség, melynek működése megegyezik az élet más területein tanult és használt motoros készségekkel, mint például a már említett sporttevékenységek. Az eredmények további jelentősége az, hogy ha a készségtanulás ilyen feladatszinten fejleszthető, serkenthető az elektromos ingerlés és az alvás hatására, akkor további, kiterjedtebb kutatások magukban rejtik annak lehetőségét, hogy módot találjunk a készségek magasabb szintű, hétköznapi fontos tevékenységekben megnyilvánuló fejlesztésére.

V/1. Tanulási hatás

Amint azt az eredmények is mutatják, az ASRT feladat során implicit tanulás ment végbe minden csoportnál, ahogy az a korábbi szakirodalommal (pl.: Feeney, Howard Jr, & Howard, 2002; Fletcher et al., 2005; Howard & Howard, 2001; Howard et al., 2004; Nemeth et al., 2010, 2012) összevetve ennél a feladatnál várható volt, és ahogy azt a 4. ábra is jól mutatja. Tehát beszélhetünk tanulási hatásról, aminek mértékét a tanulási együttható (alacsony gyakoriságú triplet *mínusz* magas gyakoriságú triplet) jól kifejezi. Ennek mértéke az első adatfelvételkor, azaz a tanulási fázisban nem különbözik csoportonként. Az idő előre haladtával azonban a korábbi kutatásokhoz hasonlóan (Feeney, Howard Jr, & Howard, 2002; Fletcher et al., 2005; Howard & Howard, 2001; Howard et al., 2004; Nemeth et al., 2010, 2012), nő a teljesítmény, egyre nagyobb lesz a tanulási mutató. A késleltetés hatásának

vizsgálatakor, ahol az első, tanulási fázis utolsó epochjának eredményeit vetettük össze a második, tesztelési fázis első epochjának eredményével, azt kaptuk, hogy a teljesítmény a tesztelési fázisban jobb volt minden csoportnál, azonban a javulás mértéke csak az alvós, valódi stimulált csoport esetében volt szignifikáns. Tehát ebben a csoportban konszolidáció alatt mérhető szekvencia-specifikus tanulás ment végbe az offline periódusban. Így elmondhatjuk, hogy bár a tDCS alkalmazása a DLPFC jobb oldali részén önmagában nem javította a tanulás hatékonyságát, az alvással kiegészítve azonban igen. Ezt az eredményt összevetve Galea, Albert, Ditye, & Miall, (2010) eredményeivel elmondhatjuk, hogy a TMS serkentéshez hasonló eredményt kaptunk, azzal a különbséggel, hogy nálunk a teljesítmény növelésében a serkentésen kívül az alvás hatásának is jelen kellett lennie.

V/2. Az alvás hatása

Az, hogy az alvásnak önmagában nem volt hatása a szekvencia-tanulásra egybevág a korábbi szakirodalom egy részével (Nemeth et al., 2012, 2012), és ellentmond azoknak a munkáknak, amelyek kimutattak ilyen hatást (Fischer et al., 2006). Ezek azonban SRT feladatot használnak, és ahogy azt a bevezetésnél is ismertettük, ezeknél a feladatoknál valószínűsíthető, hogy a tanulás nem implicit, hanem explicit módon megy végbe. Azonban az, hogy a jobb oldali DLPFC serkentése és az alvás együttesen így hat a szekvencia-specifikus tanulásra, teljesen új eredmény.

V/3. További felmerülő kérdéseink

Ezek alapján számos további kérdés merül fel. A TMS stimuláció (Galea et al., 2010) ugyan hatékonyabb a jobb DLPFC esetében, de mint tudjuk a tDCS más elvek alapján működik (Antal, 2003) és hatása sem olyan mértékű, ahogy azt az eredményeink is bizonyítják, ezért szeretnénk további kutatásokban a bal oldali DLPFC-t stimulálni és ennek hatékonyságát vizsgálni. Nem tudhatjuk, hogy ha gátoljuk ezeket a területeket, az milyen mértékben javítja, vagy rontja a teljesítményt a szekvencia-specifikus tanulás esetében, arról pedig végképp nincsenek adataink, hogy ezek az alvással kiegészítve milyen hatást váltanak ki. Ezen felül érdekes lehet vizsgálni, hogy atipikus fejlődésű embereknél, mint az autista spektrumzavarosok esetében is kimutatható-e javulás implicit szekvencia-specifikus tanulásnál ezzel a módszerrel. Mint ismeretes, ők jobban teljesítenek az ilyen típusú feladatokban, mint a tipikus fejlődésűek (Nemeth et al., 2010), így lehetséges, hogy ezt a hatást fokozni tudjuk. Elképzelhető azonban az is, hogy ezzel a módszerrel csak a normál fejlődésű embereket teljesítményét tudjuk egy magasabb szintre emelni. A vizsgált

agyterületek aktivitásfokozásának illetve gátlásának nem csak az implicit tanulás szekvencia-specifikus részének teljesítményre való hatását lehetne vizsgálni, hanem más aspektusaival is foglalkozni, sőt, az explicit tanulással való kapcsolatának feltárása is hasznos eredményekre vezetne. Ezen felül a tDCS stimuláció és az alvás végrehajtó funkciókra gyakorolt hatása is izgalmas részét képezhetné a további kutatásoknak, mivel a végrehajtó funkciók működése is köthető a prefrontális kéreghez (Miyake et al., 2000; Zelazo & Müller, 2002). A végrehajtó funkciók, egy esernyő fogalom, ami a kognitív döntéshozatalban szerepet játszó folyamatokat fedi le (Jo et al., 2009; Miyake et al., 2000; Ohn et al., 2008; Zelazo & Müller, 2002). Ilyen például a probléma megoldása és annak szintjei, a viselkedés tervezése, - gátlása, - frissítése, - monitorozása, stb. Tudjuk, hogy a tDCS használata javítja ezen funkciók működését (Ohn et al., 2008) a serkentéstől vagy gátlástól függetlenül (Jo et al., 2009), ezért, ha sikerülne ezzel a módszerrel tovább fejleszteni a végrehajtó funkciók hatékonyságát, talán képesek leszünk gyorsabban és eredményesebben megoldani új és ismeretlen helyzeteket.

V/4. Kitekintés és összefoglalás

Mindent összefoglalva látható, hogy ez a kutatás csak egy állomása annak a folyamatnak, mely folyamat végén egy olyan új pedagógiai és/vagy gyógypedagógia módszert kaphatunk, amivel célzottan lehet fejleszteni a készségtanulást mind a tipikus, mind pedig az atipikus fejlődésű személyek esetében. Illetve ez, és az ehhez hasonló kutatások eredményeképp olyan mnemotechnikát kaphatunk készhez, amit mindenki hatékonyan és megfelelően tudna alkalmazni. Hiszen gondoljunk csak bele, mennyi időt spórolhatnánk meg, ha egy ilyen eljárással gyorsabban és hatékonyabban tudnánk tanulni?

VI. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Dolgozatunk ezen részében szeretnénk külön köszönetet mondani Dr. Janacsek Karolinának és Dr. Németh Dezsőnek a kutatás vezetőinknek . Továbbá Dr. Krajcsi Attilának, az ELTE PPK HÖK-nek, az ELTE PPK Delegált Körnek és az ELTE PPK Animátori Körnek, hogy a kísérletben való részvétel meghirdetésével segítettek a kísérleti személyek toborzásában és külön köszönetet szeretnék mondani még a kísérletben résztvevőknek, nélkülük ez a munka nem jöhetett volna létre.

VII. Felhasznált szakirodalom

- Antal, A. (2003). Virtuális léziós technikák: Transzkraniális mágneses és egyenáram-ingerlés és néhány alkalmazásuk. In *Kognitív idegtudomány* (2003 ed, pp 218 – 256). Budapest: Osiris.
- Antal, A. (2012). *Nem-invazív agyi stimulációs eljárások: a kutatástól a terápiáig*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Pszichológia Intézeti Tudományos Előadások. 2012. őszi félév. Budapest: ELTE PPK. Power Point Prezentáció
- Atkinson, C. R., Hilgard, E. (2005). Tudat és tudatállapotok. In *Pszichológia*. (pp. 218-256). Budapest: Osiris Kiadó
- Buysee, D. J., Reynolds, C. F. 3rd, 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.
- Coffman, B. A., Trumbo, M. C., & Clark, V. P. (2012). Enhancement of object detection with transcranial direct current stimulation is associated with increased attention. *BMC neuroscience*, 13(1), 108.
- Feeney, J. J., Howard Jr, J. H., & Howard, D. V. (2002). Implicit learning of higher order sequences in middle age. *Psychology and Aging; Psychology and Aging*, 17(2), 351.
- Fischer, S., Drosopoulos, S., Tsen, J., & Born, J. (2006). Implicit learning—explicit knowing: a role for sleep in memory system interaction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(3), 311–319.
- Fletcher, P. C., Zafiris, O., Frith, C. D., Honey, R. A. E., Corlett, P. R., Zilles, K., & Fink, G. R. (2005). On the benefits of not trying: Brain activity and connectivity reflecting the interactions of explicit and implicit sequence learning. *Cerebral Cortex*, 15(7), 1002–1015.
- Galea, J. M., Albert, N. B., Ditye, T., & Miall, R. C. (2010). Disruption of the dorsolateral prefrontal cortex facilitates the consolidation of procedural skills. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(6), 1158–1164.
- Gandiga, P. C., Hummel, F. C., & Cohen, L. G. (2006). Transcranial DC stimulation (tDCS): a tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. *Clinical Neurophysiology*, 117(4), 845–850.
- Howard, D. V., & Howard, J. H. (2001). When it does hurt to try: Adult age differences in the effects of instructions on implicit pattern learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(4), 798–805.
- Howard, D. V., Howard Jr, J. H., 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.
- Jo, J. M., Kim, Y. H., Ko, M. H., Ohn, S. H., Joen, B., & Lee, K. H. (2009). Enhancing the working memory of stroke patients using tDCS. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 88(5), 404–409.
- Kantak, S. S., Mummidisetty, C. K., & Stinear, J. W. (2012). Primary motor and premotor cortex in implicit sequence learning—evidence for competition between implicit and explicit human motor memory systems. *European Journal of Neuroscience*.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49–100.
- Nemeth, D., Csábi, E., Janacsek, K., Várszegi, M., & Mari, Z. (2012). Intact implicit probabilistic sequence learning in obstructive sleep apnea. *Journal of Sleep Research*.

- Nemeth, D., Janacsek, K., Balogh, V., Londe, Z., Mingesz, R., Fazekas, M., ... Vetro, A. (2010). Learning in autism: implicitly superb. *PloS one*, 5(7), e11731.
- Nemeth, D., Janacsek, K., Londe, Z., Ullman, M. T., Howard, D. V., & Howard, 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.
- Nitsche, M. A., Nitsche, M. S., Klein, C. ., Tergau, F., Rothwell, J., & Paulus, W. (2003). Safety criteria for transcranial direct current stimulation (tDCS) in humans
- Ohn, S. H., Park, C. I., Yoo, W. K., Ko, M. H., Choi, K. P., Kim, G. M., ... Kim, Y. H. (2008). Time-dependent effect of transcranial direct current stimulation on the enhancement of working memory. *Neuroreport*, 19(1), 43–47.
- Peigneux, P., Laureys, S., Fuchs, S., Destrebecqz, A., Collette, F., Delbeuck, X., ... Degueldre, C. (2003). Learned material content and acquisition level modulate cerebral reactivation during posttraining rapid-eye-movements sleep. *Neuroimage*, 20(1), 125–134.
- Poreisz, C., Boros, K., Antal, A., & Paulus, W. (2007). Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients. *Brain research bulletin*, 72(4), 208–214.
- Reber, A. S., Allen, R., & Reber, P. J. (in press). Implicit and explicit learning. In R. Sternberg (Ed.), *The concept of cognition*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Reis, J., Robertson, E., Krakauer, J. W., Rothwell, J., Marshall, L., Gerloff, C., ... Celnik, P. A. (2008). Consensus:“Can tDCS and TMS enhance motor learning and memory formation?”. *Brain stimulation*, 1(4), 363.
- Roser, M. E., Fiser, J., Aslin, R. N., & Gazzaniga, M. S. (2011). Right hemisphere dominance in visual statistical learning. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(5), 1088–1099.
- Schacter, D. L. (1987). Implicit memory: History and current status. *Journal of experimental psychology: learning, memory, and cognition*, 13(3), 501.
- Schacter, D. L., & Tulving, E. (1994). What are the memory systems of 1994? In D.L. Schacter & E. Tulving (Eds.), *Memory systems 1994* (pp. 1-38). Cambridge, MA: MIT Press.
- Schacter, D. L., Gilbert, D. T., Wegner, D. M. (2011). *Explicit and implicit memory*. Psychology. New York: Worth 238.
- Song, S., Howard Jr, J. H., & Howard, D. V. (2007). Sleep does not benefit probabilistic motor sequence learning. *The Journal of Neuroscience*, 27(46), 12475–12483.
- Van Der Werf, Y. D., Altena, E., Schoonheim, M. M., Sanz-Arigita, E. J., Vis, J. C., De Rijke, W., & Van Someren, E. J. W. (2009). Sleep benefits subsequent hippocampal functioning. *Nature neuroscience*, 12(2), 122–123.
- Wild, C. (2012). *Contributions of the left and right hemisphere in language: investigating the effects of unilateral brain damage (stroke) on metaphor processing*. University of Leeds.
- Zaghi, S., Acar, M., Hultgren, B., Boggio, P. S., & Fregni, F. (2010). Noninvasive brain stimulation with low-intensity electrical currents: putative mechanisms of action for direct and alternating current stimulation. *The Neuroscientist*, 16(3), 285–307.

Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. In U. Goswami (2007 szerk), *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development*. Malden, MA USA: Blackwell Publishers Ltd. DOI: 10.1002/9780470996652.ch20

VII. MELLÉKLETEK

1. melléklet: Etikai engedély

Kérelem kutatásetikai engedélyhez

(A kérelmet kitöltés után kérjük kinyomtatni és a megfelelő aláírásokkal ellátni.)

A kutatás végzőjének (a kérelmező) neve:	Janacsek Karolina
tudományos fokozata (PhD, DSc stb.):	PhD (SZTE Általános Orvostudományi Kar, Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola)
beosztása:	egyetemi tanársegéd
Intézmény (egyetem, kar, tanszék):	ELTE PPK Klinikai Pszichológia és Addiktológia
A kutatás címe:	Az agyi plaszticitás modulációjának hatása az implicit tanulásra és konszolidációra
A kutatás fedezetét biztosító forrás (pályázat, vagy más):	-
A kutatás felügyelője: (ha a kérelmezőnek nincs tudományos fokozata, minden esetben meg kell nevezni)	Németh Dezső, PhD habil. egyetemi docens ELTE PPK Klinikai Pszichológia és Addiktológia
A kérelmező postacíme:	1064 Budapest, Izabella utca 46.
e-mail címe:	janacsekkarolina@gmail.com
A kérelem beadásának dátuma:	2012. október 21.
A kutatás kezdetének és befejezésének várható időpontja:	2012. november 5. - 2013. június 30.

A kutatás célja (min. 100, max. 200 szó):	Az implicit/nemtudatos tanulás rendkívül fontos a mindennapi életünkben gyerekkortól időskorig, ugyanis ez a tanulási mechanizmus áll számos mozgásos, nyelvi és társas készségünk hátterében (Janacsek&Nemeth, 2012). A korábbi kutatások a frontostriatális hálózat aktivitását tárták fel a tanulás során (Fletcher et al., 2005). Ebben a hálózatban a striatum (főleg a nucleuscaudatus) szerepéről viszonylag sokat tudunk: pl. ez a struktúra játszik szerepet a szabályszerűségek, szekvenciák felismerésében, azonban a frontális kéreg (főleg DLPFC) szerepe még tisztázatlan. Ezért a kutatás célja a prefrontális kéreg implicit tanulásban és konszolidációjában betöltött szerepének feltérképezése.
A vizsgált személyek életkora (a megfelelő aláhúzendó):	3 év alatt 3-14 év között 14-18 év között <u>18 éven felül</u>
A beleegyezés megtételének módját befolyásolja a személy életkora. Húzza alá, mely dokumentumokat csatolja:	Ha vizsgált személy <i>3 év alatti gyermekkorú</i>, a vizsgálat ismertetését a szülőknél írásos formában kell átadni, és ő adhatja aláírásával a beleegyezését a gyermek nevében. Csatolja az etikai kérelemhez a vizsgálat ismertetését dokumentumot és a beleegyezést kérő ívet. Ha vizsgált személy életkora <i>3-14 év közötti gyermekkorú</i>, a szülő ad írásbeli beleegyezést a fenti módon, a vizsgált gyermek pedig szóban. Csatolja a szülőknél szánt dokumentumot, a beleegyezést kérő ívet, és a gyermeknek szánt szóbeli vagy írásbeli információ tartalmát. Ha a vizsgált személy <i>14-18 év közötti fiatalkorú</i>, az írott információt mind neki, mind a szülőnek el kell juttatni, és a beleegyezést mindketten alá kell írják. Ha a gyermek neve nem kerül a kutatásban felvételre, a szülők passzív beleegyezése is elegendő (a beleegyezésük vélelmezhető, ha az írott információ ismeretében nem támasztanak kifogást gyermekük részvétele ellen). Csatolja a fentiekben megjelölt dokumentumokat (vizsgálat ismertetése, beleegyezés). <u>Ha a vizsgált személyek 18 éven felüliek, írott információt kell biztosítani számukra a vizsgálatról és annak céljáról, és a részvételbe aláírásukkal kell beleegyezzenek. Csatolja a megfelelő dokumentumokat.</u>

A vizsgált személyek kiválasztásának módja. (Milyen módon toborozza a vizsgált személyeket?) (Szükség esetén csatolja a megfelelő dokumentációt: hirdetés, intézmény-vezetőnek írandó levél stb.)	Hirdetés által egyetemi kurzusok keretében.
A vizsgálat helyszíne:	1064 Budapest, Izabella utca 46., 417 és 419-es labor
A vizsgálat rövid leírása (min. 400, max. 600 szó):	A kutatás során a kutatási és klinikai gyakorlatban már bevett transzkraniális egyenáram-stimuláció (tDCS) segítségével tervezzük befolyásolni a frontális lebeny működését: anodális ingerlés esetén nő az excitabilitás a stimulált területen, katodális ingerlés esetén pedig csökken. Egy korábbi kutatás lateralizált hatást mutatott ki, amikor inhibitoros hatású theta-burst stimulációt (TBS) alkalmazva a jobb és bal oldali DLPFC-n, az implicit tudás hosszútávú megtartása (konszolidációja) hatékonyabb volt a jobb oldali stimuláció esetén (Galea, Albert, Ditye, & Miall, 2010). Ezért a kutatásunkban jobb és bal oldali anodális illetve katodális PFC stimulációt tervezünk alkalmazni. Az implicit tanulást egy 30 perces szekvenciatanulási (ASRT) feladat segítségével tervezzük mérni, melynek első 10 percében kerülne sor a tDCS stimulációra. Ezután 12 órás késleltetés múlva a tesztelési szakasz során egy rövidebb, 10 perces ASRT feladat során vizsgálnánk meg a korábbi stimuláció hosszútávú hatását. Ez a 12 órás késleltetési időszak a csoport felénél tartalmazna alvást (PM-AM csoport), a másik felénél pedig nem (AM-PM csoport) annak érdekében, hogy az alvás hatását a frontostriatáliskonnektivitásra kontrollálni tudjuk. Elképzelhető ugyanis, hogy a tanulás során alkalmazott stimuláció eltérő hosszútávú hatással bír a megszerzett tudásra, annak függvényében, hogy a konszolidációs időszak tartalmazott-e alvást vagy nem. Továbbá fontos a csoportokat egyéb kognitív funkciók (rövidtávú memória, figyelem, munkamemória), illetve alvási szokások tekintetében kiegyenlíteni. Az erre használt tesztek mind standardizált eljárások, melyek a teszteknel alább felsorolásra kerültek.

Milyen berendezéseket, műszereket, eszközöket alkalmaz? Szükség esetén csatolja azok dokumentációját (ez nem szükséges, ha azok egy korábbi eljárásban már jóvá lettek hagyva).	A tDCS stimuláció egy EldithDC-stimulator segítségével fog történni, melyet a Göttingeni Orvosi Egyetem Klinikai Neurofiziológia Tanszékétől kollaboráció által kapunk meg. Az említett egyetem gyakorló klinikusai és kutatói, akik több éves tapasztalattal rendelkeznek ennek az eszköznek a használatában, kiképezték a kutatás végzőjét és vezetőjét az eszköz használatára és folyamatos szakmai kontrollt és segítséget biztosítanak. A kísérlet során a bevett protokollnak megfelelően egy enyhe, 1 mA erősségű, 10 percig tartó anodális vagy katodális egyenárammal stimuláljuk a jobb/bal prefrontális kérget (F3-4 a 10-20-as EEG rendszerben), mely közben a referenciaelektroda a Cz pozíción van. Az említett erősségű és időtartamú stimuláció már számos korábbi kutatásban alkalmazásra került, több tanulmány is igazolta biztonságosságát (lásd pl. Gandiga, Hummel, & Cohen, 2006; Poreisz, Boros, Antal, & Paulus, 2007). A vizsgálati személyek ezekben a kutatásokban a fejbőrön érzett enyhe bizsergésről számoltak csupán be a stimuláció kezdeténél, mely kb. fél-1 perc múlva megszűnt. Ritka esetben a vizsgálati személyek enyhe fejfájásról, fáradtságról számoltak be a vizsgálat után, azonban ezek a mellékhatások múlóak voltak, és megjelenésük minimalizálható egy precíz előszűrés segítségével. Ezért a tervezett stimuláció alkalmazásának előfeltételeként egy egészségügyi szűrést végzünk, melyet a kérelem végén csatoltunk. A felsorolt kérdések közül az első kettő fennállása esetén semmilyen körülmények között nem végezhető el a vizsgálat, a többi kérdés pedig a korábbi kutatásokban nem volt kizáró ok (lásd pl. a biztonsági tanulmányok), azonban a tervezett kutatás kérdése szempontjából fontosnak tartjuk, hogy minden neurológiai, pszichiátriai és egyéb idegrendszeret érintő eltérést kizárjunk. Az egészségügyi szűrést a vizsgálat vezetője végzi, a vizsgálati személy önbevallása alapján. Kérdéses esetben Dr. Balázs Judit szakorvossal (ELTE Pszichológiai Intézet, pszichiáter, egyetemi docens és tanszékvezető) konzultálunk, és minden esetben a vizsgálati személy érdekeit tartjuk szem előtt. A kutatásban a kontrollcsoport sham stimulációt fog kapni, ami annyit jelent, hogy 10 perces stimuláció helyett csupán fél percig tart az ingerlés. Erre a lehetséges placebo-hatások kiszűrése miatt van szükség. A kutatás céljának ismertetése során közöljük a vizsgálati személlyel, hogy véletlenszerűen soroljuk be őket a placebo illetve valódi stimuláció csoportba, amit az informált beleegyező nyilatkozat aláírásával elfogadnak (nyilatkozat tervezet csatolva a kérelem végén). Emellett a tanulási szakasz után (ami vagy tartalmaz valódi stimulációt vagy nem) rövid interjú segítségével feltérképezzük, hogy a vizsgálati személy hogyan észlelte/élte meg a stimulációt (lásd csatolmány a kérelem végén), ezáltal ki tudjuk szűrni a placebohatásokat is, illetve ellenőrizni tudjuk az esetleg felmerülő mellékhatásokat. 32 A vizsgálatban összesen 10 vizsgálati csoport kialakítását tervezzük (anodális/katodális x jobb/bal x alvás/nem alvás; valamint sham alvás/nem alvás), csoportonként 20 fővel (N=200 fő).
---	---

Milyen kérdőíveket, tesztek, interjútechnikákat stb. kíván alkalmazni? Amennyiben azok nem sztenderd és nem a bizottság által már jóváhagyott eljárások, csatoljon egy másolatot belőlük.	Az implicit tanulás mérésére az alternáló szeriális reakcióidő feladatot (ASRT) tervezzük használni (Howard & Howard, 1997; Nemeth et al., 2010). Emellett az általános kognitív funkciók mérésére a számterjedelem tesztet (Racsmány, Németh, Lukács, & Pléh, 2005), a számlálási terjedelem tesztet (Case, Kurland, & Goldberg, 1982), és az Attention Network Testet (Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002) fogjuk használni. Továbbá az alvási szokások felmérésére a Pittsburgh SleepQualityInventory (PSQI) szolgál majd (Buysee, Reynolds, Monk, Berman, & Kupfer, 1989). A fent felsorolt tesztek és kérdőívek mindegyike régóta használt eszköz a kognitív idegtudományi és kísérleti pszichológiai kutatásokban.
Ismertesse, milyen módon biztosítja a felvett adatok bizalmas, rövid és hosszú távú kezelését, archiválását, és azt, hogy azokból a vizsgált személy ne legyen azonosítható.	A kutatás során a vizsgálati személyek személyes adatait rögzítjük. Ezekhez az azonosításra is alkalmas adatokhoz csak az érintett kutatócsoport tagjai férhetnek hozzá, azokat nem szolgáltatjuk ki harmadik félnek. Az adatok legalább 5 évig megőrzésre kerülnek, a számítógépes fájlok a kutatócsoporthoz tartozó laboratórium jelszóval ellátott számítógépén, a papír alapú jegyzőkönyvek pedig szintén a laboratóriumban kerülnek tárolásra, zárható szekrényben. A vizsgálat során felvett, azonosítására nem alkalmas adatok más kutatók számára is hozzáférhetőek lehetnek, amennyiben ehhez a vizsgálati személy hozzájárul a beleegyező nyilatkozat aláírásával.

Az alábbi kérdések valamelyikére adott IGEN válasz nem zárja ki azt, hogy a vizsgálat megvalósítható.			Amennyiben bármelyik kérdésre IGEN-nel válaszolt, ismertesse, hogyan gondoskodik arról, hogy a vizsgált személyekben testi és lelki kár ne essék a vizsgálat folyamán.
Jár-e a vizsgálat kellemetlen ingerek bemutatásával?	<u>NEM</u>	IGEN	

Jár-e a vizsgálat kellemetlen helyzetek létrehozásával?	<u>NEM</u>	<u>IGEN</u>	A kísérlet során használni kívánt stimuláció már számos korábbi kutatásban alkalmazásra került, több tanulmány is igazolta biztonságosságát (pl. Gandiga, Hummel, & Cohen, 2006; Poreisz, Boros, Antal, & Paulus, 2007). A vizsgálati személyek ezekben a kutatásokban a fejbőrön érzett enyhe bizsergésről számoltak csupán be a stimuláció kezdeténél, mely kb. fél-1 perc múlva megszűnt. Ritka esetben a vizsgálati személyek enyhe fejfájásról, fáradtságról számoltak be a vizsgálat után, azonban ezek a mellékhatások múlóak voltak, és megjelenésük minimalizálható egy precíz előszűrés segítségével. Ezért a tervezett stimuláció alkalmazásának előfeltételeként egy egészségügyi szűrést tervezünk elvégezni, melyet a kérelem végén csatoltunk (illetve az eszközöknél részleteztünk).
Jár-e a vizsgálat fájdalommal?	<u>NEM</u>	IGEN	
Jár-e a vizsgálat víz, élelem, alvás stb. megvonásával?	<u>NEM</u>	IGEN	
Jár-e a vizsgálat gyógyszerek vagy pszichoaktív szerek alkalmazásával?	<u>NEM</u>	IGEN	
Jár-e a vizsgálat testi sérülés veszélyével?	<u>NEM</u>	IGEN	
Jár-e a vizsgálat mentális betegek vagy mentálisan veszélyeztetett egyének részvételével?	<u>NEM</u>	IGEN	
Jár-e a vizsgálat a vizsgált személyek tudatos félrevezetésével?	<u>NEM</u>	IGEN	
Jár-e a vizsgálat a kutatás természetére vagy céljára vonatkozó információk eltitkolásával?	<u>NEM</u>	IGEN	

Jár-e a vizsgálat olyan eljárással, amely akár szándéktalanul is szorongást vagy szenvedést okozhat (pl. mélyinterjú)?	<u>NEM</u>	IGEN	
--	------------	------	--

Van-e bármilyen további etikai vonatkozása a vizsgálatnak, amelyre a fenti kérdésekre adott válaszokban nem történt utalás? Ha igen, kérjük röviden ismertesse:	
---	--

Megítélésem szerint a tervezett kutatás összhangban van a pszichológiai kutatásetikai normákkal. Kérem annak engedélyezését.

Kelt: Budapest, 2012. október 21.

a kérelmező aláírása

A kérelmet olvastam, és a tervezett kutatás szerintem nem vet fel további etikai kérdéseket.

Kelt: Budapest, 2012. október 21.

a kutatás felügyelőjének aláírása

A kérelemben részletezett kutatási tervet a KEB megvizsgálta, és abban a következő hiányosságokat, ill. javításra szoruló részeket találta:

Iktatási szám:

Dátum: 20..... év hó..... nap

A bizottság elnökének

(vagy az eljáró bizottsági tagnak) az aláírása

A kérelemben részletezett kutatási tervet a KEB megvizsgálta, és azt jóváhagyta.

Iktatási szám:

Dátum: 20..... év hó..... nap

A bizottság elnökének

(vagy az eljáró bizottsági tagnak) az aláírása

2. melléklet. Tájékoztató nyilatkozat

Tájékoztató nyilatkozat

Tisztelt Hölgem/Uram!

Ön egy tudományos kutatásban vesz részt, amelynek vezetője Janacsek Karolina és Németh Dezső, az ELTE PPK Pszichológiai Intézet oktatói és kutatói. A vizsgálat lebonyolítását képzett pszichológusok és szakasszisztensek segítik.

A vizsgálat célja

A kutatás során azt vizsgáljuk, hogy a hosszú távú memóriát és figyelmet hogyan tudjuk fejleszteni. Ennek céljából enyhe elektromos ingerlést alkalmazunk a fej egy kis részén, ami az idegsejtek aktivitását tudja növelni. Ezt a módszert már több mint egy évtizede használják a pszichológiában és orvostudományban, többek között például terápiás eszközként depresszió kezelésére. Annak érdekében, hogy a módszer esetleges mellékhatásait minimalizáljuk, egy szűrés előzi meg a vizsgálatot, amikor a vizsgálatvezető ellenőrzi a részvételi alkalmasságot. Nagyon ritkán jelentkezhethet fáradtság esetleg enyhe fejfájás a stimuláció után, de ezek nem maradandóak.

Az eredmények megbízhatósága érdekében ún. placebocsoport bevonására is sor kerül. Ez azt jelenti, hogy random besorolás alapján néhány nem fog kapni stimulációt a feladat során. Amikor Ön vállalja a vizsgálatban való részvételt, nem tudhatja, hogy a valódi stimulációs vagy a placebo

csoportba fog kerülni. Részvétele azonban minden esetben nagymértékben hozzájárul a kutatás céljának megvalósításához!

A vizsgálat menete

A vizsgálat kétszer egy órát vesz igénybe. Az első alkalommal történik a stimuláció egy 30 perces reakcióidőt mérő feladat első harmadában. Ezt követően az alvási szokásokat vizsgáló kérdőív kitöltése következik. A második alkalom 12 órával később történik. Ekkor teszteljük, hogy mennyire tartós a teljesítményjavulás, amit a stimuláció során elértünk, majd néhány rövid emlékezeti és figyelmi feladat következik. Ezek a kiegészítő feladatok által pontosabban fel tudjuk térképezni, hogy az esetlegesen elért teljesítményjavulás milyen pszichológiai folyamatokkal függ össze.

A mérést pár percenként megszakítjuk, hogy az ne legyen fárasztó. Emellett az Ön kérésére azt bármikor véglegesen is befejezhetjük.

Feltételek

A részvétel előzetes feltétele, hogy egy előre egyeztetett időpontban a vizsgálatvezető által elvégzett, fizikai állapotra és betegségtörténetre vonatkozó szűrés megtörténjen.

Adatkezelés, részvétel

Szigorúan bizalmasan kezelünk minden olyan információt, amit a kutatás keretén belül gyűjtünk össze. A kutatás során nyert adatokat kóddal ellátva biztonságos számítógépen, a válaszlapokat elzárt szekrényben őrizzük. Az egyéni kódot minden kérdőív esetében a kutatásban résztvevő asszisztens adja, és csak ő ismeri. A kutatás során nyert adatokat összegezzük, statisztikai elemzéseket végzünk rajta, amelyekből egyetlen résztvevő azonossága sem állapítható meg.

A kutatásban való részvétel teljesen önkéntes. A vizsgálatot bármikor indoklás nélkül megszakíthatja, vagy a kérdések megválaszolását megtagadhatja. A vizsgálatban történt részvételért anyagi honorálás nem jár.

Eredmény: a vizsgálat eredményéről orvosi jellegű zárójelentés, laborlelet nem készül. A vizsgálat során találtakról természetesen a kívánságnak megfelelően szóbeli tájékoztatást adunk.

Kérjük, amennyiben egyetért a fenti feltételekkel, és hozzájárul a kutatásban való részvételhez, ezt aláírásával igazolja. Együttműködését előre is köszönjük!

A kutatásban való részvételem körülményeiről részletes tájékoztatást kaptam, a feltételekkel egyetértek, a részvételhez hozzájárulok.

Kelt: 20 év hó nap

a személy aláírása

3.melléklet: Egészségügyi szűrés

Egészségügyi szűrés:

1. Van-e pacemakere? I / N
2. Van-e fém implantátum a fejében vagy nyakában? (fogtömés nem számít) I / N
3. Volt-e korábban krónikus / van-e jelenleg neurológiai betegsége? I / N
4. Volt-e korábban stroke-ja vagy bármilyen agyi történése (pl. zárt koponyasérülés)? I / N
5. Volt-e korábban epilepsziával diagnosztizálva? I / N
6. Terhes-e vagy szoptat-e? I / N
7. Fogyaszt-e rendszeresen központi idegrendszerre ható gyógyszereket, drogokat vagy alkoholt? I / N
8. Áll-e jelenleg központi idegrendszerre ható gyógyszeres kezelés alatt? I / N

Ha igen, milyen gyógyszert szed: milyen adagolás szerint:

Milyen betegségre:

9. Volt-e korábban migrénje? I / N
10. Volt-e korábban bármilyen pszichiátriai betegsége? I / N
11. Diagnosztizáltak-e Önnél cukorbetegséget korábban? I / N
12. Diagnosztizáltak-e önnél érrendszeri zavart, pl. magas vérnyomás, szív megbetegedései? I/N

Van-e egyéb mondanivalója, korábbi betegségtörténet, amire nem vonatkozott kérdés, ugyanakkor amit fontosnak tart közölni, mert úgy gondolja, az befolyásolhatja a kutatást?

.....

Ha az egészségügyi szűrés mindegyik kérdésére NEM volt a válasz, akkor ismertetni kell a kutatás célját, időtartamát, kockázati tényezőit és aláíratni az informált beleegyezési nyilatkozatot!

4. Állapotváltozás a feladatok során kérdőív

ÁLLAPOTVÁLTOZÁS A FELADATOK SORÁN:

Pontozd 1-10-ig, hogy mennyire éreztél ébernek/frissnek magad a következő alkalmakkor:

1. ASRT feladat megkezdése ELŐTT:

1. ASRT feladat befejezése UTÁN:

2. ASRT feladat megkezdése ELŐTT:

2. ASRT feladat befejezése UTÁN:

Pontozd 1-10-ig, hogy mennyire éreztél fejfájásra utaló jeleket a következő alkalmakkor:

1. ASRT feladat megkezdése ELŐTT:

1. ASRT feladat befejezése UTÁN:

2. ASRT feladat megkezdése ELŐTT:

2. ASRT feladat befejezése UTÁN:

Éreztél-e bármilyen hatását a stimulációnak?

pl. bizsergés a fejbőrön (1-10-ig pontozva):

fénypontok a látótérben (1-10-ig pontozva):

egyéb (1-10-ig pontozva):

Pontozd 1-10-ig, mennyire vagy biztos benne, hogy a valódi stimulációs csoportba kerültél?

5. Informált beleegyező nyilatkozat

Informált beleegyező nyilatkozat
„A transzkraniális egyenáram-stimuláció hatása a kognitív funkciókra”
vizsgálatban való részvételhez

Alulírott..... (név nagybetűkkel), szül. (dátum, hely) hozzájárulok, hogy a fent nevezett, Janacsek Karolina (ELTE PPK Pszichológiai Intézet) által vezetett kutatásban 2012..... hó napján részt veszek.

Kijelentem, hogy a vizsgálat céljáról, jellegéről és kockázati tényezőiről kielégítő tájékoztatást kaptam. Volt lehetőségem kérdéseket feltenni a kutatással kapcsolatban; azokra választ kaptam, amiket megértettem és elfogadtam.

Kijelentem, hogy a betegségtörténetemmel kapcsolatban minden információt közöltem, és a válaszaim megfelelnek a valóságnak.

Tudatában vagyok, hogy bármikor lehetőségem van a vizsgálat megszakítására, és ennek semmilyen negatív következményei nem lehetnek rám nézve.

Megértettem azt is, hogy a kutatáshoz személyes adataimat rögzítik, tárolják, és elemzésekhez felhasználják. Ezekhez az adatokhoz csak az érintett kutatócsoport tagjai férhetnek hozzá, azokat nem szolgáltatják ki harmadik félnek, bizalmasan kezelik. Az adatok legalább 5 évig megőrzésre kerülnek.

Hozzájárulok továbbá ahhoz, hogy a vizsgálat során felvett, azonosítására nem alkalmas adatok más kutatók számára is hozzáférhetőek legyenek.

Tudomásul veszem, hogy a vizsgálati adatok kutatási és nem diagnosztikai célokat szolgálnak, ilyen jellegű szakvéleményre a vizsgálatok elvégzését követően igényt nem támasztok.

A vizsgálatokhoz való hozzájárulásomért anyagi ellenszolgáltatást sem én, sem hozzátartozóm nem kaptam.

Budapest, 2012.hó.....nap

.....

aláírás

Hivatkozások az etikai kérelemben

- Buysee, D. J., Reynolds, C. F. 3rd, 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.
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and growth of short-term memory span, *Journal of Experimental Child Psychology*, Vol 33(3), 386-404.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3), 340-347.
- Fletcher, P. C., Zafiris, O., Frith, C. D., Honey, R. A. E., Corlett, P. R., Zilles, K., et al. (2005). On the benefits of not trying: brain activity and connectivity reflecting the interaction of explicit and implicit sequence learning. *Cerebral Cortex*, 15(7), 1002-1015.
- Galea, J. M., Albert, N. B., Ditye, T., & Miall, R. C. (2010). Disruption of the dorsolateral prefrontal cortex facilitates the consolidation of procedural skills. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(6), 1158-1164.
- Gandiga, P. C., Hummel, F. C., & Cohen, L. G. (2006). Transcranial DC stimulation (tDCS): A tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. *Clinical Neurophysiology*, 117, 845-850.
- 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.
- Janacsek, K., & Nemeth, D. (2012). Predicting the future: From implicit learning to consolidation. *International Journal of Psychophysiology*, 83(2), 213-221. doi: 10.1016/j.bbr.2011.03.031
- Nemeth, D., Janacsek, K., Londe, Z., Ullman, M. T., Howard, D., & Howard, J. (2010). Sleep has a 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
- Poreisz, C., Boros, K., Antal, A., & Paulus, W. (2007). Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients. *Brain Research Bulletin*, 72, 208-214.