

**EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
PEDAGÓGIAI ÉS PSZICHOLÓGIAI KAR  
PSZICHOLÓGIA SZAK**

**A STATISZTIKAI ÉS SZEKVENCIATANULÁS  
VIZSGÁLATA TOURETTE-SZINDRÓMÁVAL  
ÉLŐ FELNŐTTEKNÉL**

**Szerző:**

**Kocsis Anna Boglárka**

**Témavezetők:**

**Tóth-Fáber Eszter**

**tudományos segédmunkatárs**

**Németh Dezső**

**egyetemi tanár**

# A statisztikai és szekvenciatanulás vizsgálata Tourette-szindrómával élő felnőtteknél

## Tartalom

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Absztrakt .....                                                 | 2  |
| Szakirodalmi bevezető .....                                     | 3  |
| Módszerek .....                                                 | 6  |
| <i>Résztvevők</i> .....                                         | 6  |
| <i>Mérőeszközök</i> .....                                       | 8  |
| Alternáló Szeriális Reakcióidő feladat .....                    | 8  |
| Yale Globális Tik Tünet súlyossági Skála (YGTSS) .....          | 11 |
| <i>Eljárás</i> .....                                            | 11 |
| <i>Statisztikai módszerek</i> .....                             | 12 |
| Eredmények .....                                                | 12 |
| <i>Statisztikai tanulás</i> .....                               | 12 |
| <i>Szekvenciatanulás</i> .....                                  | 14 |
| <i>Statisztikai tanulás a komorbiditás nélküli mintán</i> ..... | 15 |
| <i>Szekvenciatanulás a komorbiditás nélküli mintán</i> .....    | 16 |
| Diszkusszió .....                                               | 17 |
| Irodalom .....                                                  | 21 |

## Absztrakt

A Tourette-szindróma (TS) olyan idegrendszeri fejlődési zavar, amelyet minimum 1 éve fennálló motoros és vokális tikek jellemeznek. Korábbi kutatások arra utalnak, hogy a zavarban nem csak deficitek jelenhetnek meg, hanem bizonyos funkciók jobbak lehetnek, mint a neurotipikus populáció esetében. Jelen kutatás a procedurális tanulás két aspektusát, a statisztikai és szekvenciatanulást vizsgálja Tourette-szindrómával élők körében. Korábbi eredményekre alapozva az a hipotézisem, hogy a Tourette-szindrómával élő felnőttek jobb teljesítményt fognak mutatni a statisztikai tanulásban, mint a neurotipikus kontrollcsoport, míg a szekvenciatanulásban mutatott teljesítményük nem éri el a neurotipikus kontrollcsoportét. A statisztikai és szekvenciatanulást az Alternáló Szeriális Reakcióidő feladat cued változatával vizsgáltam TS-val élő felnőttek (N = 25) és korban illesztett neurotipikus kontrollcsoport (N = 25) mintáján. A TS csoport jobb statisztikai tanulást mutatott, mint a NT kontrollcsoport, míg a szekvenciatanulásban nem találtam különbséget a

két csoport között. A TS-val élő felnőttek tehát statisztikai tanulási előnyt mutattak a procedurális tanulási feladat során, amely rámutat arra, hogy fejlődési zavarok esetén érdemes a diszfunkciók mellett a funkciók lehetséges jobb működéséről is szót ejteni. Ez az előny alapként szolgálhat új módszerek, terápiák, vagy új kutatási kérdések kidolgozásában.

**Kulcsszavak:** Tourette-szindróma, procedurális tanulás, statisztikai tanulás, szekvenciatanulás

### **Szakirodalmi bevezető**

A Tourette-szindróma (TS) olyan idegrendszeri fejlődési zavar, amelyet minimum 1 éve fennálló motoros és vokális tikek jellemeznek, amelyek nem magyarázhatóak más betegségekkel vagy szerhasználattal (American Psychiatric Association, 2013). A tikek gyors, ismétlődő, és hirtelen mozgások vagy hangadások, amelyek lehetnek egyszerűek vagy komplexek. Az egyszerű tikeket rövid lefolyás jellemzi (pár milliszekundum), megjelenhetnek például pislogás, vállrándítás, krákogás, szipogás formájában. A komplex tikeket hosszabb időtartam jellemzi (pár másodperc), gyakran egyszerű tikek kombinációiból épülnek fel vagy mások számára szándékosnak tűnhetnek. Előfordulhatnak például sértő, szexuális jellegű mozdulatok vagy kifejezések, mások mozdulatainak vagy kifejezéseinek ismétlése, vagy akár saját kifejezések ismételtetése is. Jellegzetesen 4-6 éves kor között jelennek meg a TS első tünetei, és 10-12 éves kor között a legsúlyosabbak a tünetek (Robertson és mtsai., 2017). Az életkor előrehaladtával a tikek súlyossága és típusa is változhat, az esetek jelentős részében a tünetek fokozatosan csökkennek. A tikeket megelőzően gyakran megjelenik egy testérzet, úgynevezett előzetes készletetés, amely enyhítése érdekében végzi a személy a tikeket (Cohen & Leckman, 1992; Robertson, 2015; Tóth-Fáber és mtsai., 2020). Az előzetes készletetéssel együtt tapasztalt tikek részben elnyomhatók, és a visszatartás képessége az életkorral általában nő, de ez nem jelenti azt, hogy a tikek minden esetben akarattal befolyásolhatóak (American Psychiatric Association, 2013). A zavar a bazális ganglionok és a szorosan kapcsolódó agykérgi területek elváltozásával jár, amelyek bizonyos elméletek szerint a tikek megjelenéséhez vezethet (Albin & Mink, 2006; Müller-Vahl és mtsai., 2009, 2014).

A TS kognitív profilja széleskörűen kutatott, számos kognitív funkcióban eltérést mutatnak a neurotipikus populációhoz képest, például a végrehajtó funkciók működésében (Yaniv és mtsai., 2017), a szociális kognícióban (Channon, Crawford, és mtsai., 2003; Eddy és mtsai., 2010), és a procedurális tanulásban (Channon, Pratt, és mtsai., 2003; Takács és mtsai., 2018). A procedurális tanulás további taglalását megelőzően érdemes áttekinteni az emberi emlékezet felépítését.

Az emberi emlékezet egy összetett rendszert alkot, amely felosztható deklaratív (explicit) és non-deklaratív (implicit) rendszerekre (Squire & Wixted, 2011; Squire & Zola-Morgan, 1988). A deklaratív emlékezet tényszerű adatok (szemantikus emlékezet) és életszerű események (epizodikus emlékezet) feldolgozásáért és tárolásáért felelős. Az itt tárolt reprezentációk rugalmasak és tudatosan hozzáférhetőek (Csépe és mtsai., 2007; Squire & Wixted, 2011). A deklaratív emlékezeti rendszer működésében főképpen a hippokampusz és más mediális temporális lebenyi struktúrák játszanak szerepet (Squire & Wixted, 2011). A non-deklaratív rendszer ezzel szemben tudatosan nem hozzáférhető információt, rugalmatlan reprezentációkat tárol, a tanulás legtöbbször nem intencionálisan zajlik (Reber, 1967). A non-deklaratív emlékezeti rendszerbe sorolható a procedurális tanulás, az előfeszítés és perceptuális tanulás, a klasszikus kondicionálás és a nem asszociatív tanulás (Squire, 2004). A procedurális memória főképpen az automatikus viselkedések, a perceptuális, motoros és kognitív készségek és szokások tanulásáért, tárolásáért és előhívásáért felelős (J. Goodman és mtsai., 2014; Poldrack & Foerde, 2008; Ullman, 2004, 2016). A procedurális memória a bazális ganglionokhoz, azon belül a striátumhoz, emellett a kortiko-bazális ganglion-thalamo-kortikális (CBGTC) hálózathoz köthető (Doyon és mtsai., 2009; Poldrack & Packard, 2003).

Bár a TS mögött meghúzódó agyi folyamatok még nincsenek teljesen feltérképezve, számos kutatási eredmény mutat rá a bazális ganglionok és a CBGTC hálózat funkcionális és strukturális eltéréseire (Albin és mtsai., 2003; Albin & Mink, 2006; Maia & Frank, 2011; Mink, 2001; Peterson és mtsai., 1998, 2003; Stern és mtsai., 2000). Számos más idegrendszeri zavarban előfordul a bazális ganglionok érintettsége (Barnes és mtsai., 2010; Kathmann és mtsai., 2005), ezek közül fontos kiemelni a figyelemhiányos hiperaktivitási zavart és a obszesszív-kompulzív zavart. Ezek a zavarok gyakran járnak együtt a TS-val, főképpen a viselkedés és a szociális kapcsolatok terén okoznak nehézségeket (Morand-Beaulieu és mtsai., 2017). A tikek kialakulásának folyamata szintén a mai napig kutatások tárgyát képezi. Albin és Mink (2006) elmélete szerint a tikek, mint hibás motoros output, nem megfelelően elsajátított inger-válasz asszociációk eredményeként jönnek létre. Goodman és mtsai. (2014) kutatásukban a tikeket a szokásokhoz hasonlítja. A CBTGC hálózathoz köthető strukturális eltérések és a szokáselsajátítás neurális háttere alapján rosszul elsajátított szokásként írják le a tikeket.

A procedurális memória neurális háttere és a TS-ban tapasztalt neurológiai elváltozások átfedése miatt számos tanulmány foglalkozik a procedurális memória vizsgálatával TS-ban. A területen történt kutatások túlnyomó része jobb (Delorme és mtsai., 2016; Dye és mtsai., 2016; Palminteri és mtsai., 2011; Shephard és mtsai., 2019; Takács és mtsai., 2018; Tóth-Fáber és mtsai., 2021; Walenski és mtsai., 2007) vagy ép (Channon, Pratt, és mtsai., 2003) működést

talált, mindössze két kutatás talált sérült funkciókat (Kéri és mtsai., 2002; Marsh és mtsai., 2004). Walenski és mtsai. (2007) azt találták, hogy a TS-val élő gyerekek gyorsabbak voltak a procedurális memóriára támaszkodó nyelvi feladatokban, mint tipikusan fejlődő társaik. Procedurális hiperfunktionalitást, tehát a procedurális tanulás jobb működését találták az általuk vizsgált szituációban. A feladat során vizsgálati személyek feladata múlt idejű igealakok képzése volt, amely során a TS-val élő gyerekek gyorsabban képezték szabályos múlt idejű alakokat (pl. walk + ed), mint tipikusan fejlődő társaik. A rendhagyó igék (pl. sing – sang) esetén nem jelent meg az előny. Ennek magyarázata, hogy a szabály alapú igék feldolgozása a procedurális memóriához köthető, míg a rendhagyó igék képzése a deklaratív memóriából való előhívásra támaszkodik. Takács és mtsai. (2017) az Alternáló Szeriális Reakcióidő feladat (Alternating Serial Reaction Time, ASRT task) segítségével vizsgálták a procedurális tanulást, ahol ép procedurális tanulást mutattak ki. Shephard és mtsai. (2019) Szeriális Reakcióidő Feladat (Serial Reaction Time, SRT; Nissen & Bullemer, 1987) segítségével vizsgálták a procedurális tanulást, amely során a vizsgálati személyeknek egy probabilitásos szekvenciát kellett elsajátítaniuk. Itt is hasonló eredményt találtak, ám a TS-val élő gyerekeknek nehézséget okozott azon a feladatrészen nem alkalmazni a tanult szekvenciát, amin már arra nem volt szükség. Ezt az magyarázhatja, hogy a TS-val élő gyerekek túltanulták a szekvenciát. Takács és mtsai. (2018) az ASRT feladat során procedurális információfeldolgozás túlműködését találták TS-val élő gyerekek körében. A feladat során a TS-val élő gyerekek több predikciós hibát vétettek, mint tipikusan fejlődő társaik, tehát feltételezhetően érzékenyebbek voltak a feladat rejtett szabályszerűségeire.

Tóth-Fáber és mtsai. (2021) a procedurális tanulás két aspektusát – a szekvenciatanulást és a statisztikai tanulást – vizsgálták az ASRT feladat módosított (cued ASRT, (Howard Jr. & Howard, 1997; Nemeth és mtsai., 2013) változatának segítségével TS-val élő és tipikusan fejlődő kortárs csoport mintáján. A cued ASRT során lehetőség nyílik a két tanulási mechanizmus egyidejű vizsgálatára. A statisztikai tanulás gyakoriság alapú tanulás, tehát résztvevő megtanul különbséget tenni magas gyakoriságú és alacsony gyakoriságú ingerek között. A résztvevő statisztikai tanulás során rövidtávú kapcsolatokat sajátít el viszonylag gyorsan, impliciten és intenció nélkül, tehát nincs tudatában a megszerzett információnak (Kóbor és mtsai., 2018; Simor és mtsai., 2019). Ezzel szemben a szekvenciatanulás során a résztvevő egy hosszabb sorozatot sajátít el. A szekvenciatanulás történhet szándékosan (pl. a cued ASRT során vizuálisan jelezzük a szekvenciát, és instruáljuk az elsajátítására a résztvevőt) vagy intenció nélkül. Akár szándékosan, akár anélkül történik a szekvencia elsajátítása, a feladaton nyújtott teljesítmény fokozatosan javul (Howard és mtsai., 2004; Howard Jr. &

Howard, 1997; Simor és mtsai., 2019). Tóth-Fáber és mtsai. (2021) eredményei azt mutatták, hogy a tipikusan fejlődő csoporthoz képest sérült szekvenciatanulást és statisztikai információra való magasabb érzékenységet mutatott a TS-val élő csoport.

Az életkor előrehaladtával általánosan változik a TS tüneteinek súlyossága és típusa, jellemzően a serdülőkor során mérséklődnek a tünetek és a tikek visszatartásának képessége is egyre fejlődik (American Psychiatric Association, 2013). Bloch és Leckman (2009) a Yale Globális Tik Tünetsúlyosság Skálán elért pontszámok alapján vizsgálták a tünetek fennmaradását felnőttkorban. Bár a TS egy fejlődési zavar, a vizsgált személyek 19 százaléka mérsékelt vagy nagymértékű súlyosságról számolt be, és mindössze 5 százaléknál nőtt a tünetsúlyosság a gyerekkorhoz képest. A TS és a procedurális tanulás kapcsolatát korábban főleg gyermekek mintáján vizsgálták, a fent említett eredmények alapján érdemes lenne vizsgálni a procedurális tanulást felnőtt TS mintán is.

Jelen dolgozat során a procedurális tanulás két aspektusát – a statisztikai tanulást és a szekvenciatanulást – vizsgáljuk felnőtt mintán a cued ASRT feladat segítségével. A cued ASRT segítségével viszonylag gyorsan, és egyszerre vizsgálható a két tanulási mechanizmus, így korábbi kutatások alapján (Kóbor és mtsai., 2018; Simor és mtsai., 2019; Tóth-Fáber és mtsai., 2021) választottuk ezt a módszert. A korábbi gyermek mintán végzett kutatás (Tóth-Fáber és mtsai., 2021) eredményeire alapozva az a hipotézisem, hogy a Tourette-szindrómával élő felnőttek jobb teljesítményt fognak mutatni a statisztikai tanulásban, mint a neurotipikus kontrollcsoport, míg a szekvenciatanulásban mutatott teljesítményük nem éri el a neurotipikus kontrollcsoportét.

## **Módszerek**

### ***Résztvevők***

A vizsgálatban összesen 26 Tourette-szindrómával élő felnőtt személy vett részt. A résztvevők mindegyikét diagnosztizálták korábban Tourette-szindrómával a DSM-V kritériumai alapján (American Psychiatric Association, 2013). Egy személy kizárásra került a TS csoportból, mivel a feladat során az átlagos (triplett típustól független) pontossága konzisztensen alacsony (<70%) volt. A mintánkban nagy számban fordulnak elő a TS mellett komorbid zavarokkal is diagnosztizált személyek. A komorbid figyelemhiányos hiperaktivitási zavarral (ADHD), komorbid obszesszív-kompulzív zavarral (OCD), depresszióval, vagy egyéb komorbid zavarokkal rendelkező személyek nem kerültek kizárásra a vizsgálatból, mivel ezek a zavarok gyakran járnak együtt a TS-val (Robertson, 2015). A komorbid zavarok nagy számú

előfordulása miatt elvégeztem olyan statisztikai próbákat is, amelyek során kizárólag TS-val diagnosztizált és más komorbid zavarral nem rendelkező személyek adatait vizsgáltam.

36 egészséges felnőtt került toborzásra a neurotipikus kontrollcsoportba (NT). A 25 TS-s résztvevőhöz (19 férfi, 6 nő,  $M_{életkor} = 34,12$  év;  $SD_{életkor} = 10,31$  év) párosítottunk 25 korban és nemben hasonló személyt társítottunk a NT csoportból (14 férfi, 11 nő,  $M_{életkor} = 32,88$  év;  $SD_{életkor} = 11,81$  év) (1. táblázat).

**1. táblázat.** Tourette-szindrómával élő vizsgálati személyek klinikai jellemzői

| Vizsgálati személy | Életkor | Nem | YGTSS pontszám | Y-BOCS pontszám | Komorbiditás                               | Gyógyszeres kezelés                                                                                                            |
|--------------------|---------|-----|----------------|-----------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                  | 45      | 1   | 69             | 19              | Depressziós epizód                         | Pimozid, biperidén                                                                                                             |
| 2                  | 21      | 1   | 16             | 10              |                                            |                                                                                                                                |
| 3                  | 25      | 2   | 33             | 11              |                                            |                                                                                                                                |
| 4                  | 47      | 1   | 15             | 0               |                                            |                                                                                                                                |
| 5                  | 33      | 1   | 35             | 0               |                                            |                                                                                                                                |
| 6                  | 25      | 2   | 6              | 0               |                                            |                                                                                                                                |
| 7                  | 48      | 2   | 31             | 7               | Depresszió, kiégés                         | Eszcitaloprá, kandezartán                                                                                                      |
| 8                  | 28      | 2   | 31             | 18              |                                            |                                                                                                                                |
| 9                  | 47      | 1   | 46             | 6               | Depresszió                                 | N/A                                                                                                                            |
| 10                 | 29      | 2   | 55             | 23              | BPD, szorongásos zavar, depressziós epizód | Alprazolám (amikor szükséges, 2-3 hetente)                                                                                     |
| 11                 | 22      | 1   | 34             | 11              |                                            | Aripiprazol                                                                                                                    |
| 12                 | 20      | 1   | 39             | 12              |                                            | N/A                                                                                                                            |
| 13                 | 25      | 1   | 40             | 0               | Depresszió                                 | Pimozid                                                                                                                        |
| 14                 | 23      | 1   | 40             | 12              | Depresszió, OCD, szociális fóbia           | Aripiprazol                                                                                                                    |
| 15                 | 54      | 1   | 51             | 17              | Depresszió                                 | Pantoprazol, paroxetin, szimvasztatin, Korodin (szükség szerint), mirtazapin (szükség szerint), mometazon-furoát, szumatriptán |
| 16                 | 50      | 1   | 0              | 0               |                                            | Aripiprazol                                                                                                                    |
| 17                 | 40      | 1   | 26             | 12              | OCD                                        | Citaloprá                                                                                                                      |
| 18                 | 21      | 2   | 37             | 14              |                                            |                                                                                                                                |
| 19                 | 37      | 1   | 57             | 3               | ADHD, depressziós epizód                   | N/A                                                                                                                            |
| 20                 | 35      | 1   | 41             | 0               | ADHD                                       | Metilfenidát                                                                                                                   |
| 21                 | 30      | 1   | 18             | 0               |                                            |                                                                                                                                |
| 22                 | 35      | 1   | 27             | 14              |                                            |                                                                                                                                |

|       |    |   |       |      |
|-------|----|---|-------|------|
| 23    | 35 | 1 | 20    | 2    |
| 24    | 33 | 1 | 18    | 0    |
| 25    | 42 | 1 | 25    | 2    |
| Átlag | 34 |   | 32,40 | 7,72 |

ADHD: figyelemhiányos hiperaktivitás zavar, BPD: borderline személyiségzavar, OCD: obszesszív-kompulzív zavar, YGTSS: Yale Globális Tik Tünetsúlyosság Skála

## ***Mérőeszközök***

### *Alternáló Szeriális Reakcióidő feladat*

A procedurális tanulás méréséhez az Alternáló Szeriális Reakcióidő feladat cued változatát használtuk (Nemeth és mtsai., 2013). Az ASRT egy Howard és Howard (1997) által kidolgozott mérőeszköz, amely egy továbbfejlesztett verziója Nissen és Bullemer (1987) Szeriális Reakcióidő feladatának (SRT). A cued ASRT során a vizsgálati személyek le, fel, balra vagy jobbra mutató nyilakat láthattak egymás után felvillanni a képernyőn, és azt az instrukciót kapták, hogy minél gyorsabban és pontosabban (lehetőleg 92% feletti pontossággal) nyomják meg a megjelent ingernek megfelelő gombot a konzolon. Az inger a képernyő közepén került bemutatásra 200 ms-ig, ezt követően egy üres képernyő jelent meg 500 ms erejéig, ameddig a vizsgálati személy választ adhatott. Ezt követett egy 700 ms hosszú késleltetés, ami után a soron következő inger került bemutatásra. Ha a vizsgálati személy helytelenül válaszolt, egy „X” jelent meg 500 ms erejéig a képernyő közepén. Amennyiben a vizsgálati személy nem adott választ az 500 ms-os időablakban, egy felkiáltójel („!”) jelent meg a képernyő közepén 500 ms erejéig.

Az alternáló szekvencia 8 ingerből állt, minden második inger egy szekvenciát követve jelent meg, míg a köztük lévő ingerek iránya random volt, vagyis a négy irány közül bármelyik irányba mutathatott (például 1-r-2-r-4-r-3-r, ahol a számok a nyíl irányát, az „r” pedig egy véletlenszerűen megjelenő irányt jelöl). A cued ASRT során a szekvencia és a random ingerek megkülönböztethetőek, a szekvencia ingerek fekete, míg a random ingerek piros színű nyílként jelennek meg. A két típusú ingert nemcsak vizuálisan különítettük el, jeleztük is a résztvevők számára, hogy a fekete nyilak egy szekvenciát követve jelennek meg, és instruáltuk őket, hogy találják meg ezt a szekvenciát. Az így kapott 6 szekvencia egyikével találkoztak a feladat során a résztvevők: 1-r-2-r-3-r-4-r, 1-r-2-r-4-r-3-r, 1-r-3-r-2-r-4-r, 1-r-3-r-4-r-2-r, 1-r-4-r-2-r-3-r, 1-r-4-r-3-r-2-r. Minden résztvevő számára egy darab szekvenciát választottunk ki, és a különböző szekvenciák egyenlő arányban szerepeltek a résztvevők között.

Az alternáló szekvenciának köszönhetően vannak olyan ingerhármások (triplek), amelyek gyakrabban jelennek meg, mint más ingerhármások. Az előbbiekre magas gyakoriságú tripletként, az utóbbiakra alacsony gyakoriságú tripletként fogunk a későbbiekben hivatkozni. Az alábbi szekvenciában – 1-r-2-r-4-r-3-r – az 1-X-2, 2-X-4, 4-X-3, 3-X-1 (az X a triplett középső elemét jelöli) triplek magas gyakoriságúak, mivel a harmadik elem lehet szekvencia vagy random inger, míg a 3-X-2 vagy 4-X-2 triplek ritkábban fordulnak elő, mivel az utolsó elem csak random lehet (Howard Jr. & Howard, 1997; Nemeth és mtsai., 2013; Tóth-Fáber és mtsai., 2021). A triplek továbbá csoportosíthatóak aszerint is, hogy utolsó elemük szekvencia (szekvencia triplett) vagy random elem-e (random triplett). Megkülönböztethetünk magas gyakoriságú triplettest, amelyek utolsó eleme szekvencia és magas gyakoriságú triplettest, amelyek utolsó eleme random. Az alacsony gyakoriságú triplek utolsó eleme kizárólag random lehet, mivel a szekvencia triplek csak magas gyakorisággal fordulnak elő.

Ezek alapján elkülöníthetjük a megjelenő ingerek három típusát: azok az ingerek, amelyek egy előre meghatározott szekvencia részei, és egy magas gyakoriságú triplett utolsó elemei, magas gyakoriságú szekvencia ingerek; azok az ingerek, amelyek random jelennek meg, és egy magas gyakoriságú triplett utolsó elemei, azok magas gyakoriságú random ingerek; és azok a random ingerek, amelyek egy alacsony gyakoriságú triplett utolsó elemei, azok alacsony gyakoriságú random ingerek (Howard Jr. & Howard, 1997; Nemeth és mtsai., 2013).

A korábbi vizsgálatok azt mutatják, hogy a vizsgálati személyek gyorsabban reagálnak szekvencia triplettekre, mint random triplettekre (Howard Jr. & Howard, 1997; Kóbor és mtsai., 2018; Simor és mtsai., 2019). A magas gyakoriságú szekvencia és a magas gyakoriságú random ingerekre adott teljesítmény összehasonlításával tudjuk mérni a szekvenciatanulást. A magas gyakoriságú szekvencia és magas gyakoriságú random ingerek megegyeznek abban, hogy egy magas gyakoriságú triplett utolsó elemei, kizárólag abban különböznek, hogy míg az egyik egy előre meghatározott szekvencia része, a másik egy random megjelenő inger. A szekvencia triplettekre mutatott jobb teljesítmény azt jelzi számunkra, hogy a vizsgálati személy sikeresen elsajátította a szekvenciát.

Továbbá a vizsgálati személyek általában gyorsabban reagálnak a magas gyakoriságú triplettekre, mint a ritkábbakra (Howard Jr. & Howard, 1997; Janacsek és mtsai., 2012; Takács és mtsai., 2018). A magas gyakoriságú random és alacsony gyakoriságú random ingerekre adott teljesítmény összehasonlításával vizsgálhatjuk a statisztikai tanulást. A magas gyakoriságú random és az alacsony gyakoriságú random ingerek megegyeznek abban, hogy véletlenszerűen jelennek meg, tehát nem az előre meghatározott szekvencia részei, viszont az előbbi egy magas gyakoriságú triplett utolsó eleme, míg az utóbbi egy alacsony gyakoriságú triplett utolsó

elemeként szerepel. A magas gyakoriságú random ingerre adott jobb teljesítmény jobb statisztikai tanulást jelez számunkra.

A kísérlet során a vizsgálati személyek 20 blokk ASRT-t hajtottak végre, amelyben 1 blokk 85 ingert foglalt magában. A blokkok elején 5 random inger szerepelt, majd 10-szer egymás után az alternáló szekvencia. Minden blokk végén rákérdeztünk a szekvenciáról szerzett tudásukra: arra kértük a vizsgálati személyeket, hogy idézzék fel, és a megfelelő gombok megnyomásával jelöljék a fekete nyilak felvillanásának sorrendjét.

## A

| Sz | r |   | Sz | r |   | Sz | r |   | Sz | r |   | Sz | r |   | Sz | r |   | Sz | r |   |
|----|---|---|----|---|---|----|---|---|----|---|---|----|---|---|----|---|---|----|---|---|
| 1  | 1 | 2 | 2  | 1 | 2 | 4  | 1 | 2 | 3  | 1 | 2 | 1  | 1 | 2 | 2  | 1 | 2 | 4  | 1 | 2 |
|    | 3 | 4 |    | 3 | 4 |    | 3 | 4 |    | 3 | 4 |    | 3 | 4 |    | 3 | 4 |    | 3 | 4 |

## B

|                                                          | Szerkezet: Sz-r-Sz (az utolsó elem mindig szekvencia) | Szerkezet: r-Sz-r (az utolsó elem mindig random) |                                                                                  |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Magas gyakoriságú tripletek (az összes inger 62,5%-a)    | 3-4-1 (50%)                                           | 3-4-1 (12,5%)                                    | Szekvenciatanulás:<br>magas gyakoriságú szekvencia<br>- magas gyakoriságú random |
| Alacsony gyakoriságú tripletek (az összes inger 37,5%-a) | sosem fordul elő (mindig magas)                       | 3-4-2 (12,5%)<br>3-4-3 (12,5%)<br>3-4-4 (12,5%)  |                                                                                  |

Statisztikai tanulás:  
magas gyakoriságú  
random - alacsony  
gyakoriságú random

**1. ábra. Az ASRT feladat.** Az 1A ábrán egy szekvencia struktúrája látható, az 1B ábrán pedig a cued ASRT feladat során mért tanulási mechanizmusok és előforduló tripllett típusok láthatóak. Az „Sz” a szekvencia ingereket jelöli, amelyeknél a nyíl iránya egy előre meghatározott sorrendet követett, az „r” pedig egy véletlenszerűen megjelenő irányt jelöl. Megkülönböztetünk magas gyakoriságú tripleteket, amelyek utolsó eleme szekvencia (piros színnel jelölt) és magas gyakoriságú tripleteket, amelyek utolsó eleme random (sárga színnel jelölt). Az alacsony gyakoriságú tripletek (kék színnel jelölt) utolsó eleme kizárólag random lehet, mivel a szekvencia tripletek csak magas gyakorisággal fordulnak elő. A magas gyakoriságú szekvencia és a magas gyakoriságú random ingerekre adott teljesítmény összehasonlításával mérhetjük a szekvenciatanulást, míg a magas gyakoriságú random és alacsony gyakoriságú random ingerekre adott teljesítmény összehasonlításával vizsgálhatjuk a statisztikai tanulást. Tóth-Fáber és mtsai. (2021) cikkéből adaptálva (9. oldal).

### *Yale Globális Tik Tünetsúlyossági Skála (YGTSS)*

A Yale Globális Tik Tünetsúlyosság Skála (YGTSS) segítségével mértük fel a tünetek súlyosságát, amely egy széles körben használt mérőeszköz a TS és más tikzavarok diagnosztizálásában (Leckman és mtsai., 1989). A YGTSS egy félig strukturált interjú, melynek első részében a vizsgálatvezető egy motoros és vokális tik tünetlista segítségével felméri az elmúlt hét során, illetve a valaha előfordult tikek fajtáját és megjelenésük helyét. A második részben 5+1 dimenzió mentén meghatároz egy objektív összesített értéket, amely maximális értéke 50 lehet. Az 5 dimenzió a tünetek száma, gyakorisága, intenzitása, komplexitása és zavaró hatása, amely kiegészül az egyén szubjektív értékelésével, amely maximális értéke szintén 50 pont lehet (Nagy és mtsai., 2020).

### ***Eljárás***

A vizsgálatok egymással párhuzamosan Budapesten, Drezdában és Lübeckben zajlottak. A kutatási projekt egy nemzetközi együttműködés keretében valósult meg.

Mind a TS, mind a NT csoport esetén felvételre került a Yale Globális Tik-Tünetsúlyossági Skála (Yale Global Tic Severity Scale, YGTSS; Leckman és mtsai., 1989) és Yale Brown Obszesszív-Kompulzív Skála (Yale Brown Obsessive-Compulsive Scale, Y-BOCS; Goodman és mtsai., 1989), amelyek félig strukturált klinikai interjúk. A NT csoport olyan tagjait, akiknél valamilyen pszichiátriai diagnózis gyanúja merült fel, nem vontuk be a későbbi adatelemzésbe. Az interjúk felvételét és a kérdőívek kitöltését egy nyugalmi helyzetben történő, agyi aktivitást vizsgáló Resting State feladat követte. Ezt követően a vizsgálati személyek végrehajtották az ASRT procedurális tanulási feladatot, amit szintén egy Resting State rész követett. Minden személy informált hozzájárulását adta a részvételhez.

A kísérletek egy hangszigetelt szobában zajlottak, ahol a résztvevők egy képernyő és egy le-fel-balra-jobbra és középső gombbal rendelkező konzol segítségével hajtották végre a feladatokat. A kísérlet során a viselkedés vizsgálata mellett az agyi aktivitást is mértük elektrofiziológiai szinten, EEG segítségével. Ehhez egy 64 csatornás EasyCap sapkát (EasyCap, Brain Products GmbH., Gilching Germany) az elemzéshez pedig BrainVision Recorder szoftvert (BrainVision Recorder, Version 2.2.2, Brain Products GmbH., Gilching, Germany) használtunk. A jelenlegi kutatásban kizárólag a viselkedéses adatok kerülnek elemzésre.

## ***Statisztikai módszerek***

A korábbi kutatásokra támaszkodva választottam meg a használt statisztikai próbákat (Kóbor és mtsai., 2018; Nemeth és mtsai., 2013; Simor és mtsai., 2019; Tóth-Fáber és mtsai., 2021). A 20 blokk kisebb periódusokra lett bontva; 4 epochot hoztunk létre, melyek egyenként 5-5 blokkot foglalnak magukban. Az ingereket csoportosítottuk az alapján, hogy egy magas gyakoriságú szekvencia, magas gyakoriságú random vagy egy alacsony gyakoriságú random triplett utolsó tagjai-e. Az ismétlődések (pl.: 1-1-1) és a trillek (pl.: 1-2-1) kizárásra kerültek. Kiszámítottuk a helyes válaszokra adott reakcióidők mediánját és a pontosságok átlagát (százalékban megadva) minden triplett típusra, minden résztvevő esetén, minden epochban.

A két tanulási mechanizmus csoportok közötti vizsgálatát vegyes varianciaanalízissel (mixed-design ANOVA) végeztem. A statisztikai tanulás elemzésénél a személyen belüli változói a TRIPLETT (magas gyakoriságú random és alacsony gyakoriságú random tripletek) és az EPOCH (1-4), a személyek közötti változó pedig a CSOPORT (TS és NT) volt. A szekvenciatanulás esetén az ANOVA személyen belüli változói a TRIPLETT (magas gyakoriságú szekvencia és magas gyakoriságú random tripletek) és az EPOCH (1-4), a személyek közötti változója a CSOPORT (TS és NT) volt. A hatásméretet parciális étanégyzetben ( $\eta^2_p$ ) adtam meg. Az adatok kiértékelése a JASP statisztikai programmal történt (JASP Team, 0.18.1 verzió, 2023).

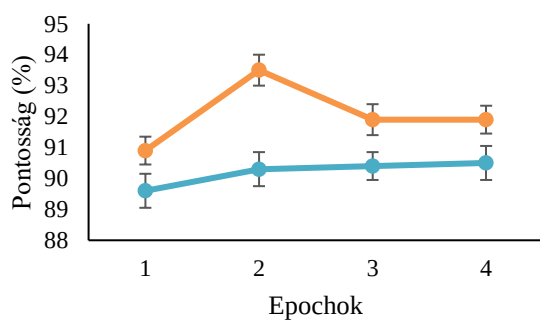
## **Eredmények**

### ***Statisztikai tanulás***

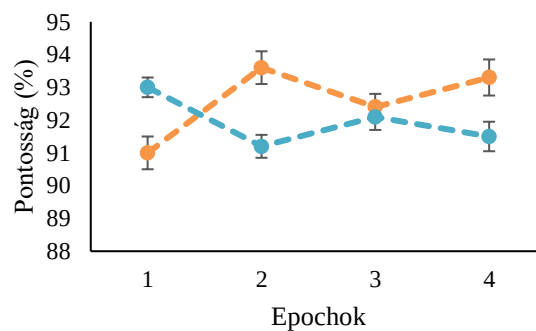
A statisztikai tanulás vizsgálata során összehasonlítottam a két csoport között a teljesítményt a magas gyakoriságú random és az alacsony gyakoriságú random tripletekre a 4 epochban (lásd Statisztikai módszerek fejezet), pontosságot tekintve. A pontos statisztikai eredmények a 2. táblázatban találhatóak. A szignifikáns TRIPLETT\*CSOPORT interakció azt jelzi, hogy az egész feladaton mutatott tanulás mértéke eltér a csoportok között: a Holm-féle post hoc teszt alapján a TS csoport jobb tanulást mutatott, mint a NT csoport. Szignifikáns eltérést találtam TS csoport magas gyakoriságú random tripletekre mutatott pontossága és az alacsony gyakoriságú random tripletekre mutatott pontossága között ( $M_{magas\ gyakoriságú\ random} = 93,065\%$ ;  $M_{alacsony\ gyakoriságú\ random} = 91,08\%$ ;  $p_{holm} < 0,001$ ). A NT csoport magas gyakoriságú random tripletekre mutatott pontossága és az alacsony gyakoriságú tripletekre mutatott pontossága között nem találtam szignifikáns eltérést ( $p_{holm} = 0,388$ ).

**2. táblázat.** A vegyes ANOVA-k eredményei a statisztikai tanulást tekintve.

| Főhatások és interakciók                 | $F$     | $p$     | $\eta^2_p$ |
|------------------------------------------|---------|---------|------------|
| Pontosság                                |         |         |            |
| Epoch                                    | 0,623   | 0,601   | 0,013      |
| Triplett                                 | 17,558  | < 0,001 | 0,268      |
| Csoport                                  | 1,474   | 0,231   | 0,030      |
| Triplett $\times$ Epoch                  | 2,886   | 0,038   | 0,057      |
| Epoch $\times$ Csoport                   | 0,314   | 0,815   | 0,006      |
| Triplett $\times$ Csoport                | 4,032   | 0,05    | 0,077      |
| Triplett $\times$ Epoch $\times$ Csoport | 1,346   | 0,262   | 0,027      |
| Reakcióidő                               |         |         |            |
| Epoch                                    | 30,809  | < 0,001 | 0,391      |
| Triplett                                 | 149,934 | < 0,001 | 0,757      |
| Csoport                                  | 2,518   | 0,119   | 0,050      |
| Triplett $\times$ Epoch                  | 13,665  | < 0,001 | 0,222      |
| Epoch $\times$ Csoport                   | 0,972   | 0,972   | 0,020      |
| Triplett $\times$ Csoport                | 0,718   | 0,401   | 0,015      |
| Triplett $\times$ Epoch $\times$ Csoport | 1,400   | 0,245   | 0,028      |

**A**

—●— TS magas gyakoriságú random  
 —●— TS alacsony gyakoriságú random

**B**

—●— NT magas gyakoriságú random  
 —●— NT alacsony gyakoriságú random

**2. ábra. Statisztikai tanulás a (A) TS és (B) NT csoportokban.** A folytonos vonalak a TS csoport, a szaggatott vonalak az NT csoport teljesítményét jelölik a feladat 4 epochjában. Sárga színnel a magas gyakoriságú random, kék színnel az alacsony gyakoriságú random ingerekre mutatott pontosság látható. A hibásávok a standard hibát jelölik.

### *Szekvenciatanulás*

A szekvenciatanulás vizsgálata során a két csoport magas gyakoriságú szekvencia és magas gyakoriságú random triplettekre adott pontosságát hasonlítottam össze a 4 epoch alatt (lásd Statisztikai módszerek fejezet). A pontos statisztikai eredmények a 3. táblázatban találhatóak. Nem mutatkozott különbség a tanulási teljesítményben a két csoport között.

**3. táblázat.** A vegyes ANOVA-k eredményei a szekvenciatanulást tekintve.

| Főhatások és interakciók                 | $F$    | $p$     | $\eta^2_p$ |
|------------------------------------------|--------|---------|------------|
| Pontosság                                |        |         |            |
| Epoch                                    | 1,336  | 0,265   | 0,027      |
| Triplett                                 | 13,440 | < 0,001 | 0,219      |
| Csoport                                  | 1,222  | 0,275   | 0,025      |
| Triplett $\times$ Epoch                  | 2,693  | 0,048   | 0,053      |
| Epoch $\times$ Csoport                   | 1,461  | 0,228   | 0,030      |
| Triplett $\times$ Csoport                | 0,438  | 0,511   | 0,009      |
| Triplett $\times$ Epoch $\times$ Csoport | 0,196  | 0,899   | 0,004      |
| Reakcióidő                               |        |         |            |
| Epoch                                    | 37,379 | < 0,001 | 0,438      |
| Triplett                                 | 35,648 | < 0,001 | 0,010      |
| Csoport                                  | 0,655  | 0,422   | 0,013      |
| Triplett $\times$ Epoch                  | 15,089 | < 0,001 | 0,239      |
| Epoch $\times$ Csoport                   | 0,936  | 0,425   | 0,019      |
| Triplett $\times$ Csoport                | 0,465  | 0,499   | 0,010      |
| Triplett $\times$ Epoch $\times$ Csoport | 2,280  | 0,082   | 0,045      |

### **Statisztikai tanulás a komorbiditás nélküli mintán**

A TS-val élő személyek mintájában nagy számban fordultak elő komorbid zavarokkal élők, így indokoltnak láttam a komorbiditástól mentes TS-val élők és a komorbiditás nélküli csoport személyeihez korábban párosított NT kontrollszemélyek mintáján elvégezni statisztikai próbákat. 15 személyt soroltam a komorbiditás nélküli TS csoportba ( $M_{életkor} = 31,27$  év;  $SD = 9,41$  év), és 15 személy párosult ehhez a NT kontrollcsoportból ( $M_{életkor} = 29,20$  év;  $SD = 10,92$  év).

Elsőként szintén a statisztikai tanulást vizsgáltam, vegyes ANOVA-val hasonlítottam össze a két csoport feladaton mutatott pontosságát a magas gyakoriságú random és az alacsony gyakoriságú random tripletek vizsgálatával a 4 epochban. A pontos eredmények a 4. táblázatban láthatóak. Szignifikáns volt a TRIPLETT\*CSOPORT interakció, a komorbiditás nélküli TS csoport jobb tanulást mutatott, mint a komorbiditás nélküli NT csoport. A TRIPLETT  $\times$  CSOPORT interakció post hoc tesztje során szignifikáns eltérést találtam a komorbiditás nélküli TS csoport magas gyakoriságú random tripletekre adott pontossága és alacsony gyakoriságú random tripletekre adott pontossága között ( $M_{magas\ gyakoriságú\ random} = 93,609\%$ ;  $M_{alacsony\ gyakoriságú\ random} = 90,909\%$ ;  $p_{holm} < 0,001$ ). A komorbiditás nélküli NT csoport magas gyakoriságú random tripletekre mutatott pontossága és az alacsony gyakoriságú tripletekre mutatott pontossága között nem találtam szignifikáns eltérést ( $p_{holm} = 0,888$ ).

#### **4. táblázat.** A vegyes ANOVA-k eredményei a statisztikai tanulást tekintve a komorbiditás nélküli mintán.

| Főhatások és interakciók                 | $F$    | $p$     | $\eta^2_p$ |
|------------------------------------------|--------|---------|------------|
| Pontosság                                |        |         |            |
| Epoch                                    | 0,816  | 0,488   | 0,028      |
| Triplett                                 | 15,339 | < 0,001 | 0,354      |
| Csoport                                  | 0,434  | 0,515   | 0,015      |
| Triplett $\times$ Epoch                  | 1,099  | 0,354   | 0,038      |
| Epoch $\times$ Csoport                   | 0,404  | 0,750   | 0,014      |
| Triplett $\times$ Csoport                | 5,809  | 0,023   | 0,172      |
| Triplett $\times$ Epoch $\times$ Csoport | 0,770  | 0,514   | 0,027      |

| Reakcióidő                 |        |         |       |
|----------------------------|--------|---------|-------|
| Epoch                      | 19,694 | < 0,001 | 0,413 |
| Triplett                   | 89,224 | < 0,001 | 0,761 |
| Csoport                    | 1,835  | 0,186   | 0,062 |
| Triplett × Epoch           | 12,388 | < 0,001 | 0,307 |
| Epoch × Csoport            | 1,560  | 0,205   | 0,053 |
| Triplett × Csoport         | 0,938  | 0,341   | 0,032 |
| Triplett × Epoch × Csoport | 2,601  | 0,057   | 0,085 |

### *Szekvenciatanulás a komorbiditás nélküli mintán*

A szekvenciatanulás vizsgálata során a két csoport magas gyakoriságú szekvencia és magas gyakoriságú random tripletekre adott pontosságát hasonlítottam össze a 4 epoch alatt, az eredmények az 5. táblázatban találhatóak. Nem mutatkozott különbség a tanulási teljesítményben a két csoport között.

**5. táblázat.** A vegyes ANOVA-k eredményei a szekvenciatanulást tekintve a komorbiditás nélküli mintán.

| Főhatások és interakciók   | <i>F</i> | <i>p</i> | $\eta^2_p$ |
|----------------------------|----------|----------|------------|
| Pontosság                  |          |          |            |
| Epoch                      | 0,469    | 0,705    | 0,016      |
| Triplett                   | 5,972    | 0,021    | 0,176      |
| Csoport                    | 0,072    | 0,790    | 0,003      |
| Triplett × Epoch           | 1,114    | 0,348    | 0,038      |
| Epoch × Csoport            | 0,871    | 0,459    | 0,030      |
| Triplett × Csoport         | 0,593    | 0,448    | 0,021      |
| Triplett × Epoch × Csoport | 0,412    | 0,745    | 0,014      |
| Reakcióidő                 |          |          |            |
| Epoch                      | 25,083   | < 0,001  | 0,473      |
| Triplett                   | 23,644   | < 0,001  | 0,458      |

|                            |        |         |       |
|----------------------------|--------|---------|-------|
| Csoport                    | 1,078  | 0,308   | 0,037 |
| Triplett × Epoch           | 10,398 | < 0,001 | 0,271 |
| Epoch × Csoport            | 0,261  | 0,853   | 0,009 |
| Triplett × Csoport         | 0,035  | 0,853   | 0,001 |
| Triplett × Epoch × Csoport | 1,229  | 0,304   | 0,042 |

## Diszkusszió

Jelen dolgozat célja az volt, hogy feltárjam a procedurális tanulás két aspektusának szerepét a procedurális hiperfunktionalításban a Tourette-szindrómával élők körében. Az Alternáló Szeriális Reakcióidő feladat cued változatának segítségével egy időben mérhettük a statisztikai tanulást, amely a gyakorisági információ elsajátítását jelenti, és szekvenciatanulást, amely sorrendiségi információ elsajátítását jelenti. Az eredmények alapján a TS csoport jobb statisztikai tanulást mutatott, mint a NT kontrollcsoport. A szekvenciatanulásban nem találtam szignifikáns különbséget a két csoport között.

Mind az eredeti TS csoportban, mind a komorbid zavarokkal nem rendelkező TS csoportban nagyobb mértékű statisztikai tanulás volt felfedezhető kontroll csoportokhoz képest. Szignifikánsan pontosabb válaszokat mutattak a TS csoport tagjai a gyakrabban látott ingerekre, mint a kevésbé gyakoriakra. Erről a statisztikai információra való érzékenységről Takács és mtsai. (2018) cikke is beszámol. A gyermek mintán végzett kutatás során a TS csoport szintén jobb statisztikai tanulást mutatott, a TS-val élő gyermekek megtanultak különbséget tenni a gyakrabban látott és a ritkábban látott ingerek között, NT társaiktól eltérően. Míg a magas gyakoriságú tripletekre egy idő után konzisztensen magas pontosságot mutattak, az alacsony gyakoriságú tripletekre mutatott pontosság leromlott. A hibák megnőtt számát magyarázhatja az, hogy a magas gyakoriságú tripletekről való megnőtt tudásuk segítségével tévesen jósolták be az alacsony gyakoriságú tripletek utolsó tagjait, így megnőtt a predikciós hibák száma (Takács és mtsai., 2018). Tóth-Fáber és mtsai. (2021) hasonlóképpen jobb statisztikai tanulást találtak a TS-val élő gyerekeknél, mint tipikusan fejlődő kortársaiknál. Ezek az eredmények a korábbi kutatásokkal együtt TS-ban megjelenő hiperfunktionalításra utalnak (Dye és mtsai., 2016; Palminteri és mtsai., 2011; Takács és mtsai., 2018; Tóth-Fáber és mtsai., 2021; Walenski és mtsai., 2007).

Tóth-Fáber és mtsai. (2021) kutatásukban vizsgálták a procedurális tanulás két aspektusát, ahol a cued ASRT feladaton kapott eredmény alapján sérült szekvenciatanulást

mutattak ki TS-s gyermekeknél. A módszertani hasonlóság miatt erre a kutatásra alapoztam a hipotézisem, miszerint a TS-val élő felnőttek sérült szekvenciatanulást mutatnak. A szekvenciatanulásban nem mutatkozott különbség sem az eredeti TS és NT, sem a komorbiditás nélküli TS és komorbiditás nélküli NT csoportok között, tehát az eredmények nem feleltek meg elvárásainknak. Hasonlóan Channon, Pratt és mtsai. (2003) eredményeihez, itt sem mutatható ki eltérés a klinikai és a kontrollcsoport között.

A TS csoportban nagy számban fordulnak elő komorbid zavarokkal élők, ilyen zavarok például az obszesszív-kompulzív zavar (OCD), figyelemhiányos hiperaktivitási zavar (ADHD), és a depresszió. Mintánkban a TS-val élő vizsgálati személyek körülbelül harmada van diagnosztizálva, vagy tapasztal magán depresszióra utaló tüneteket bevallása szerint. Fontos figyelembe venni, hogy a komorbid diagnózisok befolyásolhatják a tanulási teljesítményt. Bár az egyes komorbiditások hatásának vizsgálata nem volt ennek a kutatásnak a célja, érdekes eredmény, hogy a komorbiditás nélküli mintán erősebbnek mutatkoztak a statisztikai tanulás pontosság mutatóin kapott jobb tanulás eredményei a TS csoportban a teljes mintához képest. Egy lehetséges magyarázat erre a depresszió magas arányban való jelenléte a teljes TS mintán, korábbi kutatások ugyanis sérült statisztikai tanulást mutattak depresszív epizóddal és major depresszióval élőkénél (Janacsek és mtsai., 2017). Későbbi kutatásokban érdemes lenne célzottan vizsgálni ezt a kérdéskört, komorbiditás nélküli TS, komorbiditás nélküli depresszió és komorbid TS-depresszió mintákat vizsgálva.

Bár a TS csoport jobb statisztikai tanulást mutatott, mint a NT kontrollcsoport, ez korántsem jelenti azt, hogy adaptív lenne ez a teljesítmény. Takács és mtsai. (2018) cikkében megjelenő statisztikai információra való érzékenység együtt járt a predikciós hibák emelkedésével, amely eredmény a megszerzett információ rugalmatlanságára, rigid reprezentációkra utalnak. Goodman és mtsai. (2014) a tikeket a „félresikerült szokáselsajátítás” eredményének tulajdonítják, és szintén hangsúlyozza ezek rigid természetét. A korábbi kutatások alapján érdemes lehet közelebbről megvizsgálni az áthuzalozást (rewiring) a TS-val élők körében. Az áthuzalozás, vagyis a már létező perceptuális, motoros, kognitív és szociális készségek vagy szokások felülírása egy olyan jelenség, amely megtörténhet szándékosan és véletlenül is. Áthuzalozásra lehet szükségünk, amikor például új nyelvet próbálunk elsajátítani, hangszeren játszunk, vagy amikor először vezetünk autót olyan országban, ahol bal oldalt kell haladni az utakon (Szegedi-Hallgató és mtsai., 2017). Az ASRT feladat segítségével elsőként egy „A” szekvencia tanulása lehetne a feladat, majd egy különböző „B” szekvenciát tanulnának a résztvevők. Egy következő feladatrészt során lehetne mérni azt, hogy felülírta-e az „A” szekvencia a „B” szekvenciát, milyen interferencia lép fel a szekvenciák között, vagy hogy

mennyire elérhetőek a különböző szekvenciák, melyikről van nagyobb implicit vagy explicit információja a résztvevőnek. Érdekes lenne vizsgálni emellett a szekvenciatanulás és a statisztikai tanulás különbségeit is a feladat során. A tikek és szokások hasonlóságai, a rigid reprezentációk, és az áthuzalozás vizsgálata lehetőséget adhat a TS mélyebb megértésére, és akár a zavarral élők terápiás segítésében is hasznunkra válhat, többek között a viselkedésterápia, és a szokás-visszafordítási tréning területén (Piacentini és mtsai., 2010).

Albin és Mink (2006) szerint a tikek rosszul elsajátított inger-válasz asszociációkat tükrözhetnek, illetve Beste és Münchau (2018) elmélete szerint a tikek túl rigidén reprezentált inger-válasz asszociációk lehetnek. A tikek és az inger-válasz asszociációk között feltételezett korábbi összefüggések alapján Kleimaker és mtsai. (2020) vizsgálták az észlelés és a cselekvés kapcsolatát egy vizuomotoros feladatban TS-val élő felnőttek mintáján. Kleimaker és mtsai. (2020) jobb inger-válasz tanulást mutattak TS-val élő felnőttek csoportján, amely szintén bizonyíték lehet a TS-ban megjelenő procedurális túlműködésre. Emellett korrelációt találtak a tikek erőssége és a feladaton nyújtott jobb teljesítmény között, amely arra enged következtetni, hogy az inger-válasz asszociációk szorosan összefüggenek a tikek megjelenésével. Takács és mtsai. (2021) az TS-ban tetten érhető atipikus inger-válasz asszociációkat idői síkban elhelyezve elemezték. Feltételezésük szerint rövidtávon elsajátított inger-válasz asszociációkból eredeztethetőek a hosszabb távon értelmezhető tanulási mintázatok. Ez alapján a tanult inger-válasz asszociációk a procedurális emlékek építőkövei lehetnek. Az inger-válasz tanulás túlműködése feltételezhetően rigid reprezentációkat eredményez, amelyek pedig rugalmatlan szokásokat eredményeznek. Hasonlóságaik ellenére az inger-válasz tanulás és a procedurális szekvenciatanulás más-más időskálán mozog, de mindkettő hozzájárul a TS általános kognitív profiljához, így későbbi kutatásokban érdemes lehet együtt vizsgálni a folyamatokat.

Ebben a dolgozatban kizárólag a viselkedéses adatok kerültek elemzésre, ám az adataink és a korábbi kutatások alapján feltételezhetjük, hogy a statisztikai tanulásban mutatott előnye a TS csoportnak az EEG eredményekben is feltűnik. Tóth és mtsai. (2017) cikkükben EEG használatával mérték az agyi aktivitást ASRT feladat közben neurotipikus felnőttek mintáján. Eredményeik azt mutatták, hogy a statisztikai tanulási teljesítmény negatívan korrelál a konnektivitás erősségével theta frekvenciában. Ez a negatív korreláció erősebb volt a tanulási feladat elején, mint a feladat végén. Jelen kutatásban a TS csoport statisztikai tanulásban mutatott előnyére alapozva feltételezhetjük, hogy a tanulási index és a theta konnektivitás között erősebb kapcsolatot találunk a TS csoportban, mint az NT csoportban.

A procedurális tanulás, ezen belül a statisztikai tanulás és a szekvenciatanulás, és a TS kapcsolatát idáig meglehetősen kevés kutatás vizsgálta felnőtt mintán, így kifejezetten fontosnak tartom ennek az átfogó vizsgálatát. Mind a TS életkorral változó mivolta, mind a procedurális tanulás élethosszon át tartó változásai is olyan tényezők, amelyek releváns kutatási területté teszik a zavar és a procedurális memória kapcsolatát. Emellett fontos kiemelni, hogy egy fejlődési zavar vagy patológia nemcsak diszfunkciókkal, sérülésekkel járhat, hanem egyes funkciók jobb működésével is. Ez, és ehhez hasonló kutatások reményeim szerint hozzájárulnak ahhoz, hogy a Tourette-szindróma, és más zavarok ne stigmaként éljenek a köztudatban.

Kijelentem, hogy semmilyen MI-technológiával előállított tartalom nem került bemutatásra saját munkaként.

## Irodalom

- Albin, R. L., Koeppe, R. A., Bohnen, N. I., Nichols, T. E., Meyer, P., Wernette, K., Minoshima, S., Kilbourn, M. R., & Frey, K. A. (2003). Increased ventral striatal monoaminergic innervation in Tourette syndrome. *Neurology*, 61(3), 310–315. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000076181.39162.fc>
- Albin, R. L., & Mink, J. W. (2006). Recent advances in Tourette syndrome research. *Trends in Neurosciences*, 29(3), 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.01.001>
- American Psychiatric Association (Szerk.). (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5* (5th ed). American Psychiatric Association.
- Barnes, K. A., Howard, J. H., Howard, D. V., Kenealy, L., & Vaidya, C. J. (2010). Two forms of implicit learning in childhood ADHD. *Developmental Neuropsychology*, 35(5), 494–505. <https://doi.org/10.1080/87565641.2010.494750>
- Beste, C., & Münchau, A. (2018). Tics and Tourette syndrome—Surplus of actions rather than disorder? *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 33(2), 238–242. <https://doi.org/10.1002/mds.27244>
- Bloch, M. H., & Leckman, J. F. (2009). Clinical course of Tourette syndrome. *Journal of Psychosomatic Research*, 67(6), 497–501. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2009.09.002>
- BrainVision Recorder (Version 2.2.2). (2021). Brain Products GmbH.
- Channon, S., Crawford, S., Vakili, K., & Robertson, M. M. (2003). Real-life-type problem solving in Tourette syndrome. *Cognitive and Behavioral Neurology: Official Journal of the Society for Behavioral and Cognitive Neurology*, 16(1), 3–15.
- Channon, S., Pratt, P., & Robertson, M. M. (2003). Executive function, memory, and learning in Tourette's syndrome. *Neuropsychology*, 17(2), 247–254. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.17.2.247>
- Cohen, A. J., & Leckman, J. F. (1992). Sensory phenomena associated with Gilles de la Tourette's syndrome. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 53(9), 319–323.

- Csépe V., Győri M., & Ragó A. (2007). A deklaratív emlékezet – epizodikus és önéletrajzi emlékezet. In *Általános pszichológia II.* (8.o.; o. 131–153). Osiris Kiadó.
- Delorme, C., Salvador, A., Valabrègue, R., Roze, E., Palminteri, S., Vidailhet, M., de Wit, S., Robbins, T., Hartmann, A., & Worbe, Y. (2016). Enhanced habit formation in Gilles de la Tourette syndrome. *Brain: A Journal of Neurology*, 139(Pt 2), 605–615. <https://doi.org/10.1093/brain/awv307>
- Doyon, J., Bellec, P., Amsel, R., Penhune, V., Monchi, O., Carrier, J., Lehericy, S., & Benali, H. (2009). Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behavioural Brain Research*, 199(1), 61–75. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.11.012>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2016.07.005>
- EasyCap (64 channels). (2019). Brain Products GmbH.
- Eddy, C. M., Mitchell, I. J., Beck, S. R., Cavanna, A. E., & Rickards, H. E. (2010). Altered Attribution of Intention in Tourette’s Syndrome. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 22(3), 348–351. <https://doi.org/10.1176/jnp.2010.22.3.348>
- 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, and Allied Disciplines*, 55(6), 582–610. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12169>
- Goodman, W. K., Price, L. H., Rasmussen, S. A., Mazure, C., Fleischmann, R. L., Hill, C. L., Heninger, G. R., & Charney, D. S. (1989). The Yale-Brown Obsessive Compulsive Scale. I. Development, use, and reliability. *Archives of General Psychiatry*, 46(11), 1006–1011. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1989.01810110048007>
- Howard, D. V., Howard Jr., J. H., Japikse, K., DiYanni, C., Thompson, A., & Somberg, R. (2004). Implicit Sequence Learning: Effects of Level of Structure, Adult Age, and Extended Practice. *Psychology and Aging*, 19, 79–92. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.1.79>

- Howard Jr., J. H., & Howard, D. V. (1997). Age differences in implicit learning of higher order dependencies in serial patterns. *Psychology and Aging*, 12(4), 634–656. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.12.4.634>
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01150.x>
- Janacsek, K., Borbély-Ipkovich, E., Nemeth, D., & Gonda, X. (2017). How can the depressed mind extract and remember predictive relationships of the environment? Evidence from implicit probabilistic sequence learning. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 81, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2017.09.021>
- JASP Team. (2023). JASP (0.18.1).
- Kathmann, N., Rupertseder, C., Hauke, W., & Zaudig, M. (2005). Implicit sequence learning in obsessive-compulsive disorder: Further support for the fronto-striatal dysfunction model. *Biological Psychiatry*, 58(3), 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.03.045>
- Kéri, S., Szlobodnyik, C., Benedek, G., Janka, Z., & Gádos, J. (2002). Probabilistic classification learning in Tourette syndrome. *Neuropsychologia*, 40, 1356–1362. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00210-X](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00210-X)
- Kleimaker, M., Takacs, A., Conte, G., Onken, R., Verrel, J., Bäumer, T., Münchau, A., & Beste, C. (2020). Increased perception-action binding in Tourette syndrome. *Brain*, 143(6), 1934–1945. <https://doi.org/10.1093/brain/awaa111>
- 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 & Adolescent Psychiatry*, 28(4), 566–573. <https://doi.org/10.1097/00004583-198907000-00015>
- Maia, T. V., & Frank, M. J. (2011). From reinforcement learning models to psychiatric and neurological disorders. *Nature Neuroscience*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/nn.2723>

- Marsh, R., Alexander, G. M., Packard, M. G., Zhu, H., Wingard, J. C., Quackenbush, G., & Peterson, B. S. (2004). Habit learning in Tourette syndrome: A translational neuroscience approach to a developmental psychopathology. *Archives of General Psychiatry*, 61(12), 1259–1268. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.61.12.1259>
- Mink, J. W. (2001). Basal ganglia dysfunction in Tourette's syndrome: A new hypothesis. *Pediatric Neurology*, 25(3), 190–198. [https://doi.org/10.1016/s0887-8994\(01\)00262-4](https://doi.org/10.1016/s0887-8994(01)00262-4)
- Morand-Beaulieu, S., Leclerc, J. B., Valois, P., Lavoie, M. E., O'Connor, K. P., & Gauthier, B. (2017). A Review of the Neuropsychological Dimensions of Tourette Syndrome. *Brain Sciences*, 7(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/brainsci7080106>
- Müller-Vahl, K. R., Grosskreutz, J., Prell, T., Kaufmann, J., Bodammer, N., & Peschel, T. (2014). Tics are caused by alterations in prefrontal areas, thalamus and putamen, while changes in the cingulate gyrus reflect secondary compensatory mechanisms. *BMC Neuroscience*, 15(1), 6. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-15-6>
- Müller-Vahl, K. R., Kaufmann, J., Grosskreutz, J., Dengler, R., Emrich, H. M., & Peschel, T. (2009). Prefrontal and anterior cingulate cortex abnormalities in Tourette Syndrome: Evidence from voxel-based morphometry and magnetization transfer imaging. *BMC Neuroscience*, 10, 47. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-47>
- Nagy, P., Bognár, E., Farkas, L., Kenézlői, E., Vida, P., Gádoros, J., & Tárnok, Z. (2020). Tourette-szindrómás gyerekek klinikai jellemzői. *PSYCHIATRIA HUNGARICA*, 35(1), 37-45.
- 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. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fncom.2013.00147>
- Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19(1), 1–32. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(87\)90002-8](https://doi.org/10.1016/0010-0285(87)90002-8)
- Palminteri, S., Lebreton, M., Worbe, Y., Hartmann, A., Lehericy, S., Vidailhet, M., Grabli, D., & Pessiglione, M. (2011). Dopamine-dependent reinforcement of motor skill learning: Evidence from Gilles de la Tourette syndrome. *Brain: A Journal of Neurology*, 134(Pt 8), 2287–2301. <https://doi.org/10.1093/brain/awr147>

- Peterson, B. S., Skudlarski, P., Anderson, A. W., Zhang, H., Gatenby, J. C., Lacadie, C. M., Leckman, J. F., & Gore, J. C. (1998). A functional magnetic resonance imaging study of tic suppression in Tourette syndrome. *Archives of General Psychiatry*, 55(4), 326–333. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.55.4.326>
- Peterson, B. S., Thomas, P., Kane, M. J., Scahill, L., Zhang, H., Bronen, R., King, R. A., Leckman, J. F., & Staib, L. (2003). Basal Ganglia volumes in patients with Gilles de la Tourette syndrome. *Archives of General Psychiatry*, 60(4), 415–424. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.60.4.415>
- Piacentini, J., Woods, D. W., Scahill, L., Wilhelm, S., Peterson, A. L., Chang, S., Ginsburg, G. S., Deckersbach, T., Dziura, J., Levi-Pearl, S., & Walkup, J. T. (2010). Behavior therapy for children with Tourette disorder: A randomized controlled trial. *JAMA*, 303(19), 1929–1937. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.607>
- Poldrack, R. A., & Foerde, K. (2008). Category learning and the memory systems debate. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(2), 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2007.07.007>
- 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/10.1016/S0028-3932\(02\)00157-4](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00157-4)
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6(6), 855–863. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(67\)80149-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(67)80149-X)
- Robertson, M. M. (2015). A personal 35 year perspective on Gilles de la Tourette syndrome: Prevalence, phenomenology, comorbidities, and coexistent psychopathologies. *The Lancet Psychiatry*, 2(1), 68–87. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(14\)00132-1](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(14)00132-1)
- Robertson, M. M., Eapen, V., Singer, H. S., Martino, D., Scharf, J. M., Paschou, P., Roessner, V., Woods, D. W., Hariz, M., Mathews, C. A., Črnčec, R., & Leckman, J. F. (2017). Gilles de la Tourette syndrome. *Nature Reviews. Disease Primers*, 3, 16097. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.97>
- 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. <https://doi.org/10.1111/jnp.12167>

- Simor, P., Zavecz, Z., Horváth, K., Éltető, N., Török, C., Pesthy, O., Gombos, F., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2019). Deconstructing Procedural Memory: Different Learning Trajectories and Consolidation of Sequence and Statistical Learning. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2018.02708>
- Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, 82(3), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2004.06.005>
- Squire, L. R., & Wixted, J. T. (2011). The cognitive neuroscience of human memory since H.M. *Annual Review of Neuroscience*, 34, 259–288. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113720>
- Squire, L. R., & Zola-Morgan, S. (1988). Memory: Brain systems and behavior. *Trends in Neurosciences*, 11(4), 170–175. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(88\)90144-0](https://doi.org/10.1016/0166-2236(88)90144-0)
- Stern, E., Silbersweig, D. A., Chee, K. Y., Holmes, A., Robertson, M. M., Trimble, M., Frith, C. D., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (2000). A functional neuroanatomy of tics in Tourette syndrome. *Archives of General Psychiatry*, 57(8), 741–748. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.57.8.741>
- 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), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04500-3>
- Takács, Á., Kóbor, A., Chezán, J., Éltető, N., Tárnok, Z., Nemeth, D., Ullman, M. T., & Janacsek, K. (2018). Is procedural memory enhanced in Tourette syndrome? Evidence from a sequence learning task. *Cortex*, 100, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.08.037>
- 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*, 54(3), 5143–5160. <https://doi.org/10.1111/ejn.15366>
- Takács, Á., Shilon, Y., Janacsek, K., Kóbor, A., Tremblay, A., Németh, D., & Ullman, M. T. (2017). Procedural learning in Tourette syndrome, ADHD, and comorbid Tourette-

- ADHD: Evidence from a probabilistic sequence learning task. *Brain and Cognition*, 117, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.06.009>
- Tóth, B., Janacsek, K., Takács, Á., Kóbor, A., Zavecz, Z., & Nemeth, D. (2017). Dynamics of EEG functional connectivity during statistical learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 144, 216–229. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2017.07.015>
- Tóth-Fáber, E., Takács, Á., Tárnok, Z., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2020). Cognitive advantage in atypical development: Outstanding procedural learning in Tourette's syndrome. *PSYCHIATRIA HUNGARICA*, 35(4), 484–492.
- Tóth-Fáber, E., Tárnok, Z., Janacsek, K., Kóbor, A., Nagy, P., Farkas, B., Oláh, S., Merkl, D., Hegedűs, O., Nemeth, D., & Takacs, A. (2021). Dissociation between two aspects of procedural learning in Tourette syndrome: Enhanced statistical and impaired sequence learning. *Child Neuropsychology*, 27, 1–23. <https://doi.org/10.1080/09297049.2021.1894110>
- Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1–2), 231–270. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.008>
- Ullman, M. T. (2016). Chapter 76 - The Declarative/Procedural Model: A Neurobiological Model of Language Learning, Knowledge, and Use. In G. Hickok & S. L. Small (Szerk.), *Neurobiology of Language* (o. 953–968). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407794-2.00076-6>
- Walenski, M., Mostofsky, S. H., & Ullman, M. T. (2007). Speeded processing of grammar and tool knowledge in Tourette's syndrome. *Neuropsychologia*, 45(11), 2447–2460. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.04.001>
- Yaniv, A., Benaroya-Milshtein, N., Steinberg, T., Ruhrrman, D., Apter, A., & Lavidor, M. (2017). Specific executive control impairments in Tourette syndrome: The role of response inhibition. *Research in Developmental Disabilities*, 61, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.12.007>