

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
PEDAGÓGIAI ÉS PSZICHOLÓGIAI KAR



A doktori disszertáció tézisei

Eszter Tóth-Fáber

**KÉSZSÉGEK TANULÁSA ÉS KONSZOLIDÁCIÓJA TIPIKUS ÉS ATÍPIKUS
FEJLŐDÉSBEN**

Pszichológiai Doktori Iskola

Vezető: **Prof. Dr. Urbán Róbert**, egyetemi tanár, Eötvös Loránd Tudományegyetem

Klinikai Pszichológia és Addiktológia Program

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

Témavezetők:

Prof. Dr. Németh Dezső, egyetemi tanár, Eötvös Loránd Tudományegyetem

Dr. Janacsek Karolina, egyetemi adjunktus, Eötvös Loránd Tudományegyetem

Budapest, 2023

I. Általános bevezető

A már elsajátított készségeink gyakorlása és új készségek elsajátítása szerves része mindennapjainknak. Életünk során számos készséget elsajátítunk, különösen fiatal korban. Az, hogy miként tanuljuk meg, konszolidáljuk és hívjuk elő ezeket a készségeket, nemcsak tipikus, hanem atipikus fejlődésben is nagy jelentőséggel bír. Disszertációmban ezt a kérdéskört helyezem fókuszba és célom a készségtanulás, pontosabban a procedurális tanulás mélyebb megértése tipikus és atipikus fejlődésben.

Emlékezeti rendszerek és a memória fázisai

Az emberi emlékezet nem egy egységes konstruktum, a hosszútávú emlékezet a klasszikus felosztás szerint deklaratív és non-deklaratív rendszerre tagolódik. A non-deklaratív memória különböző alrendszerekből áll, úgy mint a priming, a klasszikus kondicionálás, a perceptuális tanulás és a procedurális memória (Squire & Wixted, 2011). A procedurális memória alapvető szerepet játszik a készségek és szokások elsajátításában (Frith & Frith, 2012; Kaufman et al., 2010; Ullman, 2004). A disszertáció fókuszában ez a memóriarendszer áll.

Az emberi emlékezet vizsgálata során figyelembe kell vennünk a memória különböző fázisait. Az első fázis a tanulás, amelyet a konszolidáció követ. Konszolidáció során a törekeny memóriareprezentációk egyre stabilabbá válnak és kevésbé befolyásolja őket az interferencia, lehetővé téve a későbbi előhívást (Walker, 2005). Procedurális memóriát tekintve a sikeres konszolidáció megmutatkozhat a sikeres előhívásban, amikor hasonló a teljesítmény a tanulási fázis végén és a későbbi tesztelési fázis elején, illetve offline tanulásban is, amikor a tesztelési fázisban jobb a teljesítmény a tanulási fázis végéhez képest (Robertson, Pascual-Leone, & Miall, 2004). Disszertációmban a tanulást és a konszolidációt is vizsgálom a procedurális memórián belül.

Különböző szabályszerűségek a procedurális memórián belül

A procedurális memória képessé tesz minket arra, hogy a környezetből sokféle szabályszerűséget detektáljunk és kivonatoljunk, lehetővé téve a környezethez való adaptációt. Az ember többféle szabályszerűséget képes kivonatolni, az egyszerű, determinisztikus szabályoktól a bonyolultabb, probabilsztikus szabályszerűségekig (Batterink, Paller, & Reber, 2019; Conway, 2020; Siegelman, Bogaerts, Christiansen, & Frost, 2017). A legtöbb korábbi tanulmány egyszerre csak egy-egy szabályszerűséget vizsgált. A disszertációmban kétféle szabályszerűségre, nevezetesen a statisztikai és a sorrendi információkra fókuszáltam, és egy paradigmán belül vizsgáltam őket. Ebben az elméleti keretben a *statisztikai információk* az ingerek közötti rövidebb távú kapcsolatokra utalnak, amelyek elsősorban probabilsztikus információkon alapulnak. A statisztikai információt jellemzően viszonylag gyorsan és incidentálisan sajátítjuk el. A *sorrendi információk* elsajátítása az azonos sorrendben megjelenő, ismétlődő elemek megtanulására utal.

A procedurális memórián belüli különböző szabályszerűségek mérésére az Alternáló Szeriális Reakcióidő (ASRT) feladatot használtuk (Howard & Howard, 1997; Nemeth, Janacsek, & Fiser, 2013), amely egy vizuo-motoros négyválasztásos reakcióidő feladat. Az ingerek megjelenése egy nyolc elemű alternáló szekvenciát követ, amelyben a szekvencia és random elemek váltakoznak egymással, és az alternáló szekvencia miatt egyes ingerhármások (három egymást követő inger), más néven tripletek nagyobb valószínűséggel fordulnak elő, mint más tripletek. A vizsgálati személyek gyorsabban és pontosabban reagálnak a magasan gyakori tripletekre az alacsony gyakoriságúakhoz képest (Howard & Howard, 1997; Nemeth, Janacsek, & Fiser, 2013; Song, Howard, & Howard, 2007a, 2007b). Az eredeti ASRT feladatban a statisztikai és a sorrendi információk keverednek, ezért a feladat módosított változatát is használtuk, hogy egy időablakon belül tudjuk szét tudjuk választani a kétféle szabályszerűséget.

Procedurális memória Tourette szindrómában

A procedurális memória vizsgálata tipikus és atipikus fejlődésben is rendkívül fontos. Utóbbit tekintve én a disszertációmban egy gyerekkorban kezdődő idegrendszeri fejlődési zavarra, nevezetesen a Tourette szindrómára (TS) fogok összpontosítani. A TS-t visszatérő, hirtelen, félig önkéntelen mozdulatok és hangadások, vagyis motoros és vokális tikek jellemzik (APA, 2013), valamint strukturális és funkcionális elváltozások a bazális ganglionokban, a kapcsolódó frontális régiókban és a kortiko-bazális ganglion-thalamo-kortikális (CBGTC) hálózatokban (Albin & Mink, 2006). Korábbi tanulmányok felvetettek egy lehetséges kapcsolatot a tikek és a szokások között (Conceição, Dias, Farinha, & Maia, 2017; Goodman, Marsh, Peterson, & Packard, 2014; Maia & Conceição, 2017), ugyanis a tikek és a szokások átfedést mutatnak viselkedéses és neurális szinten is. Mind a tikek, mind a szokások automatikusan végrehajtott, rugalmatlan válaszok az ingerekre, amelyeket nehéz gátolni, és a tikekhez hasonlóan a procedurális memóriát is a bazális ganglionokhoz és a CBGTC hálózatokhoz kapcsolták (Doyon et al., 2009; Janacsek et al., 2020; Poldrack & Packard, 2003). Korábbi tanulmányok felvetették, hogy a TS neurális változásai az érintett agyi régiókhoz kapcsolódó kognitív funkciók túlműködéséhez vezethetnek (Clinical Extension Hypothesis, Dye, Walenski, Mostofsky, & Ullman, 2016), és egy ilyen terület lehet a procedurális memória (Dye et al., 2016; Shephard, Groom, & Jackson, 2019; Takács et al., 2018; Walenski, Mostofsky, & Ullman, 2007). Az 1. és a 2. tanulmányban a procedurális memóriát vizsgálok TS-ben.

Procedurális memória tipikus fejlődésben

A procedurális emlékezet, különösen a procedurális emlékezeti reprezentációk stabilizálódásának vizsgálata nemcsak Tourette szindrómában, hanem az egész élet során, a neurotipikus populációkban is kiemelkedően fontos. A procedurális tanulás fejlődési görbéjét három különböző modellel írták le (Zwart, Vissers, Kessels, & Maes, 2019), és ezek közül kettő életkorfüggő fejlődési görbét javasolt (Janacsek, Fiser, & Nemeth, 2012; Lukács & Kemény, 2015). Legjobb tudomásunk szerint a procedurális emléknymok konszolidációjának fejlődési görbéjére egyelőre nem született elméleti modell. A procedurális tanulás fejlődési görbéit figyelembe véve a procedurális emléknymok konszolidációjára különböző trajektóriákat lehet javasolni. A procedurális tanulás életkorfüggő változásai felvetik a kérdést, hogy vajon a konszolidáció is életkorfüggő lehet-e. A 3. és a 4. tanulmányokban a procedurális emléknymok konszolidációjára fókuszáltunk tipikus fejlődésben.

Kutatási kérdések

Annak érdekében, hogy jobban megértsük a procedurális memóriát tipikus és atipikus fejlődésben, a következő kérdések megválaszolását tűztük ki célul:

1. tanulmány: *Jobb-e a statisztikai és a sorrendi információk elsajátítása Tourette szindrómában?*

2. tanulmány: *Robusztus-e a statisztikai és a sorrendi információk konszolidációja Tourette szindrómában?*

3. tanulmány: *Sikeres-e az egyéves konszolidációja a statisztikai és sorrendi információknak tipikus fejlődésben?*

4. tanulmány: *Változik-e a procedurális információk konszolidációja az életkorral?*

II. 1. tanulmány: Disszociáció a procedurális tanulás két aspektusában Tourette szindrómában: Jobb statisztikai tanulás és sérült szekvenciatanulás

Publikáció: Tóth-Fáber, E., Tárnok, Z., Janacsek, K., Kóbor, A., Nagy, P., Farkas, B. C., Oláh, Sz., Merkl, D., Hegedűs, O., Nemeth, D., & Takács, Á. (2021). Dissociation between two aspects of procedural learning in Tourette syndrome: Enhanced statistical and impaired sequence learning. *Child Neuropsychology*, 27(6) 799-821., <https://doi.org/10.1080/09297049.2021.1894110>

Elméleti bevezető

A Tourette szindrómát megváltozott kognitív funkciók jellemezhetik, beleértve bizonyos funkciók károsodását és a jobb működést is. Az egyik terület, ahol jobb működést találtak, a procedurális memória és a már stabilizálódott procedurális emlényomokhoz való hozzáférés (Delorme et al., 2016; Dye et al., 2016; Palminteri et al., 2011; Takács et al., 2018; Walenski et al., 2007). Korábbi tanulmányok felvetették, hogy a fronto-striatális régiókban bekövetkező változások és a nem megfelelő procedurális tanulási mechanizmusok magyarázhatják a TS hiperkinetikus viselkedéses profilját (Albin & Mink, 2006). Ebben a tanulmányban a procedurális memórián belül két szabályszerűséget vizsgáltunk, a statisztikai és a sorrendi információkat, és teszteltük, hogy ezek a szabályszerűségek hozzájárulhatnak-e a korábbi tanulmányokban látott procedurális túlműködéshez.

Módszerek

Résztvevők – A vizsgálatban 27, TS-sel diagnosztizált, 10 és 15 év közötti gyermek vett részt. Hat résztvevő kizárásra került komorbid diagnózis és gyógyszeres kezelés miatt, így a végleges TS csoportba 21 gyermek került (18 fiú és 3 lány). A 21 gyermekből 3 gyermek komorbid ADHD, egy gyermek pedig komorbid ADHD és OCD diagnózissal rendelkezett. 99 tipikusan fejlődő (TF) gyermek vett részt a vizsgálatban, közülük 21 gyermek került kiválasztásra az illesztett kontroll csoportba nem és életkor alapján, minden TS gyermekhez illesztettünk egy TF párt. A párok között maximum 6 hónap különbség lehetett életkorban.

Eljárás – A vizsgálat két részből állt, amelyek ugyanazon a napon valósultak meg, a két ülés között 5 óra telt el. Ebben a tanulmányban a vizsgálat első üléséről származó adatokat használjuk, és a procedurális memóriafeladat tanulási fázisát elemezzük.

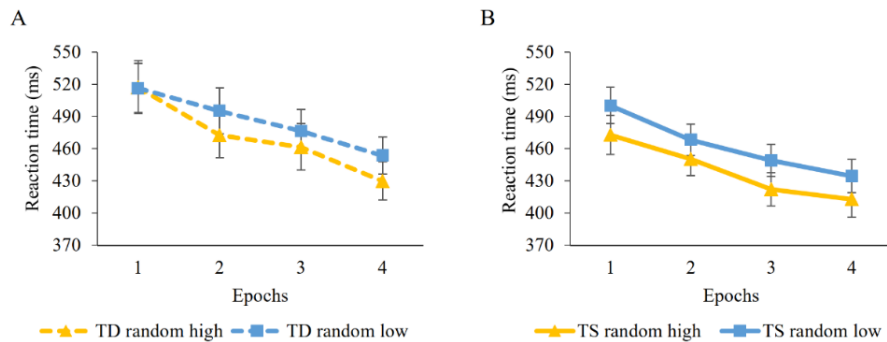
Feladatok – A statisztikai és sorrendi információk tanulását az Alternáló Szeriális Reakcióidő (ASRT) feladat cued változatával mértük (Nemeth, Janacsek, & Fiser, 2013).

Adatelemzés – Az ASRT feladat 20 blokkját négy, egyenként öt blokkot tartalmazó epochokra osztottuk, és ezeket használtuk fel az elemzésekben. A reakcióidőt (RT) a feladatban jelen lévő háromféle ingertípusra számoltuk ki: a magasan gyakori szekvenciaingerekre, a magasan gyakori random ingerekre és az alacsonyán gyakori random ingerekre. A tanulás vizsgálatára vegyes varianciaanalízist (ANOVA) használtunk. A statisztikai információk elsajátításának vizsgálata során a vegyes ANOVA-ban a személyen belüli változó a GYAKORISÁG (magasan gyakori random vs. alacsonyán gyakori random ingerek) és az EPOCH (1-4), míg a személyek közötti változó a CSOPORT (TS vs. TF) volt. A sorrendi információk elsajátításának vizsgálata során a vegyes ANOVA-ban a személyen belüli változó a SORREND (magasan gyakori szekvencia vs. magasan gyakori random ingerek) és az EPOCH (1-4), míg a személyek közötti változó a CSOPORT (TS vs. TF) volt.

Eredmények

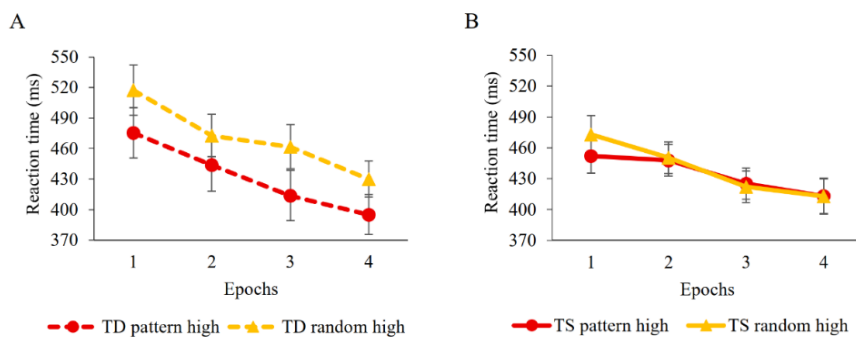
Az elemzések alapján a statisztikai tanulás lefutása különbözött a csoportok között (GYAKORISÁG \times EPOCH \times CSOPORT interakció, $F(3, 120) = 2,96$; $p = 0,035$; $\eta^2_p = 0,07$; 2.1. ábra). Az utóelemzések alapján az első epochban volt különbség a csoportok között: A TS csoport jobb tanulást mutatott, mint a TF csoport (TS: $M = 27,38$ ms; $SD = 31,45$ ms; TD: $M =$

-0,79 ms; $SD = 28,91$ ms; $p = 0,004$). A további epochokban nem volt különbség a csoportok között (minden $p > 0,203$).



2.1 ábra. Statisztikai tanulás a TF (A) és TS (B) csoportokban. A szaggatott vonalak a TF csoportot, a folytonos vonalak a TS csoportot jelölik. A kék vonalak négyzet szimbólummal az alacsonyan gyakori random ingerekre mutatott reakcióidőt, míg a sárga vonalak háromszög szimbólummal a magasan gyakori random ingerekre mutatott reakcióidőt jelölik. A statisztikai tanulás mértékét a kék és sárga vonalak közötti távolság jelöli. A hibásávok a standard hibát jelölik.

A sorrendi információk elsajátítása is különbözött a csoportok között (SORREND*CSOPORT interakció, $F(1, 40) = 4,93$; $p = 0,032$; $\eta^2_p = 0,11$), a TF csoport elsajátította a sorrendi információkat, míg a TS csoport nem differenciált a magasan gyakori szekvencia és a magasan gyakori random ingerek között, hasonló reakcióidőt mutatott a kétféle ingerre (TD: $M = 38,46$ ms; $SD = 66,11$ ms; TS: $M = 5,04$ ms; $SD = 19,71$ ms, 2.2. ábra).



2.2. ábra. Szekvenciatanulás a TF (A) és TS (B) csoportokban. A szaggatott vonalak a TF csoportot, a folytonos vonalak a TS csoportot jelölik. A piros vonalak kör szimbólummal a magasan gyakori szekvencia ingerekre mutatott reakcióidőt, míg a sárga vonalak háromszög szimbólummal a magasan gyakori random ingerekre mutatott reakcióidőt jelölik. A szekvenciatanulás mértékét a piros és sárga vonalak közötti távolság jelöli. A hibásávok a standard hibát jelölik.

Diszkusszió

A TS-sel élő gyerekek fokozott érzékenységet mutattak a statisztikai információkra a tipikusan fejlődő kortársaikhoz képest. Ez az eredmény összhangban van a korábbi tanulmányokkal, amelyek a procedurális tanulást és memóriát érintő feladatoknál gyorsabb feldolgozást mutattak ki (Dye et al., 2016; Shephard et al., 2019; Takács et al., 2018; Walenski et al., 2007). Jelen tanulmányban a statisztikai információkra való fokozott érzékenység a feladat elején volt kifejezettebb. A tanulási görbe meredeksége érzékeny mutatója annak, hogy egy adott csoportban hogyan történik a tanulás (Barnes, Howard, Howard, Kenealy, & Vaidya, 2010). A neurotipikus populációkon végzett korábbi vizsgálatok azt mutatták, hogy a statisztikai tanulás korán elér egy platót, tehát a statisztikai információ gyorsan elsajátítható, majd stabil marad (Kóbor et al., 2018; Simor et al., 2019). Eredményeink ugyanezt a mintázatot mutatták mindkét csoportban, azonban a TS csoportban ez gyorsabban történt, mint a TF csoportban. Emellett rosszabb sorrendi tanulást találtunk TS-ben. Hasonló eredményeket találtak a motoros tanúlással kapcsolatos tanulmányok TS-ben (Avanzino et al., 2011; Palminteri et al., 2011;

Stebbins et al., 1995). Jelen tanulmány további bizonyítékot szolgáltat a procedurális memória multifaktoriális jellegére, hiszen a kétféle szabályszerűség között disszociációt találtunk. Lehetséges, hogy a kétféle szabályszerűség elsajátítása versengő kapcsolatban áll egymással TS-ben, azonban további vizsgálatok szükségesek ennek alátámasztására.

III. 2. tanulmány: A procedurális emlékekhez való hozzáférés egy év után: bizonyíték robusztus memóriakonzolidációra Tourette szindrómában

Publikáció: Tóth-Fáber, E., Tárnok, Z., Takács, Á., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2021). Access to procedural memories after one year: evidence for robust memory consolidation in Tourette syndrome. *Frontiers in Human Neuroscience*, 458. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.715254>

Elméleti bevezető

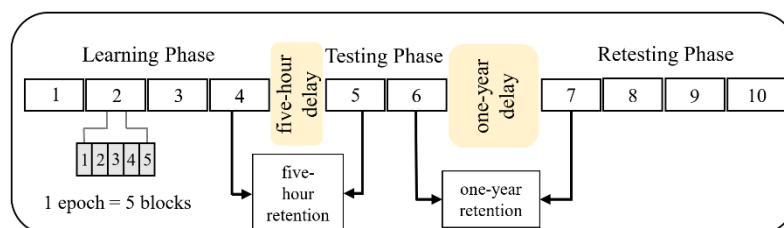
A korábbi tanulmányok alapján, amelyek TS-ben fokozott procedurális tanulást mutattak (Dye et al., 2016; Shephard et al., 2019; Takács et al., 2018; Tóth-Fáber, Tárnok, et al., 2021), egy fontos kérdés merül fel: vajon a procedurális hiperfunkcionalitás tartós változásokhoz vezet? Az információfeldolgozás nem áll meg a tanulási fázis végén, és a tanult információk hosszútávú előhívása az emléknymok stabilizálódásán, vagyis a konszolidáción alapszik (McGaugh, 2000; Walker, 2005). Egyelőre kevés információ áll rendelkezésünkre a procedurális emléknymok konszolidációjáról TS-ben. Ebben a tanulmányban erre a kérdésre koncentráltunk és megvizsgáltuk, hogy robusztus-e a statisztikai és sorrendi információk konszolidációja rövidtávú (ötórás) és hosszútávú (egyéves) késleltetés esetén TS-sel élő gyerekeknek.

Módszerek

Részvevők – A vizsgálatban 20 TS-sel diagnosztizált 10 és 15 év közötti gyermek vett részt. Egy résztvevő kizárásra került az elemzésekből, mivel konzisztensen extrém alacsony pontosságot mutatott a procedurális memória feladaton (Tukey, 1977). A végleges TS minta 19 gyermekből állt (16 fiú és három lány, $M_{kor} = 11,95$ év; $SD_{kor} = 1,27$ év). Három gyermek rendelkezett komorbid ADHD diagnózissal, egy gyermek pedig komorbid ADHD és OCD diagnózissal. Három gyermek állt gyógyszeres kezelés alatt. A TS csoport egy almintáját vizsgáltuk az 1. tanulmányban (81%-os átfedés a két minta között), azonban új kontroll csoportot toboroztunk ehhez a tanulmányhoz, ugyanis az 1. tanulmány kontroll csoportját logisztikai okok miatt nem tudtuk visszahívni az egy évvel későbbi vizsgálatra.

Hetvennyolc tipikusan fejlődő (TF) gyermeket toboroztunk helyi iskolákból. Ebből a mintából kiválasztottunk 19 gyermeket, és egyesével illesztettük őket a TS résztvevőkhöz életkor és nem alapján (16 fiú és három lány, $M_{kor} = 11,79$ év; $SD_{kor} = 1,48$ év). A párok között maximum hat hónap eltérés lehetett életkorban. A TF csoportban senki nem rendelkezett pszichiátriai, neurológiai vagy fejlődési zavarral a szülői beszámolóik alapján.

Feladatok – A statisztikai és sorrendi információk elsajátítását és konszolidációját az Alternáló Szeriális Reakcióidő (ASRT) feladattal mértük (Howard & Howard, 1997; Nemeth, Janacsek, & Fiser, 2013). A tik tünetsúlyosságot a TS csoportban a Yale Globális Tik Tünetsúlyosság Skálával (Leckman et al., 1989), mértük, amely a tikek számát, gyakoriságát, komplexitását, intenzitását és interferenciáját értékeli a vizsgálat előtti egy hétben.



3.1. ábra. Kísérleti design. A vizsgálat három részből állt. A Tanulási Fázis és a Tesztelési Fázis ugyanazon a napon történt, 5 óra késleltetéssel. A Tanulási Fázis négy epochot foglalt magába (egy epoch öt blokkból áll, blokkonként 85 ingerrel), a Tesztelési Fázis pedig két epochot. A 4 epoch hosszú Újratesztelési Fázis körülbelül 1 évvel később került felvételre. Az ábra Kóbor, Janacsek, Takács, and Nemeth (2017) tanulmányából került adaptálásra.

Eljárás – A vizsgálat három ülésből állt. Az első két ülés ugyanazon a napon zajlott, közöttük öt óra késleltetéssel. A harmadik ülés körülbelül egy évvel később történt ($M_{\text{késleltetés}} = 53,78$ hét; $SD_{\text{késleltetés}} = 3,11$ hét; 47,95 és 60,57 hét között). A résztvevők megoldották az ASRT feladatot mindhárom alkalommal. Az első tesztelési nap végén nem tájékoztattuk őket arról, hogy egy évvel később is meg fogják oldani az ASRT feladatot. A kísérleti design a 3.1. ábrán látható.

Adatelemzés – Az ASRT feladat blokkokban került prezentálásra. A statisztikai elemzések során a blokkokat epochokra osztottuk, mindegyik epoch öt blokkot tartalmazott. A reakcióidőt (RT) a feladatban jelen lévő háromféle ingertípusra számoltuk ki: a magasan gyakori szekvenciaingerekre, a magasan gyakori random ingerekre és az alacsonyan gyakori random ingerekre. Ezeket felhasználva tanulási/emlékezeti mutatókat számoltunk. A statisztikai információk elsajátítását az RT-ben mutatott különbség jelöli a magasan gyakori random és alacsonyan gyakori random ingerek között. A sorrendi információk elsajátítását az RT-ben mutatott különbség jelöli a magasan gyakori szekvencia és a magasan gyakori random ingerek között. A magasabb érték jobb tanulást jelent. Továbbá egy offline változási mutatót is számoltunk, külön a kétféle szabályszerűsége. A rövidtávú offline változás kvantifikálásához kivontuk a 4. epochban mutatott emlékezeti teljesítményt az 5. epochban mutatott emlékezeti teljesítményből, a hosszútávú offline változás kvantifikálásához pedig a 6. epochban mutatott emlékezeti teljesítményt vontunk ki a 7. epochban mutatott emlékezeti teljesítményből. Mindkét esetben a negatív szám felejtést, a pozitív szám pedig offline tanulást jelent. A tanulás és a konszolidáció tesztelésére vegyes ANOVA-t és páros mintás t-próbákat végeztünk, külön a statisztikai és sorrendi információkra. A frekventista elemzések mellett Bayesiánus statisztikát is alkalmaztunk.

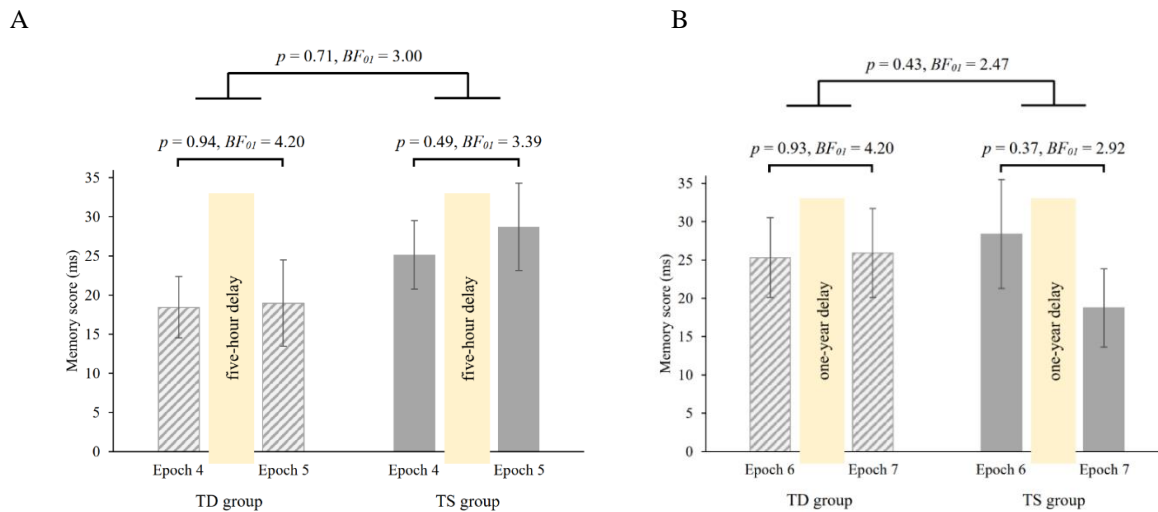
Eredmények

A memóriakonzolidáció vizsgálatának előfeltétele – A konszolidáció vizsgálatának előfeltétele a szignifikáns tanulás az offline periódus előtt (Kóbor et al., 2017; Robertson, 2009). Ez alapján elsőnek azt vizsgáltuk, hogy történt-e szignifikáns statisztikai és sorrendi tanulás a csoportokban. A statisztikai információkat tekintve sikeres tanulást láttunk mindkét csoportban, ami lehetővé teszi a rövid- és hosszútávú konszolidáció vizsgálatát. A sorrendi információkat tekintve azt találtuk, hogy a résztvevők nem sajátították el sikeresen ezt a szabályszerűséget, ezért jelen tanulmány keretében a sorrendi információk konszolidációját nem tudtuk vizsgálni.

A statisztikai információk rövidtávú (ötórás) konszolidációja – A statisztikai információk ötórás konszolidációjának vizsgálatához egy vegyes ANOVA-t használtunk az RT adatokon. A személyek közötti változó a CSOPORT (TS vs. TF), a személyek belüli változók pedig GYAKORISÁG (magasan gyakori random vs. alacsonyan gyakori random) és az EPOCH (4 vs. 5) voltak. Az elemzések azt mutatták, hogy az emlékezeti teljesítmény nem változott az offline periódus alatt (GYAKORISÁG \times EPOCH interakció, $F(1, 36) = 0,25$; $p = 0,62$; $BF_{01} = 5,08$), az emlékezeti teljesítmény hasonló volt a 4. ($M = 21,80$ ms) és az 5. epochban ($M = 23,86$ ms). A TS és a kontroll csoport nem mutatott különbséget az előhívásban (CSOPORT \times GYAKORISÁG \times EPOCH interakció, $F(1, 36) = 0,14$; $p = 0,71$; 3.2.A. ábra; Bayesiánus független mintás t-próba a rövidtávú offline változás mutatón, $BF_{01} = 3,004$; rövidtávú offline változás mutató: $M_{TS} = 3,58$ ms; $M_{TD} = 0,53$ ms).

A statisztikai információk hosszútávú (egyéves) konszolidációja – A statisztikai információk egyéves konszolidációjának vizsgálatához egy vegyes ANOVA-t használtunk az RT adatokon. A személyek közötti változó a CSOPORT (TS vs. TF), a személyek belüli változók pedig GYAKORISÁG (magasan gyakori random vs. alacsonyan gyakori random) és az EPOCH (6 vs. 7) voltak. Az elemzések azt mutatták, hogy az emlékezeti teljesítmény nem változott az offline periódus alatt (GYAKORISÁG \times EPOCH interakció, $F(1, 36) = 0,496$; $p = 0,49$; $BF_{01} = 4,53$), az emlékezeti teljesítmény hasonló volt a 6. ($M = 26,85$ ms) és a 7. epochban ($M =$

22,34 ms). A TS és a kontroll csoport nem mutatott különbséget az előhívásban (CSOPORT \times GYAKORISÁG \times EPOCH interakció, $F(1, 36) = 0,64$; $p = 0,43$; 3.2.B. ábra; Bayesiánus független mintás t-próba a hosszútávú offline változás mutatón, $BF_{01} = 2,47$; hosszútávú offline változás mutató: $M_{TS} = -9,63$ ms; $M_{TD} = 0,61$ ms).



3.2. ábra. A statisztikai információk ötórás (A) és egyéves (B) előhívása a TF és a TS csoportokban. Az öt órás előhívás vizsgálatánál a Tanulási Fázis utolsó epochja (4. epoch) és a Tesztelési Fázis első epochja (5. epoch) kerültek összehasonlításra. Az egy éves előhívás vizsgálatánál a Tesztelési Fázis utolsó epochja (6. epoch) és az Újratesztelési Fázis első epochja (7. epoch) kerültek összehasonlításra. A hibásávok a standard hibát jelölik.

A titek súlyosságának és a statisztikai információk konszolidációjának kapcsolata – A TS csoportban felmértük a tünetsúlyosságot az első tesztelési napon és egy évvel később is, a második tesztelési napon. Sem a tünetsúlyosság az első tesztelési napon, sem az egy év alatti változás mértéke nem korrelált az emlékezeti teljesítménnyel.

Diszkusszió

Jelen tanulmány kimutatta a statisztikai információk sikeres megtartását: a résztvevők megtanulták a statisztikai információkat, majd öt órával és egy évvel később is sikeresen előhívták az elsajátított tudást. A TS-sel élő gyerekek és az illesztett tipikusan fejlődő kontroll csoport hasonló előhívást mutatott. Az eredményeket Bayesiánus statisztika is megerősítette. Az eredmények összhangban vannak egy korábbi kutatás eredményeivel (Takács et al., 2018), ahol a statisztikai információk intakt előhívását találták TS-sel élőknél. Jelen tanulmány replikálja és ki is terjeszti ezt a korábbi eredményt: (1) a rövidtávú (ötórás) késleltetés e tanulmány eredményei alapján is sikeres, továbbá (2) a statisztikai információk egyéves előhívása is intakt TS-ben. A sorrendi információkat tekintve nem teljesült a memóriakonszolidáció vizsgálatának előfeltétele, vagyis a sikeres tanulás, ezért ezeknek az információknak a konszolidációját nem tudtuk jelen tanulmány keretében vizsgálni.

A procedurális emléknymok hosszútávú stabilitásának oktatási, hétköznapi implikációi is lehetnek. A procedurális memória szerepet játszik a kognitív, motoros és szociális készségek elsajátításában, úgy mint a nyelvtanulás vagy a sportolás (Frith & Frith, 2012; Kaufman et al., 2010), továbbá a szokásokhoz is köthető (Goodman et al., 2014; Takacs, Münchau, Nemeth, Roessner, & Beste, 2021). Az eredményeink alapján a TS-sel élő gyerekek stabil memóriareprezentációkkal rendelkeznek procedurális tudás esetében egy év múlva is, gyakorlás nélküli késleltetés esetén, és a teljesítményük hasonló a tipikusan fejlődő gyerekekéhez. A mindennapokban a következőképpen nyilvánulhat ez meg: a TS-sel élők jobbak lehetnek az új készségek elsajátításában, ahogy azt korábbi kutatások (Takács et al., 2018) és az 1. tanulmány mutatta, és sikeresek a készségek fenntartásában és előhívásában, ahogy jelen tanulmány mutatta.

IV. 3. tanulmány: A statisztikai tanulás és a szekvenciatanulás maradandó emléknymokhoz vezet gyerekkorban egy éves késleltetést követően

Publikáció: Tóth-Fáber, E., Janacsek, K. & Nemeth, D. (2021). Statistical and sequence learning lead to persistent memory in children after a one-year offline period. *Scientific Reports*, 11, 12418. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90560-5>

Elméleti bevezető

Számos tanulmány vizsgálta a különböző szabályszerűségek és készségek konszolidációját egy, négy, 12, 16 és 24 órás vagy egy hetes késleltetést alkalmazva (Arciuli & Simpson, 2012; Fanuel et al., 2020; Meier & Cock, 2014; Nemeth & Janacsek, 2011; Nemeth et al., 2010; Press, Casement, Pascual-Leone, & Robertson, 2005; Simor et al., 2019; Song et al., 2007b; Walker, Brakefield, Hobson, & Stickgold, 2003). A hétköznapi tapasztalatok azt mutatják, hogy az elsajátított szabályszerűségek és készségek reprezentációja hosszabb ideig (hónapok vagy évek) is tartósan fennmarad, azonban ezt ritkán tesztelték empirikusan, különösen fejlődés szempontjából. Csak kevés tanulmány vizsgálta a hónapos vagy éves hosszúságú offline időszakok hatását: két tanulmány a szabályszerűségek tartós reprezentációját mutatta ki egyéves offline időszak után neurotipikus felnőtteknél (Kóbor et al., 2017; Romano, Howard, & Howard, 2010). Jelen tanulmányban kétféle szabályszerűség, azaz a statisztikai és sorrendi információk hosszútávú (egyéves) konszolidációját vizsgáljuk 9 és 15 év közötti gyermekeknél.

Módszer

Résztevők – A vizsgálatban 78, 9 és 15 év közötti gyermek vett részt. Nyolc résztvevő kizárásra került az elemzésekből technikai okok miatt. A végleges minta így 70 főből állt ($M_{életkor} = 11,99$ év; $SD_{életkor} = 1,61$ év; 37 fiú és 33 lány). Egyik résztvevő sem rendelkezett neurológiai, pszichiátriai vagy fejlődési zavarral a szülői beszámolók szerint.

Feladat – A statisztikai és sorrendi információk elsajátításának mérésére az Alternáló Szeriális Reakcióidő (ASRT) feladat cued változatát használtuk (Howard & Howard, 1997; Nemeth, Janacsek, & Fiser, 2013).

Eljárás – A vizsgálat három ülésből állt. Az első két ülés ugyanazon a napon zajlott, közöttük öt óra késleltetéssel. A harmadik ülés körülbelül egy évvel később történt ($M_{késleltetés} = 53,08$ hét; $SD_{késleltetés} = 2,39$ hét; 47,95 és 60,24 hét között). A résztvevők megoldották az ASRT feladatot mindhárom alkalommal. Az első tesztelési nap végén nem tájékoztattuk őket arról, hogy egy évvel később is meg fogják oldani az ASRT feladatot.

Statisztikai elemzés – Az ASRT feladat blokkokban került prezentálásra. A statisztikai elemzések során a blokkokat epochokra osztottuk, mindegyik epoch öt blokkot tartalmazott. A reakcióidőt (RT) a feladatban jelen lévő háromféle ingertípusra számoltuk ki: a magasan gyakori szekvenciaingerekre, a magasan gyakori random ingerekre és az alacsonyan gyakori random ingerekre. Ezeket felhasználva tanulási/émlékezeti mutatókat számoltunk. Annak érdekében, hogy kontrolláljunk az életkorhoz kapcsolódó alap RT különbségekre, standardizáltuk az RT adatokat. Mindegyik résztvevőnél a nyers RT adatokat ingertípusonként és epochonként leosztottuk az első epochban mutatott átlagos teljesítménnyel, vagyis az ingertípustól független alap RT-vel (Horvath, Torok, Pesthy, Nemeth, & Janacsek, 2020; Nitsche et al., 2003). Az elemzéseket a standardizált RT adatokon végeztük. A statisztikai információk elsajátítását a standardizált RT-ben mutatott különbség jelöli a magasan gyakori random és alacsonyan gyakori random ingerek között. A sorrendi információk elsajátítását a standardizált RT-ben mutatott különbség jelöli a magasan gyakori szekvencia és a magasan gyakori random ingerek között. A magasabb érték jobb tanulást indikál. Továbbá a hosszútávú offline változás kvantifikálásához kivontuk a 6. epochban mutatott emlékezeti teljesítményt a 7. epochban mutatott emlékezeti teljesítményből. A negatív szám felejtést, a pozitív szám pedig offline tanulást jelent. A tanulás és a konszolidáció tesztelésére vegyes ANOVA-t és páros

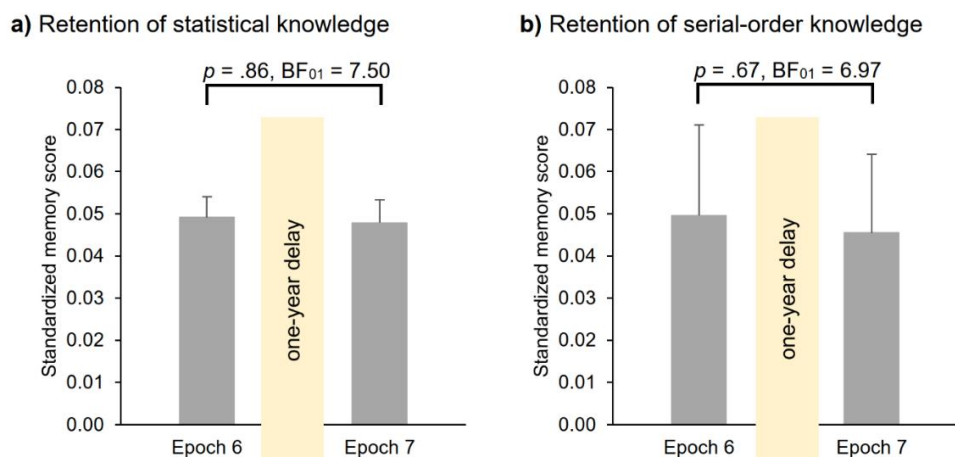
mintás t-próbákat végeztünk, külön a statisztikai és sorrendi információkra. A frekventista elemzések mellett Bayesiánus statisztikát is alkalmaztunk.

Eredmények

A memóriakonzolidáció vizsgálatának előfeltétele – Annak érdekében, hogy vizsgálni tudjuk a memóriakonzolidációt, szignifikáns tanuláshoz kell történnie az offline periódus előtt. Mind a statisztikai, mind a sorrendi információkat tekintve szignifikáns tanulást találtunk.

Siker az előhívás egyéves offline periódust követően? – A statisztikai információk egyéves konzolidációjának teszteléséhez ismételt méréses ANOVA-t használtunk, amelyben a GYAKORISÁG (magasan gyakori random vs. alacsonyan gyakori random) és az EPOCH (6 vs. 7) voltak a személyen belüli változók. Az eredmények alapján sikeres volt az előhívás az egyéves késleltetést követően (GYAKORISÁG \times EPOCH interakció, $F(1, 69) = 0,03$; $p = 0,86$; $BF_{01} = 7,50$; 4.1.A. ábra), hasonló volt az emlékezeti teljesítmény a 6. ($M = 0,049$) és a 7. epochokban ($M = 0,048$).

A sorrendi információk egyéves konzolidációjának teszteléséhez szintén ismételt méréses ANOVA-t alkalmaztunk, amelyben a SORREND (magasan gyakori szekvencia vs. magasan gyakori random) és az EPOCH (6 vs. 7) voltak a személyen belüli változók. Az eredmények alapján sikeres volt az előhívás az egyéves késleltetést követően (SORREND \times EPOCH interakció, $F(1, 69) = 0,18$; $p = 0,67$; $BF_{01} = 6,97$; 4.1.B. ábra), hasonló volt az emlékezeti teljesítmény a Tesztelési és az Újratesztelési Fázisokban (6. epoch: $M = 0,05$; 7. epoch: $M = 0,045$).



4.1. ábra. A statisztikai (A) és sorrendi (B) információk előhívása. A standardizált RT-vel mért emlékezeti teljesítményt a Tesztelési Fázis utolsó epochjában (6. epoch) és az Újratesztelési Fázis első epochjában (7. epoch) hasonlítottuk össze. A hibásávok a standard hibát jelölik.

Befolyásolja-e az életkor a statisztikai és sorrendi információk egyéves megtartását? – Annak érdekében, hogy feltérképezzük a lehetséges kapcsolatot az életkor és a konzolidáció között, Pearson-féle korrelációt végeztünk az offline változási mutató és az életkor között. Nem találtunk szignifikáns korrelációt (statisztikai információk: $r(68) = 0,06$; $p = 0,62$; $BF_{01} = 5,92$; sorrendi információk: $r(67) = -0,06$; $p = 0,62$; $BF_{01} = 5,91$).

Diszkusszió

Jelen tanulmány kimutatta, hogy mind a statisztikai, mind a sorrendi információk megtartása sikeres egyéves offline periódust követően tipikus fejlődésben; a résztvevők sikeresen elsajátították és stabilizálták a szabályszerűségeket, és az elsajátított tudás ellenállt a felejtésnek. Az eredményeket Bayesiánus statisztika is alátámasztotta. A vizsgálatunk eredményei egybevágóak korábbi, neurotipikus felnőtteken végzett vizsgálatok eredményeivel (Kóbor et al., 2017; Romano et al., 2010), így indirekt bizonyítékkal szolgálnak arra, hogy a procedurális memóriakonzolidáció életkorfüggetlen lehet. A korreláció hiánya az előhívás sikeressége és az életkor között szintén ebbe az irányba mutat.

V. 4. tanulmány: A memóriakonzolidáció független az életkortól: bizonyíték a procedurális memória területéről

Publikáció: Tóth-Fáber, E., Nemeth, D. & Janacsek, K. (2023). Lifespan developmental invariance in memory consolidation: evidence from procedural memory. *PNAS Nexus*, pgad037. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad037>

Elméleti bevezető

A statisztikai tanulás fejlődési görbéjének leírására több modell is született (Zwart et al., 2019), és a tanulás hatékonysága valószínűleg változik az életkor előrehaladtával (Janacsek et al., 2012; Lukács & Kemény, 2015). Annak ellenére, hogy számos kutatás vizsgálta már a statisztikai tanulás fejlődési görbéjét, az ilyen tudás *konzolidációja* nem kapott sok figyelmet. A statisztikai tanulás életkorfüggő változásai felvetik a kérdést, hogy vajon elvárható-e, hogy az ilyen tudás konzolidációja is életkorfüggő legyen.

A statisztikai tanulás mellett jelen kutatásban az általános készségtanulást is vizsgáltuk, amely a gyakorlásból fakadó vizuo-motoros koordináció fokozatos fejlődését jelenti a feladat alatt, a résztvevők gyorsabban reagálnak az ingerekre (a szabályszerűségektől függetlenül), ahogy a feladat halad előre (Hallgato, Györi-Dani, Pekár, Janacsek, & Nemeth, 2013; Juhasz, Nemeth, & Janacsek, 2019).

Legjobb tudomásunk szerint egyetlen tanulmány sem vizsgálta a statisztikai és/vagy az általános készségtanulás által elsajátított tudás konzolidációját az egész életút során ugyanazzal a kísérleti designnal. Jelen tanulmány ezt a rést tölti be: 7 és 76 év közötti résztvevőkön vizsgáljuk a statisztikai és az általános készségtanulás konzolidációját.

Módszer

Résztvevők – A végleges minta 255, 7 és 76 év közötti résztvevőből állt (5.1. táblázat). A résztvevők egyike sem rendelkezett neurológiai, pszichiátriai vagy fejlődési zavarral.

5.1. táblázat. Demográfiai adatok (életkor és nemi eloszlás) a 9 életkori csoportban.

Életkori csoport	Életkor	Nem
7-8 évesek (n=26)	7,92 (0,27)	13 F / 13 N
9-10 évesek (n=28)	9,79 (0,42)	13 F / 15 N
11-13 évesek (n=30)	12,10 (0,61)	13 F / 17 N
14-15 évesek (n=30)	14,55 (0,57)	13 F / 17 N
16-17 évesek (n=30)	16,56 (0,54)	13 F / 17 N
18-29 évesek (n=30)	21,64 (2,93)	12 F / 18 N
30-44 évesek (n=30)	36,67 (3,81)	12 F / 18 N
45-60 évesek (n=26)	51,65 (4,46)	6 F / 20 N
61-76 évesek (n=25)	65,28 (4,47)	5 F / 20 N

Feladatok – A statisztikai tanulás és konzolidáció mérésére az Alternáló Szeriális Reakcióidő (ASRT) feladat eredeti változatát használtuk (Howard & Howard, 1997). Az ASRT feladat használata lehetővé teszi, hogy a statisztikai tanulást és az általános készségtanulást elkülönítsük. A statisztikai tanulást úgy határozzuk meg, mint gyorsabb és pontosabb válaszok a magasan gyakori ingerekre az alacsony gyakoriságúakhoz képest (Howard & Howard, 1997). Az általános készségtanulást pedig az ingertípusoktól független reakcióidő (RT) gyorsulás és pontosságban való változás mutatja. Ezek a javulások a hatékonyabb vizuo-motoros és motoros koordinációt jelölik, amely a gyakorlás hatására jön létre (Hallgato et al., 2013; Juhasz et al., 2019).

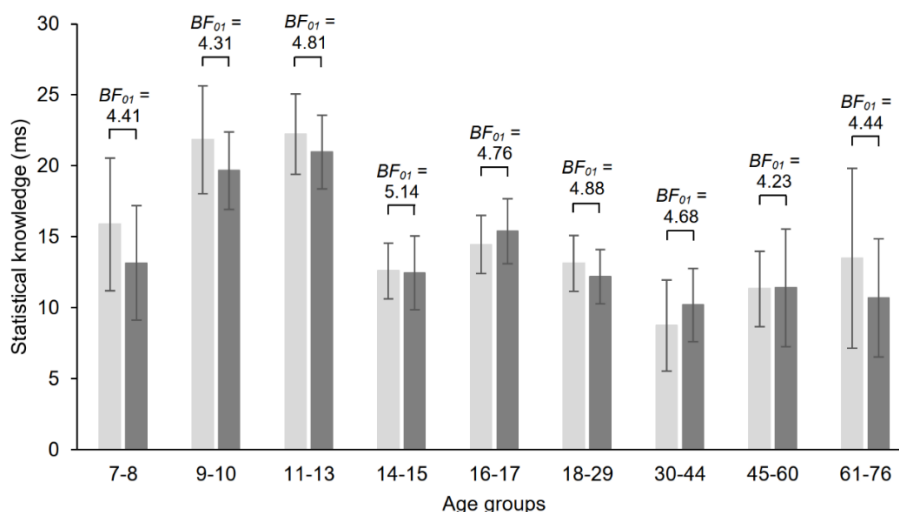
Eljárás – Az ASRT feladat blokkokban került prezentálásra. Egy blokk 85 ingerből állt, mindegyik blokk öt random gyakorlási ingerrel kezdődött, amit aztán egy nyolcelemű

szekvencia követett tíz alkalommal. Az ASRT feladatot kétszer oldották meg a résztvevők, a két ülés között 24 óra telt el.

Statisztikai eljárás – Az adatelemzés során a blokkokat epochokká vontunk össze, egy epoch öt darab blokkot tartalmazott. A Tanulási Fázis négy epochból állt, a Tesztelési Fázis pedig egy epochból. A helyes válaszokra mutatott medián RT kiszámításra került minden résztvevőnek, külön a négy epochra és a kétféle ingertípusra (magasan gyakori és alacsony gyakoriságú ingerek). A statisztikai tanulás mutatójának kiszámítása során a magas gyakoriságú ingerekre mutatott RT-t kivontuk az alacsony gyakoriságú ingerekre mutatott RT-ből, így a magasabb érték jobb tanulást és emlékezeti teljesítményt jelöl. Az általános készségtanulást a medián RT-k csökkenéseként határoztuk meg (azaz a résztvevők gyorsabbak lettek a feladat előrehaladtával), az ingertípusoktól függetlenül. A medián RT-k kiszámításra kerültek külön az összes epochban. Mivel a gyermekek és az idősebb felnőttek jellemzően lassabb általános reakcióidőt mutatnak (Juhász et al., 2019), ezért a nyers RT-k mellett standardizált RT adatokat is elemeztünk. Kétféleképpen standardizáltuk az adatokat: (1) aránymutatót és (2) log-transzformált adatokat használtunk. Az aránymutatóhoz mindegyik résztvevőnél a nyers RT adatokat ingertípusonként és epochonként leosztottuk az első epochban mutatott átlagos teljesítménnyel, vagyis az alap, ingertípustól független RT-vel (Horvath et al., 2020; Juhász et al., 2019; Nitsche et al., 2003; Tóth-Fáber, Janacsek, & Németh, 2021). Ezután standardizált tanulási és emlékezeti mutatókat hoztunk létre úgy, hogy kivontuk a magasan gyakori ingerekre mutatott standardizált RT adatot az alacsony gyakoriságú ingerekre mutatott standardizált RT adatokból. A magasabb érték így jobb tanulást és emlékezeti teljesítményt jelent. Az általános készségtanulás ugyanilyen módon lett standardizálva. A log-transzformált adatoknál először logN transzformációt alkalmaztunk az ingerszintű nyers RT adatokra, majd átlagoltuk az értékeket külön a kétféle ingertípusra és külön az epochokra, mindegyik résztvevőnél. A frekventista elemzések mellett Bayesiánus statisztikát is alkalmaztunk.

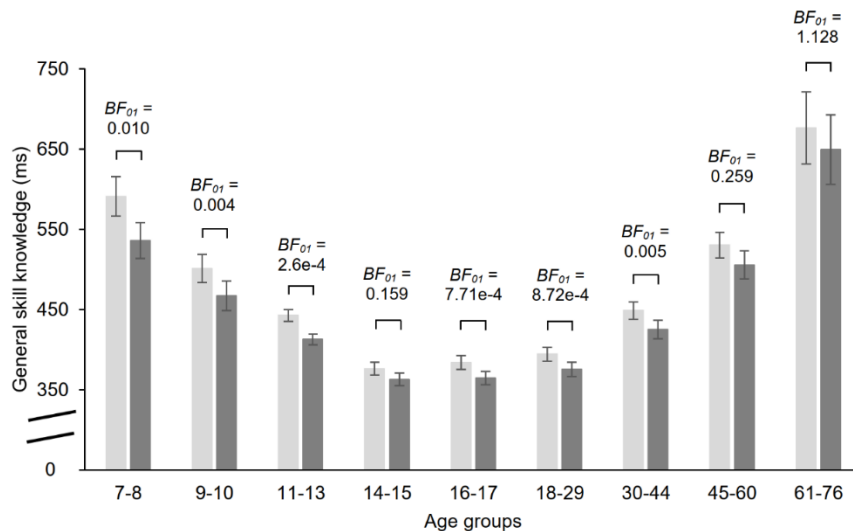
Eredmények

Vannak-e életkorhoz kötött különbségek a statisztikai tudás konszolidációjában? – Az elsajátított statisztikai tudás 24 órás konszolidációjának tesztelésére vegyes ANOVA-t alkalmaztunk, amelyben összehasonlítottuk a teljesítményt a Tanulási Fázis végén (4. epoch) a Tesztelési Fázisban (5. epoch) mutatott teljesítménnyel. A személyen belüli változó így az EPOCH (4 vs. 5) volt, a személyek közötti változó pedig az ÉLETKORI CSOPORT. Az eredmények alapján szignifikáns volt a statisztikai tanulás (INTERCEPT főhatás: $F(1, 246) = 309,24$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,56$) és különbség volt a teljesítményben a csoportok között, epochtól függetlenül (ÉLETKORI CSOPORT főhatás: $F(8, 246) = 2,91$; $p = 0,004$; $\eta_p^2 = 0,09$). Fontos azonban, hogy a statisztikai tudás 24 órás offline periódus után sikeresen előhívható volt, nem történt változás a teljesítményben a Tanulási Fázis végétől a Tesztelési Fázisig (EPOCH főhatás: $F(1, 246) = 0,39$; $p = 0,53$; $\eta_p^2 = 0,002$). Továbbá nem találtunk különbséget az életkori csoportok között az emlékezeti teljesítményben (EPOCH \times ÉLETKORI CSOPORT interakció: $F(8, 246) = 0,14$; $p = 0,997$; $\eta_p^2 = 0,005$; minden $p > 0,52$; 5.1. ábra), ami arra utal, hogy minden életkori csoport sikeresen előhívta az elsajátított tudást a 24 órás késleltetési periódus után. A Bayesiánus vegyes ANOVA eredményei megerősítették a frekventista ANOVA eredményeit, továbbá a standardizált adatokon végzett frekventista és Bayesiánus elemzések is ugyanezeket az eredményeket mutatták.



5.1. ábra. A statisztikai tudás 24 órás konszolidációja az életkori csoportokban. A Tanulási Fázis utolsó epochjában (4. epoch, világosszürke oszlopok) mutatott teljesítményt hasonlítottuk össze a Tesztelési Fázisban mutatott teljesítménnyel (5. epoch, sötétszürke oszlopok). A BF_{01} értékek páros mintás t-próbák eredményei, amelyeket külön végeztünk el az egyes csoportokban. Mindegyik BF_{01} érték jelentős bizonyítékok mutat a nullhipotézisre ($BF_{01} > 3$), ami hasonló tudásról tanúskodik a 4. és 5. epochban az egyes korcsoportokban. A hibasávok a standard hibát jelölik.

Vannak-e életkorhoz köthető különbségek az általános készségtanulás során elsajátított tudás konszolidációjában? – Az általános készségtanulás során elsajátított tudás konszolidációjának tesztelésére vegyes ANOVA-t alkalmaztunk a medián RT adatokon. A személyen belüli változó az EPOCH (4. vs. 5.), a személyek közötti változó pedig az ÉLETKORI CSOPORT volt. Az eredmények alapján a medián RT csökkent a 24 órás késleltetés alatt (EPOCH főhatás: $F(1, 246) = 107,92$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,31$), a résztvevők gyorsabban reagáltak az ingerekre a Tesztelési Fázisban a Tanulási Fázis végéhez képest (szignifikáns gyorsulás mindegyik életkori csoportban: minden $p > 0,014$; kivétel a 14-15 éves csoportot, ahol a $p = 0,080$; 5.2. ábra). A gyorsulás mértéke nem volt egységes a csoportok között (EPOCH \times ÉLETKORI CSOPORT interakció, $F(8, 246) = 2,26$; $p = 0,02$; $\eta_p^2 = 0,07$). Az offline változási mutatón (4. epochban mutatott medián RT kivonva az 5. epochban mutatott medián RT-ből) végzett utóelemzések alapján a 7-8 éves csoport mutatta a legnagyobb mértékű gyorsulást, amely szignifikánsan eltért a többi csoport gyorsulásának mértékétől (minden $p < 0,026$; 7-8 vs. 9-10 éves csoport: $p = 0,068$). A többi életkori csoport offline változási mutatója nem tért el egymástól (minden $p > 0,062$). A Bayesiánus vegyes ANOVA alátámasztotta ezeket az eredményeket. Fontos azonban, hogy a standardizált RT adatokon végzett frekventista és Bayesiánus elemzések csak a minden életkori csoportot érintő gyorsulásra szolgáltatott bizonyítékot, a gyorsulás mértéke hasonló volt az életkori csoportokban. Ebből arra következtethetünk, hogy a nyers RT adatokon látott életkori csoportkülönbségeket a gyorsulás mértékében az alap RT eltérések okozhatták.



5.2. ábra. Az általános készségtanulás során elsajátított tudás 24 órás konszolidációja az életkori csoportokban. A Tanulási Fázis utolsó epochjában (4. epoch, világosszürke oszlopok) mutatott medián RT értékeket hasonlítottuk össze a Tesztelési Fázisban mutatott medián RT értékekkel (5. epoch, sötétszürke oszlopok). A BF_{01} értékek páros mintás t-próbák eredményei, amelyeket külön végeztünk el az egyes csoportokban. A 61-76 éves csoport kivételével mindegyik BF_{01} érték jelentős bizonyítékok mutat az alternatív hipotézisre ($BF_{01} < 0,33$), ami offline tanulásról tanúskodik. A BF_{01} a 61-76 éves csoportban nem támasztotta alá sem a null, sem az alternatív hipotézist. A hibásávok a standard hibát jelölik.

Diszkusszió

Jelen tanulmány a statisztikai és általános készségtanulás során elsajátított tudás 24 órás konszolidációját vizsgálta meg 7 és 76 év közötti résztvevőknél, ugyanazt a kísérleti design alkalmazva az összes életkori csoportban. A nyers RT adatokon végzett elemzések szerint mindegyik életkori csoport sikeresen előhívta a statisztikai tudást, és ezt az eredményt a standardizált adatokon végzett elemzések és a Bayesiánus elemzések is megerősítették. Ami az általános készségtanulást illeti, a nyers RT adatokon végzett elemzések offline tanulást mutattak a 24 órás késleltetés alatt, amelynek mértéke a 7-8 éves csoportban volt a legnagyobb. A standardizált RT adatokon végzett elemzések azonban egységes gyorsulást mutattak az életkori csoportokban, amit a Bayesiánus elemzések is megerősítettek.

Jelentős számú kutatás foglalkozott a különböző kognitív funkciók változásával az élet során. Számos kognitív funkció fejlődési görbéje fordított U alakú: ezek a funkciók gyermek- és serdülőkorban folyamatosan érnek, majd a fiatal felnőttkorban vagy felnőttkorban érik el csúcspontjukat, és az öregedés során hanyatlanak (Alloway & Alloway, 2013; Zelazo, Craik, & Booth, 2004). Egyes funkciók gyermekkorban tetőznek, és már serdülőkorban vagy fiatal felnőttkorban hanyatlani kezdenek (Janacek et al., 2012; Johnson & Newport, 1989; Juhasz et al., 2019), míg más funkciók időskorban is intaktak maradnak (Ikier, Yang, & Hasher, 2008). Úgy tűnik, hogy a statisztikai szabályszerűségek konszolidációja egy életkorfüggetlen trajektóriát követ: az elsajátított statisztikai tudás sikeresen előhívható 24 órás konszolidációt követően 7-től 76 éves korig. Az általános készségtanulás során elsajátított tudás konszolidációja szintén egy életkorfüggetlen trajektóriát követhet: az offline tanulás mértéke hasonló volt az életkori csoportokban. Mivel a legidősebb résztvevőnk 76 éves volt, a jövőbeli vizsgálatok további betekintést nyújthatnak abba, hogy az öregedés hogyan befolyásolja a konszolidációt, ha idősebb résztvevőknél is vizsgálják a konszolidációt.

VI. Általános diszkusszió

Az atipikus fejlődésre vonatkozó következtetések

Az 1. tanulmányban azt vizsgáltuk, hogy a procedurális memórián belül a statisztikai és a sorrendi szabályszerűségek érintettek-e TS-ben, és vajon hozzájárulhatnak-e a korábbi tanulmányok által felvetett procedurális hiperfunktionalitáshoz a zavarban (Dye et al., 2016; Shephard et al., 2019; Takács et al., 2018; Walenski et al., 2007). A statisztikai szabályszerűségeket illetően fokozott érzékenységet találtunk TS-ben: a TS-sel élő gyerekek gyorsabban kivonatolták ezeket a szabályszerűségeket tipikusan fejlődő kortársaikhoz képest. A sorrendi információk elsajátítása azonban sérült volt a TS csoportban: a TS-sel élők nem sajátították el ezeket a szabályszerűségeket, míg a tipikusan fejlődő kortársaik igen.

A 2. tanulmány célja a statisztikai és sorrendi szabályszerűségek rövid- (ötórás) és hosszútávú (egyéves) konszolidációjának vizsgálata volt TS-sel élő és tipikusan fejlődő gyerekeknél. A statisztikai információk esetében mindkét csoport sikeres előhívást mutatott. A sorrendi információk konszolidációja nem volt vizsgálható jelen kutatás keretében, ugyanis a TS-sel élők nem sajátították el ezeket a szabályszerűségeket.

A tipikus fejlődésre vonatkozó következtetések

A 3. és 4. tanulmány a procedurális memóriakonszolidáció életkorral járó lehetséges változásait vizsgálta tipikus fejlődésben. Az eredmények segíthetnek a procedurális memória konszolidációjában bekövetkező, életkorral összefüggő változások elméleti modelljének kidolgozásában. A 3. tanulmány a statisztikai és a sorrendi információk egyéves konszolidációját vizsgálta 9-15 éves gyermekekből és serdülőkből álló mintán. Mindkét szabályszerűséget tekintve sikeres előhívást találtunk: a résztvevők elsajátították a szabályszerűségeket, amelyek egy év késleltetés után is ellenálltak a felejtésnek. Eredményeink összhangban vannak azokkal a korábbi vizsgálatokkal, amelyek neurotipikus fiatal felnőtteknél sikeres egyéves konszolidációt találtak (Kóbor et al., 2017; Romano et al., 2010), ami arra utal, hogy az előhívás hasonló gyermek- és felnőttkorban tipikus fejlődésben. A korreláció hiánya az életkor és az előhívás sikeressége között szintén a fejlődési invariabilitás felé mutat. Azonban fontos megjegyezni, hogy a 3. tanulmány csak indirekt bizonyítékkal szolgál a procedurális memóriakonszolidáció életkorfüggőségére, ezért a 4. tanulmányban ugyanazt a kísérleti designt használva, több életkori csoportnál vizsgáltuk meg ezt a kérdést.

A 4. tanulmány célja a statisztikai és az általános készségtanulás során elsajátított tudás konszolidációjának tesztelése volt 24 órás késleltetéssel, 7 és 76 éves kor közötti résztvevőkön. A statisztikai tudást tekintve a nyers és standardizált RT adatok is megtartott tudást mutattak minden életkori csoportban, mind a frekventista, mind a Bayesiánus elemzések alapján. Az általános készségtanulás során elsajátított tudást tekintve a nyers RT adatokon végzett elemzések offline tanulást mutattak minden életkori csoportban, és a tanulás mértéke a 7-8 éveseknél magasabb volt, mint a többi életkori csoportban. A standardizált adatokon végzett elemzések azonban nem erősítették meg ezt az eredményt: az offline tanulás mértéke hasonló volt az életkori csoportokban. Ezt az eredményt Bayesiánus elemzések is megerősítették. A statisztikai tudás életkorfüggő konszolidációja összhangban van a 3. tanulmány eredményeivel és korábbi kutatásokkal, amelyek sikeres előhívást mutattak különböző hosszúságú offline periódusok után gyermekkortól időskorig (Arciuli & Simpson, 2012; Hedenius, Lum, & Bölte, 2021; Kóbor et al., 2017; Nemeth, Janacsek, Király, et al., 2013).

Általános következtetések

Összefoglalva a négy tanulmány eredményeit, arra a következtetésre juthatunk, hogy a fronto-striatális hálózatok változásai befolyásolhatják a tanulást, ahogy azt a korábbi életkorfüggő statisztikai tanulásra utaló eredmények (Janacsek et al., 2012) és a TS csoportban látható jobb tanulás (1. tanulmány) mutatja, míg az elsajátított tudás megtartását valószínűleg nem befolyásolják a fronto-striatális hálózatok változásai, hiszen a konszolidáció intakt TS-ben (2. tanulmány) és nem változik az életkorral (3. és 4. tanulmány).

VII. Irodalomjegyzék

- Albin, R., & Mink, J. W. (2006). Recent advances in Tourette syndrome research. *Trends in Neurosciences*, 29(3), 175-183.
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2013). Working memory across the lifespan: A cross-sectional approach. *Journal of Cognitive Psychology*, 25(1), 84-93.
- APA. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*: American Psychiatric Pub.
- Arciuli, J., & Simpson, I. C. (2012). Statistical learning is lasting and consistent over time. *Neuroscience Letters*, 517(2), 133-135.
- Avanzino, L., Martino, D., Bove, M., De Grandis, E., Tacchino, A., Pelosin, E., . . . Abbruzzese, G. J. M. D. (2011). Movement lateralization and bimanual coordination in children with Tourette syndrome. 26(11), 2114-2118.
- Barnes, K. A., Howard, J. H. J., Howard, D. V., Kenealy, L., & Vaidya, C. J. (2010). Two forms of implicit learning in childhood ADHD. *Developmental Neuropsychology*, 35(5), 494–505.
- Batterink, L. J., Paller, K. A., & Reber, P. J. (2019). Understanding the neural bases of implicit and statistical learning. *Topics in cognitive science*, 11(3), 482-503.
- Conceição, V. A., Dias, Â., Farinha, A. C., & Maia, T. V. (2017). Premonitory urges and tics in Tourette syndrome: computational mechanisms and neural correlates. *Current Opinion in Neurobiology*, 46, 187-199.
- Conway, C. M. (2020). How does the brain learn environmental structure? Ten core principles for understanding the neurocognitive mechanisms of statistical learning. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 112, 279-299.
- Delorme, C., Salvador, A., Valabregue, R., Roze, E., Palminteri, S., Vidailhet, M., . . . Worbe, Y. (2016). Enhanced habit formation in Gilles de la Tourette syndrome. *Brain*, 139(2), 605-615.
- Doyon, J., Bellec, P., Amsel, R., Penhune, V., Monchi, O., Carrier, J., . . . Benali, H. (2009). Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behavioral Brain Research*, 199(1), 61-75.
- Dye, C. D., Walenski, M., Mostofsky, S. H., & Ullman, M. T. (2016). A verbal strength in children with Tourette syndrome? Evidence from a non-word repetition task. *Brain and Language*, 160, 61-70.
- Fanuel, L., Pleche, C., Vekony, T., Quentin, R., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2020). The longer the better? General skill but not probabilistic learning improves with the duration of short rest periods. *bioRxiv*, 2020.2005.2012.090886. doi:10.1101/2020.05.12.090886
- Frith, C. D., & Frith, U. (2012). Mechanisms of social cognition. *Annual Review of Psychology*, 63, 287-313.
- Goodman, J., Marsh, R., Peterson, B. S., & Packard, M. G. (2014). Annual research review: the neurobehavioral development of multiple memory systems—implications for childhood and adolescent psychiatric disorders. *Journal of child psychology and psychiatry*, 55(6), 582-610.
- Hallgato, E., Györi-Dani, D., Pekár, J., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2013). The differential consolidation of perceptual and motor learning in skill acquisition. *Cortex*, 49(4), 1073-1081.
- Hedenius, M., Lum, J. A., & Bölte, S. (2021). Alterations of procedural memory consolidation in children with developmental dyslexia. *Neuropsychology*, 35(2), 185.
- Horvath, K., Torok, C., Pesthy, O., Nemeth, D., & Janacsek, K. (2020). Divided attention does not affect the acquisition and consolidation of transitional probabilities. *Scientific Reports*. doi:10.1038/s41598-020-79232-yda129685-49a7-438c-85e0-20e6384f29e9

- 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.
- Ikier, S., Yang, L., & Hasher, L. (2008). Implicit proactive interference, age, and automatic versus controlled retrieval strategies. *Psychological Science, 19*(5), 456-461.
- Janacsek, K., Fiser, J., & Nemeth, D. (2012). The best time to acquire new skills: age-related differences in implicit sequence learning across the human lifespan. *Developmental science, 15*(4), 496-505.
- Janacsek, K., Shattuck, K., Tagarelli, K., Lum, J., Turkeltaub, P., & Ullman, M. T. (2020). Sequence learning in the human brain: A functional neuroanatomical meta-analysis of serial reaction time studies. *Neuroimage, 207*, 116387.
- Johnson, J. S., & Newport, E. L. (1989). Critical period effects in second language learning: The influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognitive Psychology, 21*(1), 60-99.
- Juhasz, D., Nemeth, D., & Janacsek, K. (2019). Is there more room to improve? The lifespan trajectory of procedural learning and its relationship to the between- and within-group differences in average response times. *PloS One, 14*(7), e0215116. doi:10.1371/journal.pone.0215116
- Kaufman, S. B., Deyoung, C. G., Gray, J. R., Jimenez, L., Brown, J., & Mackintosh, N. (2010). Implicit learning as an ability. *Cognition, 116*(3), 321-340. doi:10.1016/j.cognition.2010.05.011
- Kóbor, A., Janacsek, K., Takács, Á., & Nemeth, D. (2017). Statistical learning leads to persistent memory: Evidence for one-year consolidation. *Scientific Reports, 7*(1), 760. doi:10.1038/s41598-017-00807-3
- Kóbor, A., Takács, Á., Kardos, Z., Janacsek, K., Horváth, K., Csépe, V., & Nemeth, D. (2018). ERPs differentiate the sensitivity to statistical probabilities and the learning of sequential structures during procedural learning. *Biological Psychology, 135*, 180-193.
- Leckman, J. F., Riddle, M. A., Hardin, M. T., Ort, S. I., Swartz, K. L., Stevenson, J., & Cohen, D. J. (1989). The Yale Global Tic Severity Scale: initial testing of a clinician-rated scale of tic severity. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 28*(4), 566-573.
- Lukács, Á., & Kemény, F. (2015). Development of different forms of skill learning throughout the lifespan. *Cognitive Science, 39*(2), 383-404.
- Maia, T. V., & Conceição, V. A. J. B. p. (2017). The roles of phasic and tonic dopamine in tic learning and expression. *82*(6), 401-412.
- McGaugh, J. L. (2000). Memory--A century of consolidation. *Science, 287*(5451), 248-251.
- Meier, B., & Cock, J. (2014). Offline consolidation in implicit sequence learning. *Cortex, 57*, 156-166.
- Nemeth, D., & Janacsek, K. (2011). The dynamics of implicit skill consolidation in young and elderly adults. *Journal of Gerontology Psychological Science, 66*(1), 15-22.
- Nemeth, D., Janacsek, K., & Fiser, J. (2013). Age-dependent and coordinated shift in performance between implicit and explicit skill learning. *Frontiers in Computational Neuroscience, 7*. doi:10.3389/fncom.2013.00147
- Nemeth, D., Janacsek, K., Király, K., Londe, Z., Németh, K., Fazekas, K., . . . Csányi, A. (2013). Probabilistic sequence learning in mild cognitive impairment. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 318. doi:10.3389/fnhum.2013.00318
- Nemeth, D., Janacsek, K., Londe, Z., Ullman, M. T., Howard, D. V., & Howard, J. H., Jr. (2010). Sleep has no critical role in implicit motor sequence learning in young and old adults. *Experimental Brain Research, 201*(2), 351-358. doi:10.1007/s00221-009-2024-x

- Nitsche, M. A., Schauenburg, A., Lang, N., Liebetanz, D., Exner, C., Paulus, W., & Tergau, F. (2003). Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(4), 619-626.
- Palminteri, S., Lebreton, M., Worbe, Y., Hartmann, A., Lehericy, S., Vidailhet, M., . . . Pessiglione, M. (2011). Dopamine-dependent reinforcement of motor skill learning: evidence from Gilles de la Tourette syndrome. *Brain*, *134*(8), 2287-2301.
- 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.
- Press, D. Z., Casement, M. D., Pascual-Leone, A., & Robertson, E. M. (2005). The time course of off-line motor sequence learning. *Cognitive Brain Research*, *25*(1), 375-378.
- Robertson, E. M. (2009). From creation to consolidation: A novel framework for memory processing. *PLoS Biology*, *7*(1), e1000019.
- Robertson, E. M., Pascual-Leone, A., & Miall, R. C. (2004). Current concepts in procedural consolidation. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*(7), 576-582.
- Romano, J. C., Howard, J. H., Jr., & 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. doi:10.1080/09658211003742680
- Shephard, E., Groom, M. J., & Jackson, G. M. (2019). Implicit sequence learning in young people with Tourette syndrome with and without co-occurring attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Neuropsychology*, *13*(3), 529-549.
- Siegelman, N., Bogaerts, L., Christiansen, M. H., & Frost, R. (2017). Towards a theory of individual differences in statistical learning. *Phil. Trans. R. Soc. B*, *372*(1711), 20160059.
- Simor, P., Zavecz, Z., Horvath, K., Elteto, N., Török, C., Pesthy, O., . . . Nemeth, D. (2019). Deconstructing procedural memory: Different learning trajectories and consolidation of sequence and statistical learning. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2708.
- Song, S., Howard, J. H., Jr., & Howard, D. V. (2007a). Implicit probabilistic sequence learning is independent of explicit awareness. *Learning and Memory*, *14*, 167-176.
- Song, S., Howard, J. H., Jr., & Howard, D. V. (2007b). Sleep does not benefit probabilistic motor sequence learning. *Journal of Neuroscience*, *27*(46), 12475-12483. doi:10.1523/jneurosci.2062-07.2007
- Squire, L. R., & Zola-Morgan, J. T. (1991). The cognitive neuroscience of human memory since H.M. *Annual Review of Neuroscience*, *34*, 259-288.
- Stebbins, G. T., Singh, J., Weiner, J., Wilson, R. S., Goetz, C., & Gabrieli, J. D. E. (1995). Selective impairments of memory functioning in unmedicated adults with Gilles de la Tourette's syndrome. *Neuropsychology*, *9*(3), 329-337.
- Takács, Á., Kóbor, A., Chezan, J., Éltető, N., Tárnok, Z., Nemeth, D., . . . Janacsek, K. (2018). Is procedural memory enhanced in Tourette syndrome? Evidence from a sequence learning task. *Cortex*, *100*, 84-94.
- Takacs, A., Münchau, A., Nemeth, D., Roessner, V., & Beste, C. (2021). Lower-level associations in Gilles de la Tourette syndrome: convergence between hyperbinding of stimulus and response features and procedural hyperfunctioning theories. *European Journal of Neuroscience*.
- Tóth-Fáber, E., Janacsek, K., & Németh, D. (2021). Statistical and sequence learning lead to persistent memory in children after a one-year offline period. *Scientific Reports*, in press.

- Tóth-Fáber, E., Tárnok, Z., Janacsek, K., Kóbor, A., Nagy, P., Farkas, B. C., . . . Nemeth, D. (2021). Dissociation between two aspects of procedural learning in Tourette syndrome: Enhanced statistical and impaired sequence learning. *Child Neuropsychology*, 1-23.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1-2), 231-270.
- Walenski, M., Mostofsky, S. H., & Ullman, M. T. (2007). Speeded processing of grammar and tool knowledge in Tourette's syndrome. *Neuropsychologia*, 45, 2447–2460.
- Walker, M. P. (2005). A refined model of sleep and the time course of memory formation. *Behavioral and Brain Sciences*, 28(1), 51-104.
- Walker, M. P., Brakefield, T., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2003). Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. *Nature*, 425(6958), 616-620.
- Zelazo, P. D., Craik, F. I. M., & Booth, L. (2004). Executive function across the life span. *Acta Psychologica*, 115, 167-183.
- Zwart, F. S., Vissers, C. T. W., Kessels, R. P., & Maes, J. H. (2019). Procedural learning across the lifespan: A systematic review with implications for atypical development. *Journal of Neuropsychology*, 13(2), 149-182.

VIII. A disszertáció alapjául szolgáló publikációk

- Tóth-Fáber, E.,** Tárnok, Z., Janacsek, K., Kóbor, A., Nagy, P., Farkas, B. C., Oláh, Sz., Merkl, D., Hegedűs, O., Nemeth, D., & Takács, Á. (2021). Dissociation between two aspects of procedural learning in Tourette syndrome: Enhanced statistical and impaired sequence learning. *Child Neuropsychology*, 27(6) 799-821.
<https://doi.org/10.1080/09297049.2021.1894110>
- Tóth-Fáber, E.,** Tárnok, Z., Takács, Á., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2021). Access to procedural memories after one year: evidence for robust memory consolidation in Tourette syndrome. *Frontiers in Human Neuroscience*, 458.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.715254>
- Tóth-Fáber, E.,** Janacsek, K. & Nemeth, D. (2021). Statistical and sequence learning lead to persistent memory in children after a one-year offline period. *Scientific Reports*, 11, 12418. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90560-5>
- Tóth-Fáber, E.,** Nemeth, D. & Janacsek, K. (2023). Lifespan developmental invariance in memory consolidation: evidence from procedural memory. *PNAS Nexus*, pgad037.
<https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad037>

A publikációk összesített impakt faktora: 10,79

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

IX. A disszertációban nem felhasznált publikációk listája

Lektorált tudományos folyóirat cikkek

Nemzetközi

- Wendiggensen, P., Paulus, T., Bluschke, A., Takacs, A., **Tóth-Fáber, E.**, Weissbach, A., ... & Beste, C. (2023). Theta activity dynamics during embedded response plan processing in tourette syndrome. *Biomedicines*, 11(2), 393.
- Kóbor, A., **Tóth-Fáber, E.**, Kardos, Z., Takács, Á., Éltető, N., Janacsek, K., ... & Nemeth, D. (2023). Deterministic and probabilistic regularities underlying risky choices are acquired in a changing decision context. *Scientific Reports*, 13(1), 1127.
- Tóth-Fáber, E.**, Janacsek, K., Szöllősi, Á., Kéri, Sz., & Nemeth, D. (2021). Regularity detection under stress: Faster extraction of probability-based regularities. *PLoS ONE*, 16(6), e0253123.
- Farkas, B. Cs., **Tóth-Fáber, E.**, Janacsek, K., & Nemeth, D. (2021). A Process-Oriented View of Procedural Memory Can Help Better Understand Tourette's Syndrome. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 683885.
- Adelhöfer, N., Paulus, T., Mückschel, M., Bäumer, T., Bluschke, A., Takacs, A., **Tóth-Fáber, E.**, Tarnok, Z., Roessner, V., Weissbach, A., Münchau, A., & Beste, C. (2021). Increased scale-free and aperiod activity during sensorimotor integration - a novel facet in Tourette Syndrome. *Brain Commun*, 3, fcab250.
- Kóbor, A., Kardos, Z., Takács, Á., Éltető, N., Janacsek, K., **Tóth-Fáber, E.**, Csépe, V., Nemeth, D. (2021). Adaptation to recent outcomes attenuates the lasting effect of initial experience on risky decisions. *Scientific Reports*, 11, 10132.
- Dilcher, R., Beste, C., Takacs, A., Bluschke, A., **Tóth-Fáber, E.**, Kleimaker, M., Münchau, A., & Li, SC. (2021). Perception-action integration in young age - a cross-sectional EEG study. *Dev Cogn Neurosci*, 50, 100977.
- Beste, C., Mückschel, M., Rauch, J., Bluschke, A., Takacs, A., Dilcher, R., **Tóth-Fáber, E.**, Bäumer, T., Roessner, V., Li, SC., & Münchau, A. (2021). Distinct brain-oscillatory neuroanatomical architecture of perception-action integration in adolescents with Tourette Syndrome. *Biol Psychiatry GOS*
- Dilcher, R., Jamous, R., Takacs, A., **Tóth-Fáber, E.**, Münchau, A., Li, SC., & Beste, C. (2021). Neurophysiology of embedded response plans: age effects in action execution but not in feature integration from pre-adolescence to adulthood. *J Neurophysiol*, 125, 1382-1395.
- Éltető, N., Janacsek, K., Kóbor, A., Takács, Á., **Tóth-Fáber, E.**, & Nemeth, D. (2019). Do adolescents take more risks? Not when facing a novel uncertain situation. *Cognitive Development*, 50, 105-117.
- Tóth-Király, I., Böthe, B., **Tóth-Fáber, E.**, Hága, Gy., & Orosz, G. (2017). Connected to TV series: Quantifying series watching engagement. *Journal of Behavioral Addictions*, 6(4), 472-489.

Magyar

- Tóth-Fáber, E.**, Takacs, A., Tarnok, Zs., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2020). Cognitive advantage in atypical development: outstanding procedural learning in Tourette's syndrome. *Psychiatria Hungarica*, 35(4), 484-492.

Konferencia előadások és poszterek

Nemzetközi

- Tóth-Fáber, E.**, Tárnok, Zs., Takács, Á., Janacsek, K., & Németh, D. (2022 September). *Enhanced procedural functions in Tourette syndrome*. Poster presented, 22nd Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Lille, France.
- Kóbor, A., **Tóth-Fáber, E.**, Éltető, N., Kardos, Zs., Bárány, D., & Németh, D. (2022 September). *Sensitivity to unexpected uncertainty is reflected by ERPs during risky decisions*. Poster presented, 22nd Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Lille, France.
- Tóth-Fáber, E.**, Janacsek, K., & Németh, D. (2022, May). *Age-invariant retention of statistical knowledge across the lifespan*. Poster presented, Interdisciplinary Advances in Statistical Learning, San Sebastian, Spain.
- Tóth-Fáber, E.**, Tarnok, Z., Takacs, A., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2022, January). *Skill consolidation in typical development and Tourette syndrome: Evidence for one-year retention*. Poster presented, Budapest CEU Conference on Cognitive Development, online.
- Kovács, L.Á., **Tóth-Fáber, E.**, Mikula, B., Simor, P., Janacsek, K., Zavecz, Zs., & Németh, D. (2021 June). *Associations of sleep parameters with cognitive performance and behavioral problems in a pediatric sleepdisordered population*. Poster presented, 5th international conference of the European Society for Cognitive and Affective Neuroscience, Budapest, Hungary.
- Tóth-Fáber, E.**, Janacsek, K., Szöllősi, Á., Kéri, Sz. & Németh, D. (2019, September). *Dissociation within procedural learning under stress: boosted statistical learning but unaffected sequence learning*. Poster presented, 21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Tenerife, Spain.
- Tóth-Fáber, E.**, Janacsek, K., Szöllősi, Á., Kéri, Sz. & Németh, D. (2019, March). *Stress Boosts Statistical Learning but Not Sequence Learning*. Poster presented, International Convention of Psychological Science, Paris, France.
- Farkas, B. Cs., **Tóth-Fáber, E.**, Tárnok, Zs., Kóbor, A., Janacsek, K., Rádosi, A., Szabó, E. D., Merkl, D., Oláh, Sz., Hegedűs, O., Nagy, P., Vidomusz, R., Takács, Á., & Németh, D. (2019, March). *Executive Functions and Procedural Learning in Tourette Syndrome*. Poster presented, International Convention of Psychological Science, Paris, France.
- Tárnok, Zs., **Tóth-Fáber, E.**, Kóbor, A., Janacsek, K., Rádosi, A., Szabó, E. D., Merkl, D., Oláh, Sz., Hegedűs, O., Nagy, P., Vidomusz, R., Németh, D., & Takács, Á. (2018, June). *Enhanced procedural learning in Tourette syndrome and its relation to premonitory urges*. Poster presented, 11th Conference on Tourette Syndrome and Tic Disorders, Copenhagen, Denmark.
- Tóth-Fáber, E.**, Tárnok, Zs., Kóbor, A., Janacsek, K., Rádosi, A., Szabó, E. D., Merkl, D., Oláh, Sz., Hegedűs, O., Nagy, P., Vidomusz, R., Németh, D., & Takács, Á. (2018, March). *Explicit probabilistic sequence learning in Tourette syndrome*. Poster presented, 25th Annual Meeting of the Cognitive Neuroscience Society, Boston, United States of America.
- Tóth-Fáber, E.**, Tárnok, Zs., Kóbor, A., Janacsek, K., Rádosi, A., Szabó, E. D., Merkl, D., Oláh, Sz., Hegedűs, O., Nagy, P., Vidomusz, R., Németh, D., & Takács, Á. (2018, January). *Implicit and explicit sequence learning in Tourette syndrome*. Poster presented, Budapest CEU Conference on Cognitive Development, Budapest, Hungary.
- Tóth-Fáber, E.**, Kóbor, A., Takács, Á., Kardos, Zs., Janacsek, K., Éltető, N., Csépe, V., & Németh, D. (2017, September). *The influence of initial experience on subsequent risk-*

taking behavior. Poster presented, 20th Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Potsdam, Germany.

Tóth-Király, I., Bóthe, B., **Tóth-Fáber, E.**, Hága, Gy., & Orosz, G. (2017, July). *Connected to TV series: Quantifying Series Watching Engagement*. Poster presented, 18th General Meeting of The European Association of Social Psychology. Granada, Spain.

Magyar

Tárnok, Zs., **Tóth-Fáber, E.**, Janacsek, K., Kóbor, A., Nagy, P., Farkas, B. Cs., Oláh, Sz., Merkl, D., Hegedűs, O., Nemeth, D., & Takacs, A. (2021, May). *Procedural hyperfunctioning in Tourette syndrome*. Oral presentation, 44th Congress of the Hungarian Association of Child and Adolescent Psychiatry and Allied Professions, online.

Mikula, B., Zavec Zs., **Tóth-Fáber, E.**, Kassai, R., Benedek, P., Németh, D. (2019, May). *The relationship between declarative memory and sleep parameters in children with sleep disorders*. Oral presentation, Hungarian Psychological Association's 28th National Scientific Session, Debrecen, Hungary.

Farkas, B.Cs., **Tóth-Fáber, E.**, Tárnok, Zs., Janacsek, K., Kóbor, A., Nagy, P., Németh, D., Takács, Á. (2019, May). *Learning processes in Tourette syndrome*. Oral presentation, Hungarian Psychological Association's 28th National Scientific Session, Debrecen, Hungary.

Berta, K., Madura, Zs., Tass, A., **Tóth-Fáber, E.**, Szöllősi, Á., Kéri, Sz., Janacsek, K., & Németh, D. (2019, May). *The effect of acute stress on procedural learning*. Oral presentation, Hungarian Psychological Association's 28th National Scientific Session, Debrecen, Hungary.

Nagy, P., Hajnal, M., **Tóth-Fáber, E.**, Bognár, E., Merkl, D., Vidomusz, R., Hegedűs, O., & Tárnok, Zs. (2019, May). *Sensory phenomena in Tourette syndrome*. Szenzoros jelenségek Tourette-szindrómában. Oral presentation, 43rd Congress of the Hungarian Association of Child and Adolescent Psychiatry and Allied Professions, Gyula, Hungary.

Tóth-Fáber, E. (2018, November). *Implicit learning in childhood – typical and atypical development*. Oral presentation, "Metszéspontok" V. Professional Conference, Szeged, Hungary.

Tóth-Fáber, E., Tárnok, Zs., Kóbor, A., Janacsek, K., Rádosi, A., Szabó, E. D., Merkl, D., Oláh, Sz., Hegedűs, O., Nagy, P., Vidomusz, R., Németh, D., & Takács, Á. (2018, May). *Statistical and sequence learning in Tourette Syndrome*. Oral presentation, Hungarian Psychological Association's 27th National Scientific Session, Budapest, Hungary.