

**EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
PEDAGÓGIAI ÉS PSZICHOLÓGIAI KAR**

**Horváth Kata**

**A procedurális memória és a végrehajtó kontroll  
rendszer kölcsönhatása viselkedésadaptáció során**

**Tézisfüzet**

**DOI azonosító: 10.15476/ELTE.2022.265**

**Pszichológia Doktori Iskola**

**Iskolavezető: Prof. Dr. Urbán Róbert**

**Kognitív Pszichológia Program**

**Programvezető: Prof. Dr. Király Ildikó**

**Témavezetők:**

**Dr. Janacsek Karolina**

**Dr. Kóbor Andrea**

**Tanácsadó:**

**Prof. Dr. Németh Dezső**

**Budapest, 2022**

### A disszertációban felhasznált publikációk

- I. **Horváth, K.**, Kardos, Z., Takács, Á., Csépe, V., Nemeth, D., Janacsek, K., & Kóbor, A. (2021). Error processing during the online retrieval of probabilistic sequence knowledge. *Journal of Psychophysiology*, 35(2), 61-75. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000262>
- II. Kóbor, A., **Horváth, K.**, Kardos, Z., Nemeth, D., & Janacsek, K. (2020). Perceiving structure in unstructured stimuli: Implicitly acquired prior knowledge impacts the processing of unpredictable transitional probabilities. *Cognition*, 205, 104413. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104413>
- III. **Horváth, K.**, Török, C., Pesthy, O., Nemeth, D., & Janacsek, K. (2020). Divided attention does not affect the acquisition and consolidation of transitional probabilities. *Scientific reports*, 10(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79232-y>
- IV. **Horváth, K.**, Nemeth, D., & Janacsek, K. (2022). Inhibitory control hinders habit change. *Scientific Reports*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11971-6>
- V. **Horváth, K.**, Kardos, Z., Takács, Á., Nemeth, D., Janacsek, K., & Kóbor, A. Manipulation of inhibitory control does not influence procedural learning. *Under construction*.

### A disszertációban (közvetlenül) nem használt publikációk

Bastos, PM Amalia\*, **Horváth, K.\***, Webb, L. Jonathan, Wood, Patrick M., Taylor, Alex H. (2021). Self-care tooling innovation in a disabled kea (*Nestor Notabilis*). *Scientific Reports*, 11(1), 18035. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97086-w> \*Megosztott előszerzőség.

Takács, Á., Kóbor, A., Kardos, Z., Janacsek, K., **Horváth, K.**, Beste, C., Nemeth, D. (2021). Neurophysiological and functional neuroanatomical coding of statistical and deterministic rule information during sequence learning. *Human Brain Mapping*, 42(10), 3182-3201. <https://doi.org/10.1002/hbm.25427>

Kóbor, A., Kardos, Z., **Horváth, K.**, Janacsek, K., Takács, Á., Csépe, V., Nemeth, D. (2021). Implicit anticipation of probabilistic regularities: Larger CNV emerges for unpredictable events. *Neuropsychologia*, 107826. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.107826>

- Zavecz, Z., **Horváth, K.**, Solymosi, P., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2020). Frontal-midline theta frequency and probabilistic learning: A transcranial Alternating Current Stimulation study. *Behavioral Brain Research*, 112733. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112733>
- Kóbor, A., **Horváth, K.**, Kardos, Z., Takács, Á., Janacsek, K., Csépe, V., & Nemeth, D. (2019). Tracking the implicit acquisition of nonadjacent transitional probabilities by ERPs. *Memory & Cognition*, 1-21. <https://doi.org/10.3758/s13421-019-00949-x>
- Simor, P., Zavecz, Zs., **Horváth, K.**, Éltető, N., Török, Cs., Pesthy, O., Gombos, F., Janacsek, K., Nemeth, D. (2019). Deconstructing Procedural Memory: Deconstructing Procedural Memory: Different Learning Trajectories and Consolidation of Sequence and Statistical Learning. *Frontiers in Psychology*, 9, 2708. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02708>
- Kóbor, A., Takács, Á., Kardos, Zs., 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. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.04.001>

## I. Héttér és a disszertáció céljai

Az automatikus és a célvezérelt cselekvések egyaránt elengedhetetlenek ahhoz, hogy viselkedésünket hatékonyan igazíthassuk a környezetünkhöz és saját céljainkhoz. Az automatikus viselkedések, mint például a szokások és készségek, legalább részben a procedurális memóriarendszere támaszkodnak (Ashby & Crossley, 2012; Ullman, 2001). A procedurális memóriarendszerben az elsajátítás és az emlékezet kifejeződése implicit, véletlenszerű és automatikus (Foerde, 2018; Graybiel, 2008; Henke, 2010), valamint az elsajátított viselkedések robusztusok és ellenállóak a felejtéssel és az emlékezeti interferenciával szemben (Kóbor et al., 2017; Romano et al., 2010).

E disszertációban a procedurális memóriarendszert az Alternáló Szeriális Reakcióidő (*Alternating Serial Reaction Time*, ASRT) feladattal (Howard & Howard, 1997) vizsgáltam, amely egy négyválasztásos reakcióidő-feladat, amely egy ismétlődő szabályszerűséget tartalmaz, a résztvevők tudta nélkül. Az ismétlődő szabályszerűségben belül előre meghatározott szekvencia próbák váltakoznak véletlenszerűen kiválasztottakkal. Az ingerfolyam e váltakozó jellege miatt bizonyos események, vagyis egymást követő próbák sorozatai, nagyobb valószínűséggel jelennek meg, mivel ezek a szabályszerűség minden ismétlődésében előfordulnak (valószínű események). Azonban a valószínű események random módon is megjelenhetnek, még pedig két véletlenszerű próba és egy szekvencia próba hármából (valószínű, de random események). A feladatban vannak olyan események is, amelyek kisebb valószínűséggel jelennek meg, mivel csakis random módon alakulhatnak ki (valószínűtlen események). A valószínű események a gyakorlás során elsajátíthatók és így bejósolhatók, míg a valószínűtlen események bejósolhatatlanok maradnak. A különböző eseményekkel kapcsolatos teljesítmény szembeállításával, valamint a megfelelő kísérleti manipulációk alkalmazásával az ASRT feladatban a procedurális memóriarendszer számos különböző aspektusa mérhető, mint például a szekvenciatanulás, a statisztikai tanulás vagy a szokástanulás.

A célvezérelt viselkedések különböző kognitív folyamatok komplex és összehangoltan működő együttesére támaszkodnak (Friedman & Robbins, 2022). Disszertációmban a kognitív folyamatok ezen együttesére végrehajtó kontrollrendszerként hivatkozom, és Bari és Robbins (2013) keretrendszere alapján konceptualizálom ezeket. E keretrendszerben a figyelmet és a gátlást központi komponensként azonosítják, míg a teljesítménymonitorozás folyamatosan

támogatja e folyamatokat. Ha a teljesítmény nem optimális, akkor a váltás, a szelekció és az frissítés segédfolyamatai aktiválódnak.

A viselkedésadaptáció során a procedurális memóriának és a végrehajtó kontroll rendszernek gyakran egyszerre kell működésbe lépnie. A kölcsönhatásuk pontos neurokognitív háttere azonban még mindig nem tisztázott. Egyes tanulmányok kooperatív/támogató kölcsönhatásra utalnak (Coomans et al., 2011; Deroost et al., 2012), mások bizonyítékot találtak a versengésre/interferenciára (Borragán et al., 2016; Poldrack & Packard, 2003), míg megint mások független kapcsolatot azonosítottak (Jiménez et al., 2020) a két rendszer között

Jelen disszertáció célja, hogy ezen öt tanulmányból álló sorozatban feltárja a szakirodalom néhány kérdéses pontját. Ennek érdekében azt tűztem ki célul, hogy szisztematikusan megvizsgálom a procedurális memória és a végrehajtó kontroll rendszer közötti kölcsönhatást oly módon, hogy a tanulás különböző aspektusait és fázisait, valamint a végrehajtó kontroll különböző összetevőit is figyelembe veszem. Az 1. és a 2. tanulmány a kölcsönhatást vizsgálta anélkül, hogy bármelyik folyamatot manipulálta volna, míg a 3. és a 4. tanulmány, valamint a Kiegészítő tanulmány a végrehajtó kontrollrendszer kísérleti manipulációját tartalmazta.

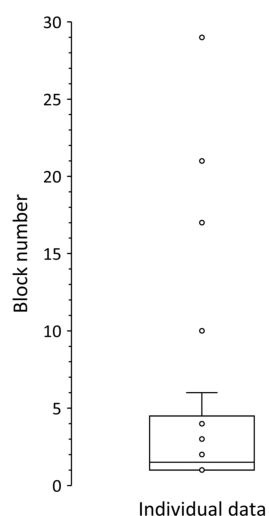
## II. Új tudományos eredmények

### i. 1. tanulmány: Hozzájárulnak-e a hibák az automatikus viselkedések előhívásához a minél hatékonyabb feladathoz való adaptáció érdekében?

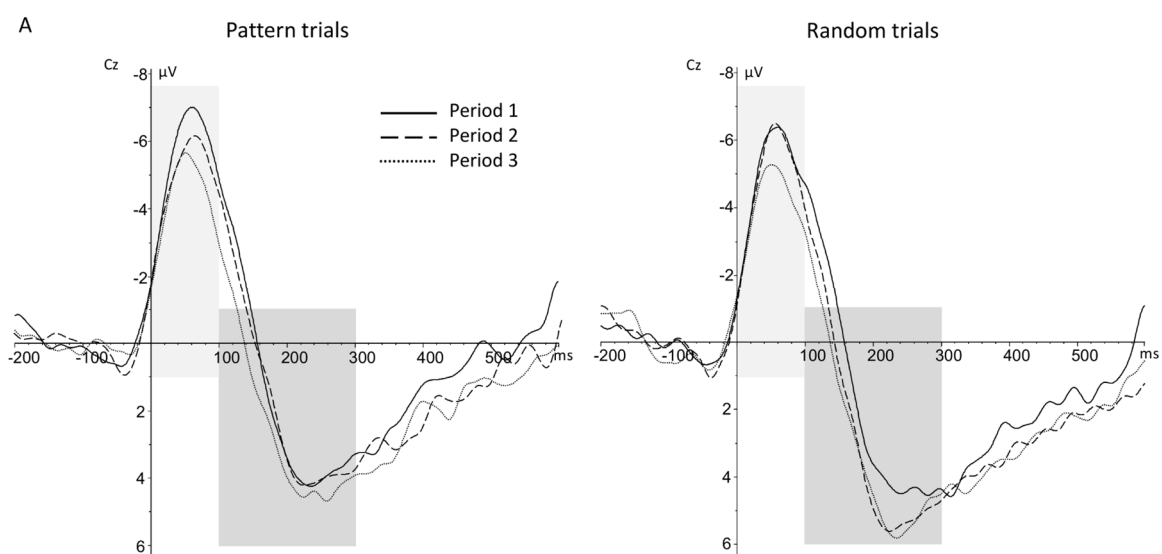
*Tézis I. A hibafeldolgozás elektrofiziológiai és viselkedéses korrelátumai érzékenyek az általános feladatadaptációs folyamatokra, de a procedurális tanulásra és a memória előhívására nem.*

A végrehajtó kontroll rendszer egyik kulcsfontosságú próbae a teljesítménymonitorozás, különösképp a hibás műveletek feldolgozása. A hibák automatikus észlelését a hibanegetivitás (ERN vagy Ne; Falkenstein et al., 1991; Gehring et al., 2012) eseményhez kötött agyi potenciál komponenssel lehet nyomon követni, míg a hibák tudatos kiértékelése a hibapozitivitáshoz (Pe; Falkenstein et al., 1991; Nieuwenhuis et al., 2001) kapcsolódik. Viselkedéses szinten a hibázások által vezérelt adaptáció legfontosabb korrelátuma a hibázást követő lassulási hatás ((post-error slowing, PES; Danielmeier & Ullsperger, 2011). Ebben a vizsgálatban a hibafeldolgozást egy automatikus viselkedés elsajátítása és előhívása során mértük. A résztvevők (N = 24 egészséges fiatal felnőtt) 30 blokkot teljesítettek az úgynevezett jelölt ASRT feladatból (Kóbor et al., 2018), ahol az ismétlődő szekvencia próbák egy eltérő stimulussal vannak kiemelve, és a résztvevőket azt az instrukciót kapják, hogy jegyezzék meg ezek sorrendjét. Ezt követően a szekvencia sorrend potenciálisan előhívásra kerülhet a jobb teljesítmény elérése érdekében.

Az ASRT feladat minden blokkját követően egy szekvencia riportolási feladat került felvételre. Ennek eredményei azt mutatták, hogy a szekvencia sorrend elsajátítása sikeresen megtörtént már a feladat legelején (1. ábra). Az ASRT feladaton mutatott teljesítmény további növekedése a szekvencia próbák ezen információ visszahívására utalt. Az eseményhez kötött agyi potenciál adatok elemzése az próbák típusától (szekvencia vagy random) függetlenül csökkenő Ne-t mutatott, ami a hiba szignifikanciájának csökkenésére utalhatott. A Pe az idő múlásával növekedett, ugyancsak az próbák típusától függetlenül (2. ábra), ami arra utal, hogy a hibatudatosság növekedett a feladatban. A hibázást követő lassulási hatás elemzése kimutatta, hogy a résztvevők valóban lelassultak a hiba bekövetkezte után, és ez a hatás a feladat előrehaladtával csökkent, hasonlóan a szekvencia- és a random próbák esetében.



**1. ábra:** Az ismétlődő jelölt szekvencia próbák sorrendjének felfedezése a blokkokat követő szekvencia riportolási feladat szerint. A résztvevők átlagosan az első öt blokkban fedezték fel a szekvencia sorrendjét.



**2. ábra:** Hibázás mínusz helyes válaszhoz kötött agyi kiváltott potenciálok különbségi görbéje a Cz elektródán mérve, külön-külön a szekvencia és a random próbák esetében három idői periódusban (egyenként 10 feladatblokk). Az Ne 0- 100 ms között, (világosszürke árnyékolás) a Pe pedig 100-300 ms (sötétszürke árnyékolás) került kvantifikálásra. Míg az Ne idővel csökkent, addig a Pe növekedett. Egyik komponens sem mutatott előhívás-specifikus hatásokat, hanem a feladathoz való általános alkalmazkodást tükrözték.

Összességében az 1. tanulmány azt mutatta ki, hogy amikor egy automatikus viselkedés előhívható a jobb feladatteljesítmény elérése érdekében, a hibafeldolgozás általános adaptációs folyamatokat tükröz az előhívás-specifikus hatások helyett, mind elektrofiziológiai, mind viselkedési szinten. Az 1. tanulmány alapján a procedurális memória és a teljesítménymonitorozás független kapcsolatban állnak a viselkedésadaptáció során.

**ii. 2. tanulmány: Mikor és milyen mértékben tudjuk az automatikus viselkedéseinket adjusztálni, amikor a környezet kiszámíthatatlanná válik anélkül, hogy a felszínen észrevehető változás következne be?**

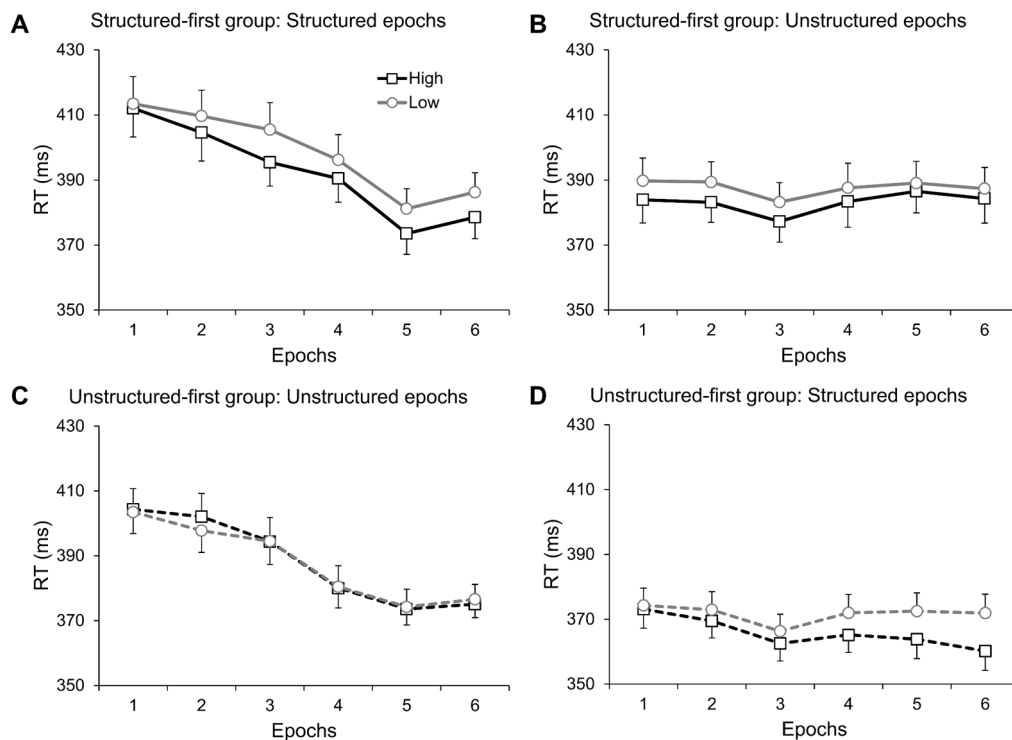
*Tézis II. Az automatikus viselkedések perzisztensek, és hozzájárulnak a viselkedésadaptációhoz még kiszámíthatatlan környezetben is. A viselkedés adjusztálása hosszabb időt vesz igénybe, mint a viselkedés elsajátítása.*

A procedurális memóriarendszer egyik fontos részét képezik a szokások és a szokásszerű automatikus viselkedések. A szokások sikeres adjusztálásához gyakran a végrehajtó kontrollrendszer bevonására van szükség, máskor pedig ez tudatos erőfeszítés nélkül is megtörténhet, ha a környezet változásai úgy kívánják meg (Robbins & Costa, 2017; Wood & Neal, 2007). A szokások megváltoztatása azonban kihívást jelent, mivel ezeket megtörni, megváltoztatni (Poldrack, 2021).

A 2. tanulmány célja az volt, hogy csoportok közötti kísérleti elrendezésben tesztelje, képesek vagyunk-e és ha igen, hogyan tudjuk adjusztálni a szokásszerű automatikus viselkedéseket a környezet kiszámíthatatlanná válása esetén. Ennek érdekében a résztvevők egyik csoportja először elsajátított egy automatikus viselkedést (a feladat első része), majd ezt a viselkedést kellett adjusztálni egy olyan új környezetben (a feladat második része), amely kiszámíthatatlan volt, szemben a régi, strukturált környezettel. Kontrollként, a másik csoport fordított sorrendben végezte el a két feladatrészt, így az automatikus viselkedés elsajátítása a kiszámíthatatlan környezetben szerzett tapasztalatokat követően történt meg. Fontos kiemelni, hogy a struktúra változása mindig jelzés nélküli volt, azaz a résztvevőket nem kaptak tájékoztatást róla.



Az eredmények alapján a korábbi automatikus viselkedés az új, kiszámíthatatlan környezetben is fennmaradt és megmutatkozott. A kiszámíthatatlan környezetnek való kitettség során azonban ez a viselkedés frissült, megtörtént az adjusztálás. A frissítési folyamat hosszabb ideig tartott, mint az eredeti tanulási folyamat (3. ábra, A és B részek). A kontrollcsoport a kiszámíthatatlan környezetnek való kitettséget követően is sikeresen elsajátította az automatikus viselkedést (3. ábra, C és D részek).



**3. ábra:** A két csoport teljesítménye (felső és alsó sorok) a kiszámítható/strukturált feladatrészen (A és D) és a kiszámíthatatlan/nem strukturált feladatrészen (B és C) során az idő függvényében. Az először a kiszámítható részt teljesítő csoport sikeresen elsajátított egy szokásszerű automatikus viselkedést a feladat első részében, amely aztán a kiszámíthatatlan környezetben is fennmaradt és kifejeződött. A viselkedés idővel frissült. A kontrollcsoport nem mutatott tanulást a kiszámíthatatlan környezetben, és ezt követően sikeresen elsajátította a szokásszerű automatikus viselkedést a kiszámítható környezetben. A hibasávok az átlagok standard hibáját mutatják.

A 2. tanulmány alapján a szokásjellegű automatikus viselkedések adjusztálása akkor is sikeresen végbe mehet, ha az ezt előidéző környezeti változások rejtve maradnak. Ez a vizsgálat

nem fókuszált a procedurális memória és a végrehajtó kontroll rendszer kölcsönhatására, így nem tudta közvetlenül tesztelni azt. Ugyanakkor a feladat során szándékosan vagy spontán aktiválódhattak a célvezérelt frissítési folyamatok, de ezt a feltételezést a jelen kísérleti elrendezésben nem lehet megerősíteni vagy megcáfolni.

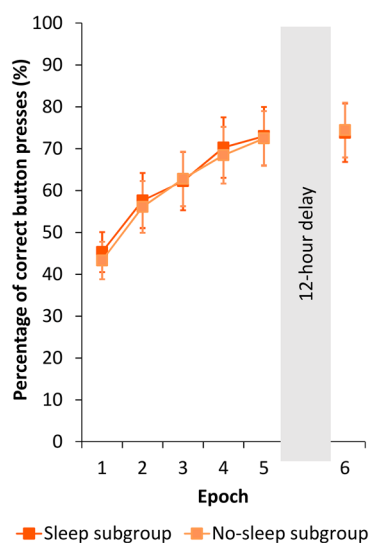
**iii. 3. tanulmány: Érintetlen marad-e a procedurális tanulás, ha a figyelem megoszlik több egyidejű feladat és cél között?**

*Tézis III. A figyelem egyidejű feladatok közötti megosztása nincs hatással az automatikus viselkedések elsajátítására és megtartására.*

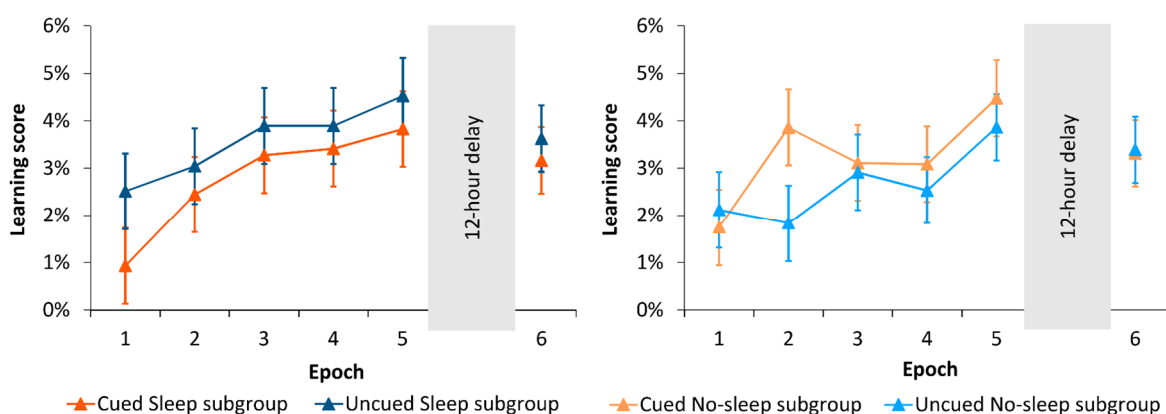
A figyelem a végrehajtó kontroll rendszer két központi összetevőjének egyike (Bari & Robbins, 2013). Számos különböző aspektusa közül a megosztott figyelem a fókusz egyidejű megosztásának és legalább két egyidejű feladatra vagy célra való összpontosításnak képességét takarja, és a figyelem végrehajtó hálózatához köthető (Fernandez-Duque & Posner, 2001; Jiménez & Mendez, 1999).

Ebben a csoportok közötti elrendezést alkalmazó vizsgálatban a figyelem megosztásra került egy automatikus viselkedés elsajátítása során. A résztvevők fele (N = 48) a már bemutatott jelölt ASRT feladat gyors és fix tempójú változatát végezte el. Az időzítési manipulációnak köszönhetően, együttesen a szekvencia jelölésével, e csoportnak két párhuzamos feladat volt: fenntartani a jó teljesítményt és megtanulni a szekvencia elemek sorrendjét. A csoport másik fele (N = 48) az eredeti (nem jelölt), teljesen implicit ASRT feladat hasonlóan módosított időzítésű változatát végezte el másodlagos feladat nélkül, kontrollként szolgálva. Ez volt a tanulási fázis. Ezt követően, a teljesítményt 12 órás offline késleltetés után is megvizsgáltuk, hogy felmérjük a procedurális memória egy másik fontos aspektusát: az elsajátított viselkedés megtartását (tesztelési fázis).

Az ASRT feladat minden blokkját követően felvett szekvencia riportolási feladat alapján a jelölt feladatváltozatot elvégző csoportban az időzítési manipuláció megakadályozta a szekvenciasorrend elsajátítását (4. ábra), amely a figyelem megosztására utalhat. A procedurális tanulást a valószínűtlen/bejósolhatatlan random és a valószínű/bejósolható, de random ASRT eseményeken mértük. A két csoport hasonló szintű (implicit) procedurális tanulást mutatott, és a megszerzett viselkedés az offline késleltetés alatt is megmaradt, egyformán a két csoport között (5. ábra).



**Ábra 4.** A megosztott figyelmi csoport teljesítménye a blokk utáni szekvencia riportolási feladatban az idő függvényében ábrázolva (tanulási fázis: 1-5. epoch, tesztelési fázis: 6. epoch). Bár idővel javult, a résztvevők soha nem érték el a hibátlan teljesítményt, ellentétben a standard időzítési beállításokkal végzett jelölt ASRT feladat eredményeivel, ahol a szekvencia felfedezése általában az első öt blokkban megtörténik (Horváth et al., 2021; Kóbor et al., 2018). A csoportot a disszertáció szempontjából irreleváns offline késleltetés alatti aktivitásuk (alvás vagy ébrenlét) alapján két alcsoportra osztottuk tovább. A hibasávok az átlag standard hibáját mutatják.



**5. ábra.** A standardizált reakcióidő-adatokból számított tanulási mutatók az idő függvényében ábrázolva (tanulási fázis: 1-5. epoch, tesztelési fázis: 6. epoch). A sárga vonalak a megosztott figyelmi manipuláció alatt teljesítő csoportot, a kék vonalak pedig a kontrollcsoportot jelölik. A csoportokat tovább osztottuk négy alcsoportra az offline késleltetés alatti aktivitásuk alapján

(alvás vagy éber aktivitás), ami a disszertáció szempontjából irreleváns. A procedurális tanulás a tanulási fázisban és a 12 órás késleltetést követően is hasonló volt a két csoportban. Az elsajátított viselkedés az offline időszakban során megtartott maradt. A hibasávok az átlag standard hibáját jelölik.

Összefoglalva a 3. tanulmányt, a megosztott figyelem nem befolyásolta a procedurális memóriarendszert, hanem a két folyamat egymástól függetlenül működött.

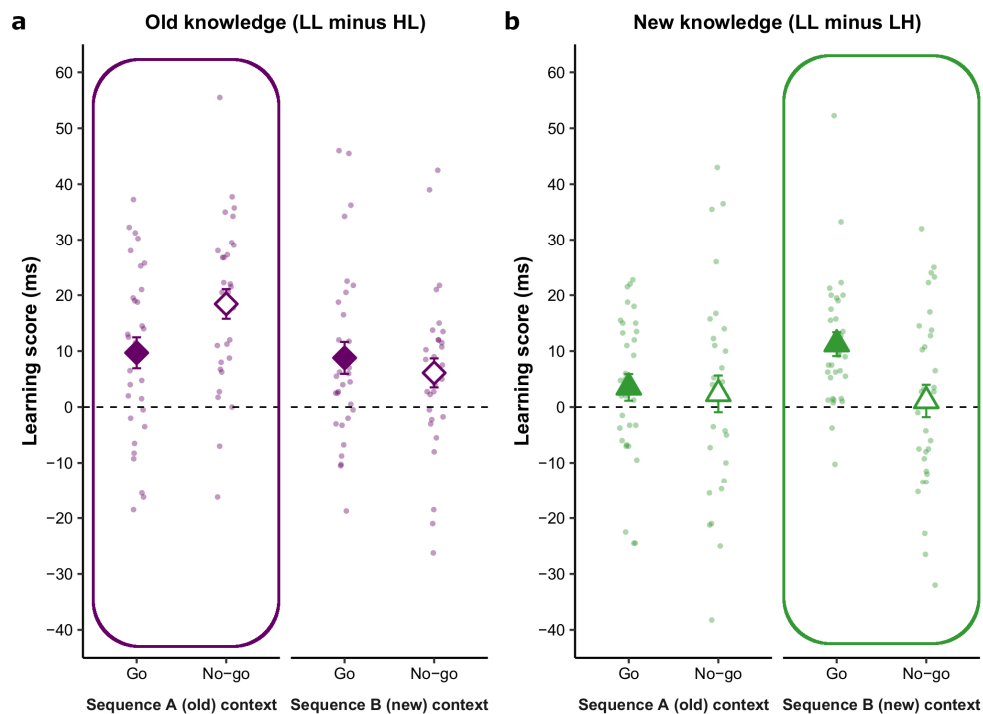
#### **iv. 4. tanulmány: Hogyan befolyásolja a válaszgátlás az automatikus viselkedések áthuzalozását?**

*Tézis IV. A válaszgátlás hátráltatja a szokásszerű viselkedések elsajátítását és aktív elfelejtését. A procedurális tanulás támogatja a válaszgátlást.*

A figyelem mellett a gátlást azonosították a végrehajtó kontrollrendszer másik központi komponenseként (Bari & Robbins, 2013). A gátlás magában foglalja a válaszgátlást és az interferencia elnyomását (Bryce et al., 2011; Luk et al., 2010). A 4. tanulmány a válaszgátlás, a nem kívánt viselkedések megszüntetésére használt gyakori hétköznapi megoldás, szokásszerű automatikus viselkedések megváltoztatására gyakorolt hatását vizsgálta. Ezidáig már bebizonyosodott, hogy a válaszgátláshoz hasonló kísérleti manipuláció, a kioltás nem képes sikeresen eltörölni a szokásszerű viselkedéseket (Bouton, 2019), és a régi viselkedés hajlamos megmaradni még a viselkedés átírását célzó eljárás után is (Szegedi-Hallgató et al., 2017).

Ebben a személyen belüli elrendezést alkalmazó vizsgálatban először a résztvevők (N = 31) az eredeti, teljesen implicit ASRT feladat hosszabb verziójának gyakorlása során egy szokásszerű automatikus viselkedést sajátítottak el. Egy 24 órás offline késleltetést követően ezt a viselkedést kétféle kísérleti manipulációval céloztuk meg. Egyrészt egy új, de részben átfedő szabályszerűséget vezettünk be a feladatba, hogy a régi automatikus viselkedést átírjuk. A részleges átfedés lehetővé tette a régi viselkedés elsajátításának és az új viselkedés aktív elfelejtésének („kitanulás”) egyidejű tesztelését. Emellett, egy Go/No-go feladathoz hasonló manipuláció formájában bevontuk a válasz gátlás folyamatát a feladatba. Egy újabb 24 órás offline késleltetést követően mind a régi, mind az új viselkedést, valamint a válaszgátlás ezekre gyakorolt hatását teszteltük.

Az eredmények alapján a régi viselkedést némileg elfelejtették, az új viselkedést pedig sikeresen elsajátították a résztvevők az átírási szakasz során. Érdekes módon az úgynevezett szenzitivitási index, azaz a feladat Go elemeire adott helyes válaszok aránya és a No-go elemekre adott téves riasztások aránya közötti különbség azt mutatta, hogy a válaszgátlást némileg támogatta a procedurális tanulás folyamata. Amint azt a harmadik kísérleti ülés eredményei mutatták, a régi viselkedés túlélte az átírási manipulációt, sőt, a válasz gátlás tovább erősítette azt (6a. ábra). Ugyan az új viselkedés is megmaradt, az gyengébbnek tűnt, mint a régi (6b. ábra). A válaszgátlás károsan hatott mind a régi viselkedés aktív elfelejtésére, mind az új viselkedés elsajátítására.



**6. ábra.** A tesztelési fázisban, azaz a harmadik kísérleti ülésen mért tanulási mutatók. A kontextus az első nap (A; régi viselkedés) és a második nap (B; új viselkedés) ASRT feladatának szabályszerűségére utal. A "Go" a régi és az új viselkedés azon részeire utal, amelyekre az átírási fázis során válaszoltak a résztvevők, míg a "No-go" azokra a részekre utal, amelyeket nem szabadott megválaszolni. a) A régi viselkedés túlélte az átírási manipulációt, az új viselkedés kontextusában is kifejeződött, és a válaszgátlási manipulációval tovább erősödött. b) Az új viselkedés is megmaradt, de csak a saját kontextusában fejeződött ki, és a válaszgátlási manipuláció lerontotta a viselkedést. A pontok egyéni adatokat, a hibaszávok pedig az átlagok standard hibáját jelölik.

A 4. tanulmány alapján a válaszgátlás és a szokásváltás között versengő kapcsolat áll fenn; ugyanakkor bizonyíték merült fel arra vonatkozóan, hogy a válaszgátlást a procedurális tanulási folyamatok támogatják.

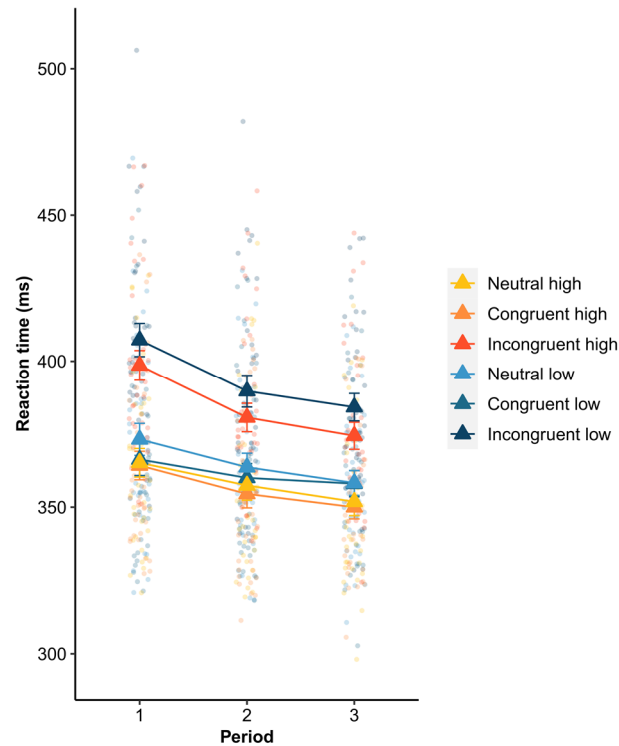
v. **Kiegészítő tanulmány: Hogyan befolyásolják egymást a procedurális tanulás és az interferenciaelnyomás, ha egyidejűleg járulnak hozzá a feladat teljesítéséhez?**

*Tézis V. Az interferenciaelnyomás és az automatikus viselkedések elsajátítása egymástól függetlenül működik, de a környezet fokozott bizonytalansága és megnövekedett konfliktus esetén kölcsönhatásba léphetnek egymással.*

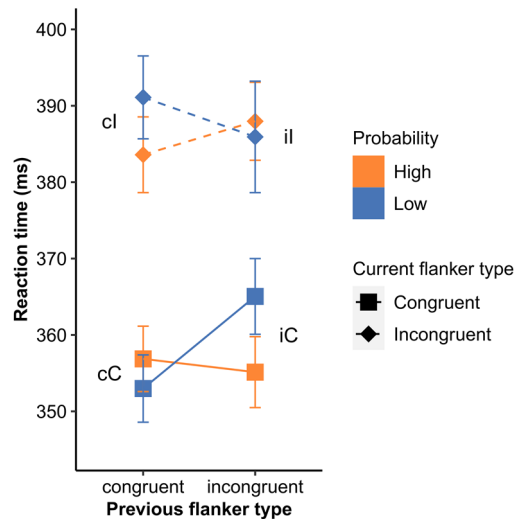
Az interferenciaelnyomás a feladat céljait zavaró információk kiszűrésére utal (Luk et al., 2010). A Kiegészítő tanulmányban az Eriksen flanker feladatot (Eriksen & Eriksen, 1974), az interferencia elnyomás mérésére szolgáló egyik alapvető kísérleti paradigmát vezettük be egy automatikus viselkedés elsajátítása során. Ezáltal lehetővé vált az interferenciaelnyomás és a procedurális tanulás kölcsönhatásának tesztelése oly módon, hogy a mögöttes szekvencia nem jelezte előre/korrelált a disztraktor ingerekkel. Ezenkívül figyelembe vettük a szekvenciális kongruencia hatást (*Congruency Sequence Effect*, CSE), amely egy konfliktusvezérelt viselkedéses alkalmazkodási folyamatot tükröz. A CSE azon jelenségre utal, hogy a flanker kongruencia hatás csökken egy inkongruens próbát követően, szemben egy kongruens próbával, mivel az csökkent mennyiségű erőforrást igényel (Egner, 2007).

Ebben a személyen belüli elrendezést alkalmazó vizsgálatban a résztvevők (N = 36) az ASRT feladat teljesen implicit változatát végezték el, miközben semleges, kongruens vagy inkongruens disztraktor flanker ingereket mutattunk be a célinger mellett. A fő elemzés szerint mind a procedurális tanulás, mind az interferenciaelnyomás függetlenül működött a feladatban: a tanulás hasonló volt minden flanker kongruencia kondícióban, és a flanker kongruencia hatás is hasonló volt az ASRT bejósolható és bejósolhatatlan eseményein mérve (7. ábra). Meglepő módon a flanker kongruencia hatás általánosan csökkent az idő múlásával, ami arra utalhat, hogy a procedurális tanulás valamilyen szinten támogathatta az interferenciaelnyomást. A CSE elemzése a két folyamat közötti kölcsönhatásra utalt: az adaptációs hatás csak a bejósolhatatlan események esetében volt jelen (8. ábra). Mindemellett, a procedurális tanulási teljesítmény és

az interferenciaelnyomási teljesítmény közötti kapcsolat korrelációs elemzése azt mutatta ki, hogy nagyobb flanker kongruencia hatás (azaz rosszabb interferenciaelnyomás), kisebb a tanulási hatással járt együtt a kongruens próbákon, de nagyobb tanulási hatással az inkongruens próbákon.



**7. ábra.** A feladatban mutatott teljesítmény a különböző kondíciók esetében. A kék színek a bejósolhatatlan eseményeken nyújtott teljesítményt, a narancssárga színek pedig a bejósolható eseményeken nyújtott teljesítményt jelölik. A kongruenciát a színátmenet jelzi, a legvilágosabbtól a legsötétebbig a semleges, kongruens és inkongruens próbákat jelölve. A résztvevők jobban teljesítettek a bejósolható eseményeken, mint a bejósolhatatlan eseményeken, ami sikeres procedurális tanulást jelez. A tanulás hasonló volt minden flanker kongruencia kondícióban. A flanker kongruencia hatást a semleges és kongruens feltételekben mutatott jobb teljesítmény jelezte az inkongruens feltételhez képest, és ez hasonló volt a bejósolható és bejósolható események esetében. A pontok az egyéni adatpontokat mutatják. A hibasávok az átlagok standard hibáját jelentik.



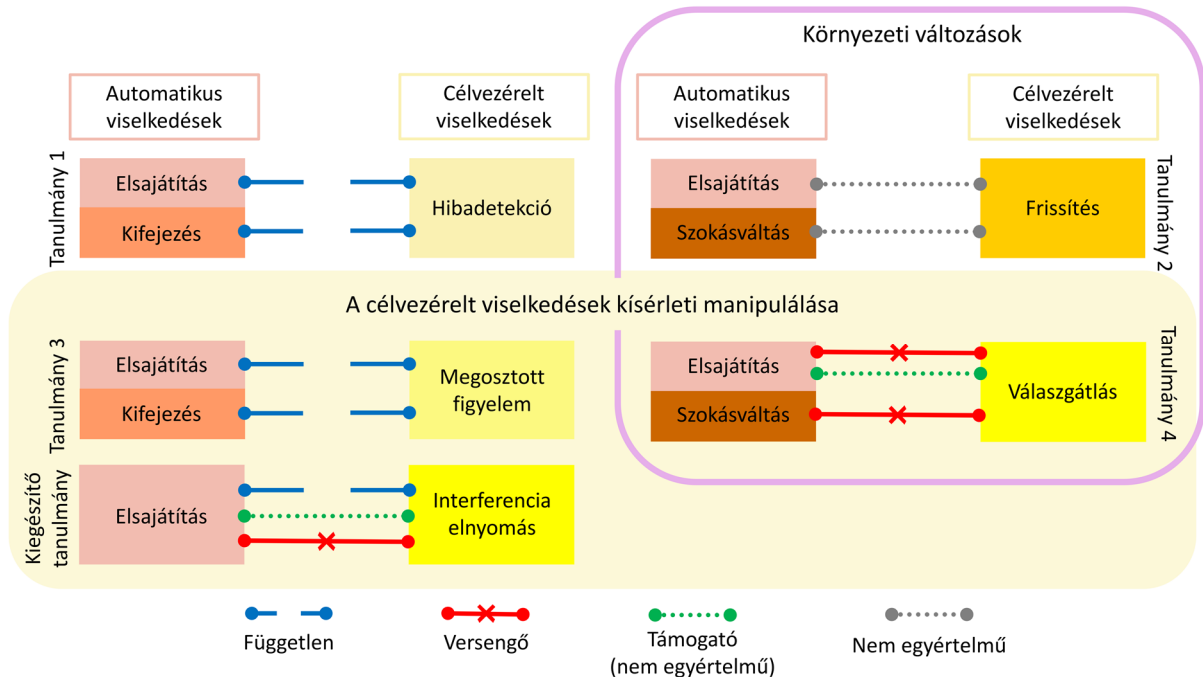
**8. ábra.** Szekvenciális kongruencia hatás (CSE). A kék szín bejósolhatatlan eseményeken mutatott teljesítményt, a narancssárga szín a bejósolható eseményeken mutatott teljesítményt jelöli. Az aktuális próbák kongruenciáját különböző formák és vonalak, valamint nagybetűk jelzik: a kongruens próbákat négyzetek, folytonos vonalak és "C" betű, az inkongruens próbákat pedig rombuszok, szaggatott vonalak és "I" betű jelzi. A megelőző próba flanker kongruitását a vízszintes tengely és kisbetűk jelölik ("c" = kongruens, "i" = inkongruens). A CSE bejósolhatatlan eseményeknél volt csak jelen.

A Kiegészítő tanulmány alapján a procedurális tanulás és az interferenciaelnyomás vegyes kapcsolatban állnak egymással. Míg mindkét folyamat ép maradt és úgy tűnt, hogy egymástól függetlenül, párhuzamosan működtek, addig amikor a konfliktus és a bizonytalanság egyaránt magas volt a feladatban, akkor kompetenciára utaló bizonyítékok merültek fel.



### III. Konklúziók

Ebben a disszertációban öt tanulmányt mutattam be, amelyek célja az volt, hogy betekintést engedjenek a procedurális memória és a végrehajtó kontroll rendszer kölcsönhatásának természetébe, a viselkedésadaptáció során. A főbb eredményeket a 9. ábra foglalja össze.



**9. ábra.** A főbb megállapítások és a tézisek összefoglalása. Az 1. és a 2. tanulmány a procedurális memória és a végrehajtó kontroll rendszer kölcsönhatását vizsgálta a viselkedésadaptáció során anélkül, hogy bármelyiket kísérletesen manipulálta volna. A 3. tanulmány, a 4. tanulmány és a Kiegészítő tanulmány a végrehajtó kontrollrendszer kísérleti manipulációját tartalmazta (sárga háttérnyékolás). Az 1. tanulmány, a 3. tanulmány és a Kiegészítő tanulmány az automatikus viselkedések elsajátítására és a kifejezésére összpontosított, míg a 2. és a 4. tanulmány a környezeti változásokon nyugvó szokásváltást vizsgálta (lila keretezés). Bizonyítékot találtam független (kék), kompetitív (piros) és támogató (zöld) kapcsolatokra, az utóbbikkal kapcsolatban azonban csak nem egyértelmű bizonyítékok állnak rendelkezésre (szaggatott). A szürke szaggatott vonalak olyan kapcsolatokat jelölnek, amelyek természete jelenleg ismeretlen. A disszertációban bemutatott eredmények szerint az automatikus és a célzott viselkedések kölcsönhatása az alkalmazkodás során nem egységes, hanem a feladatban részt vevő két rendszer (al)folyamataitól és különböző aspektusaitól függ.

A disszertációban bemutatott eredmények alapján egy konvergens mintázat rajzolódott ki. Míg az elsajátítás vizsgálatokor (1. tanulmány, 3. tanulmány) független kapcsolatot találtunk, a versengő kapcsolat megmutatkozott olyan törekenyebb és összetettebb helyzetekben meg, mint a szokásváltás és a konfliktusvezérelt alkalmazkodás (4. tanulmány, Kiegészítő tanulmány). Más szóval, egy teljesen új automatikus viselkedés elsajátítása, majd kifejezése egyszerűbb és kisebb kihívást jelenthet, mint egy szokás megváltoztatása, amikor az új szokás elsajátítása konfliktusba kerül a régivel. A bizonytalan és egyúttal zavaró környezethez való alkalmazkodás hasonlóan összetett és kihívást jelentő feladat, és a procedurális memórián alapuló alkalmazkodás konfliktusba kerülhet a végrehajtó kontroll rendszeren alapuló alkalmazkodással. E két rendszer interferenciája ilyen esetekben jelent meg az itt közölt vizsgálatokban. Összeségében az mondható el, hogy e két rendszer kölcsönhatása a procedurális memória különböző fázisaiban és/vagy a végrehajtó kontrollrendszerhez hozzájáruló folyamatokban eltérő lehet, és ennek megfelelően független vagy versengő jelleggel jellemezhető. A végrehajtó kontroll rendszer szempontjából vizsgálva, bizonyítékok merültek fel a támogató kapcsolatra (4. tanulmány, Kiegészítő tanulmány), mindazonáltal ezen eredményekből nem lehet biztos konklúziót levonni a vizsgálatok elrendezéséből adódóan.

Elképzeltető, hogy egy fekete-fehér kép helyett a procedurális memória és a végrehajtó kontroll rendszer kölcsönhatása a benne részt vevő folyamatok kombinációja szerint eltérő jellemzőket mutat (pl. az elsajátítás független a figyelem megosztásától, de. a szokásváltást akadályozza a válaszgátlás). Ennek megfelelően a disszertációm fő állítása, hogy automatikus és célvezérelt viselkedéseink egymástól függetlenül működhetnek olyan helyzetekben, ahol könnyen támaszkodhatunk a környezeti minták kivonatolására a procedurális rendszerre támaszkodva, egyfajta "robotpilóta" üzemmódban. Amikor azonban ez a kivonatolás megnehezedik valamilyen oknál fogva, interferencia alakulhat ki a végrehajtó kontroll rendszerrel szemben.

A disszertációban szereplő öt tanulmány célja az volt, hogy betekintést nyújtsanak az automatikus és a célvezérelt viselkedések kölcsönhatásába a viselkedéses alkalmazkodás során. Különböző bizonyítékokat mutattam be arra vonatkozóan, hogy az automatikus viselkedéseink rendkívül robusztusak és függetlenek a végrehajtó kontrollrendszer működésétől. Fontos azonban, hogy amikor a procedurális tanulás és a memória érzékenyebb aspektusait vizsgáltuk, a két rendszer közötti verseny/interferencia mutatkozott meg, amelyet tovább erősítettek a procedurális tanulásban és a végrehajtó kontroll teljesítményében megmutatkozott egyéni különbségek elemzése is.

A vizsgálati elrendezések továbbvitelével és a disszertációban felvetett kérdésekre való jövőben összpontosítással közelebb kerülhetünk az automatikus és a célvezérelt viselkedések kölcsönhatásának pontos feltárásához. Ezáltal olyan módszerek kidolgozásához járulhatunk hozzá, amelyekkel javíthatjuk a viselkedés alkalmazkodást a mindennapi életünkben is.

## Hivatkozások

- Ashby, F. G., & Crossley, M. J. (2012). Automaticity and multiple memory systems. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 3(3), 363–376. <https://doi.org/10.1002/wcs.1172>
- Bari, A., & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: Behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology*, 108, 44–79. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2013.06.005>
- Borragán, G., Slama, H., Destrebecqz, A., & Peigneux, P. (2016). Cognitive Fatigue Facilitates Procedural Sequence Learning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 86. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00086>
- Bouton, M. E. (2019). Extinction of instrumental (operant) learning: interference, varieties of context, and mechanisms of contextual control. *Psychopharmacology*, 236(1), 7–19. <https://doi.org/10.1007/s00213-018-5076-4>
- Bryce, D., Szűcs, D., Soltész, F., & Whitebread, D. (2011). The development of inhibitory control: An averaged and single-trial Lateralized Readiness Potential study. *NeuroImage*, 57(3), 671–685. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.12.006>
- Coomans, D., Deroost, N., Zeischka, P., & Soetens, E. (2011). On the automaticity of pure perceptual sequence learning. *Consciousness and Cognition*, 20(4), 1460–1472. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.06.009>
- Danielmeier, C., & Ullsperger, M. (2011). Post-Error Adjustments. *Frontiers in Psychology*, 2, 233. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00233>
- Deroost, N., Vandebossche, J., Zeischka, P., Coomans, D., & Soetens, E. (2012). Cognitive control: A role for implicit learning? *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 38(5), 1243–1258. <https://doi.org/10.1037/a0027633>
- Egner, T. (2007). Congruency sequence effects and cognitive control. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 2007 7:4, 7(4), 380–390. <https://doi.org/10.3758/CABN.7.4.380>
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16(1), 143–149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., & Blanke, L. (1991). Effects of crossmodal divided attention on late ERP components. II. Error processing in choice reaction tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 78(6), 447–455. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(91\)90062-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(91)90062-9)

- Fernandez-Duque, D., & Posner, M. I. (2001). Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *23*(1), 74–93. <https://doi.org/10.1076/JCEN.23.1.74.1217>
- Foerde, K. (2018). What are habits and do they depend on the striatum? A view from the study of neuropsychological populations. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *20*, 17–24. <https://doi.org/10.1016/J.COBEHA.2017.08.011>
- Friedman, N. P., & Robbins, T. W. (2022). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, *47*(1), 72–89. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>
- Gehring, W. J., Liu, Y., Orr, J. M., & Carp, J. (2012). The error-related negativity (ERN/Ne). In S. J. Luck & E. S. Kappenman (Eds.), *Oxford handbook of event-related potential components* (pp. 231–291). Oxford University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195374148.001.0001>
- Graybiel, A. M. (2008). Habits, Rituals, and the Evaluative Brain. *Annual Review of Neuroscience*, *31*, 359–387. <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.neuro.29.051605.112851>
- Henke, K. (2010). A model for memory systems based on processing modes rather than consciousness. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(7), 523. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nrn2850>
- Horváth, K., Kardos, Z., Takács, Á., Csépe, V., Nemeth, D., Janacsek, K., & Kóbor, A. (2021). Error Processing During the Online Retrieval of Probabilistic Sequence Knowledge. *Journal of Psychophysiology*, *35*(2), 61–75. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/A000262>
- Howard, J., & Howard, D. (1997). Age differences in implicit learning of higher-order dependencies in serial patterns. *Psychol Aging*, *12*(4), 634–656. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/0882-7974.12.4.634>
- Jiménez, L., & Mendez, C. (1999). Which attention is needed for implicit sequence learning? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *25*(1), 236. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.1.236>
- Jiménez, L., Méndez, C., Agra, O., & Ortiz-Tudela, J. (2020). Increasing control improves further control, but it does not enhance memory for the targets in a face–word Stroop task. *Memory and Cognition*, *48*(6), 994–1006. <https://doi.org/https://doi.org/10.3758/s13421-020-01028-2>

- 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. <https://doi.org/https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1016/J.BIOPSYCHO.2018.04.001>
- Luk, G., Anderson, J. A. E., Craik, F. I. M., Grady, C., & Bialystok, E. (2010). Distinct neural correlates for two types of inhibition in bilinguals: Response inhibition versus interference suppression. *Brain and Cognition*, 74(3), 347–357. <https://doi.org/10.1016/J.BANDC.2010.09.004>
- Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, R. K., Blom, J., Band, G. P. H., & Kok, A. (2001). Error-related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: Evidence from an antisaccade task. *Psychophysiology*, 38(5), 752–760. <https://doi.org/10.1017/S0048577201001111>
- Poldrack, R. A. (2021). *Hard to Break*. Princeton University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/9780691219837>
- Poldrack, R. A., & Packard, M. G. (2003). Competition among multiple memory systems: converging evidence from animal and human brain studies. *Neuropsychologia*, 41(3), 245–251. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00157-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00157-4)
- Robbins, T. W., & Costa, R. M. (2017). Habits. *Current Biology*, 27(22), R1200–R1206. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2017.09.060>
- Romano, J. C., Howard Jr, J. H., & Howard, D. v. (2010). One-year retention of general and sequence-specific skills in a probabilistic, serial reaction time task. *Memory*, 18(4), 427–441. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09658211003742680>
- Szegedi-Hallgató, E., Janacsek, K., Vékony, T., Tasi, L. A., Kerepes, L., Hompoth, E. A., Bálint, A., & Németh, D. (2017). Explicit instructions and consolidation promote rewiring of automatic behaviors in the human mind. *Scientific Reports*, 7(1), 4365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-017-04500-3>
- Ullman, M. T. (2001). A neurocognitive perspective on language: The declarative/procedural model. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(10), 717.
- Wood, W., & Neal, D. T. (2007). *A New Look at Habits and the Habit – Goal Interface*. 114(4), 843–863. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.4.843>