EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

PEDAGÓGIAI ÉS PSZICHOLÓGIAI KAR



**A doktori disszertáció tézisei**

**Pesthy Orsolya Noémi**

**Módszertani és elméleti előrelépések az autizmuskutatásban**

**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

## Publikációk a disszertációban:

Toth, O., Pesthy, O., Farkas, K., Guttengeber, A., Komoroczy, E., Réthelyi, J. M., ... & Németh, D. (2022). Intact fluency in autism? A comprehensive approach of verbal fluency task including word imageability and concreteness. *Autism Research*, *15*(4), 677-686.

Pesthy, O., Farkas, K., Sapey-Triomphe, L. A., Guttengéber, A., Komoróczy, E., Janacsek, K., ... & Németh, D. (2023). Intact predictive processing in autistic adults: evidence from statistical learning. *Scientific Reports*, *13*(1), 11873.

Zolnai, T., Dávid, D. R., Pesthy, O., Nemeth, M., Kiss, M., Nagy, M., ... & Ergul, A. (2022). Measuring statistical learning by eye-tracking. *Experimental Results*, *3*, e10.

Farkas, K., Pesthy, O., Guttengéber, A., Weigl, A. S., Veres, A., Szekely, A., ... & Németh, D. (2023). Altered interpersonal distance regulation in autism spectrum disorder. *Plos one*, *18*(3), e0283761.

## Más publikációk:

Simor, P., Zavecz, Z., Horváth, K., Éltető, 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.

Horváth, K., Török, C., Pesthy, O., Nemeth, D., & Janacsek, K. (2020). Divided attention does not affect the acquisition and consolidation of transitional probabilities. *Scientific reports*, *10*(1), 22450.

Farkas, K., Pesthy, O., Janacsek, K., & Németh, D. (2023). Interpersonal Distance Theory of Autism and Its Implication for Cognitive Assessment, Therapy, and Daily Life. *Perspectives on Psychological Science : A Journal of the Association for Psychological Science*. https://doi.org/10.1177/17456916231180593

Vékony, T., Pleche, C., Pesthy, O., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2022). Speed and accuracy instructions affect two aspects of skill learning differently. *npj Science of Learning*, *7*(1), 27.

Pesthy, O., Janacsek, K. & Nemeth, D. (2021). Transcranial direct current stimulation in neuroscientific researches - pitfalls and solutions. *Clinical Neuroscience, 74*(5-6), 171-182.

# Általános bevezetés

Sok kutatás tett kísérletet, hogy átfogó elméleti keretet találjanak az autizmus spektrum zavarra (autism spectrum disorder, ASD) jellemző vonások és viselkedésformák magyarázatára. Az ASD a népesség körülbelül 1%-át érinti (Zeidan et al., 2022), és az ebben az állapotban lévő egyének a viselkedések széles skáláját mutathatják, ami kihívást jelent egy olyan egységes keretrendszer kidolgozásában, amely mindezeket megmagyarázza. Következésképpen az ASD-kutatásban kulcsfontosságú az adatok zajosságának csökkentése azáltal, hogy a funkciók mögött álló mechanizmusokat ragadjuk meg (Karmiloff-Smith, 1998; Thomas & Karmiloff-Smith, 2002). A pontos mérési módszerek alkalmazása és a különböző megközelítések kombinálása az ASD jobb megértését eredményezheti. Disszertációm célja, hogy hozzájáruljon az ASD megértéséhez három olyan keretrendszer feltárásával, amelyek az ASD magyarázatát célozzák: a végrehajtó diszfunkció hipotézis (Hill, 2004; Ozonoff et al., 2007; Pennington & Ozonoff, 1996), az autizmus prediktív feldolgozási kerete (Lawson et al., 2017; Palmer et al., 2017; Pellicano & Burr, 2012; van de Cruys et al., 2014) és az amygdalaelmélet (Baron-Cohen et al., 2000; Wang & Li, 2023), miközben módszertani megfontolásokat is javasol a terület javára.

## A végrehajtó működési zavar hipotézis

A végrehajtó funkció egy ernyőfogalom, mely a célkövetéshez szükséges felülről lefelé irányuló mentális folyamatokat foglalja magában, és a prefrontális kéreghez kapcsolódik (Diamond, 2013). A három alapvető végrehajtó funció (gátló kontroll, munkamemória és kognitív rugalmasság) támogatja a magasabb rendű végrehajtó funkciókat, mint például a generativitást, az új ötletek generálásának képességét (Miyake et al., 2000). A károsodott végrehajtó funkciók, különösen a kognitív rugalmasság, a gátlás és a munkamemória releváns tényezők az ASD tüneteinek magyarázatában, míg a generativitással kapcsolatos vizsgálatok az ASD-ben vegyes eredményeket hoztak (Hill, 2004).

A merev, ismétlődő viselkedések, valamint az elmélet és a kommunikáció kudarcai ASD-ben összefüggésbe hozhatók a végrehajtó funkciók hiányosságával (Geurts et al., 2009; Mosconi et al., 2009; Schmitt et al., 2018). A generativitás szerepet játszhat a kommunikáció és a szociális interakciók károsodásában ASD-ben (Hill, 2004; Turner, 1997). Az 1. tanulmány célja az volt, hogy a generativitást autista felnőtteknél a verbális fluencia feladat segítségével mérje, és feltárja a konkrét vs. absztrakt szavak használatát, ami fényt deríthet a valós élethelyzetekben alkalmazott nyelvi generációs stratégiáikra. Korábbi kutatások alapján a konkrét szavak kognitív preferenciája autista egyéneknél hangsúlyosabb (Hillis & Caramazza, 1991; Paivio, 1979; Paivio et al., 1994; Schafer et al., 2013), de ennek hatását a verbális folyékonysági teljesítményre és a kommunikációra ASD-ben még nem vizsgálták alaposan.

## Az autizmus prediktív feldolgozási kerete

A prediktív feldolgozási keretrendszer azt feltételezi, hogy az ASD-s személyeknél a múltbeli tapasztalatok és az érzékszervi input alapján a jövőbeli események előrejelzésében tapasztalható károsodás (Gregory, 1980; Lawson et al., 2017; Pellicano & Burr, 2012; Sinha et al., 2014; van de Cruys et al., 2014). A keretrendszer szerint a gyengébb prediktív feldolgozás magyarázza a legtöbb autisztikus vonást és atipikusságot: az autista egyének nehezen tudják bejósolni a környezetüket, ami bizonytalansághoz és szorongáshoz vezet: a kiszámítható környezetre való törekvés vezet az ismétlődő viselkedésekhez; továbbá, hogy a szociális interakciók és az elmélet eredendően előrejelzési problémák, és a prediktív feldolgozás nehézségei magyarázhatják az ASD szociális és kommunikációs tüneteit (Cannon et al., 2021).

Az ASD-ben a prediktív feldolgozás jobb megértéséhez a statisztikai tanulást használtuk, a prediktív feldolgozás egy elhanyagolt típusát. A statisztikai tanulás magában foglalja az agy azon képességét, hogy visszajelzés vagy jutalom nélkül megtanulja a környezet valószínűségen alapuló szabályszerűségeit (Christiansen és mtsai., 2012; Schapiro & Turk-Browne, 2015). A statisztikai tanulás vizsgálata ASD-ben betekintést nyújthat a prediktív feldolgozás lehetséges sérülésébe. A 2. vizsgálatban az Alternáló Szeriális Reakcióidő (Alternating Serial Reaction Time, ASRT) feladatot (Howard & Howard, 1997) használtuk, ahol a résztvevőknek villogó ingerekre kellett reagálniuk az inger helyének megfelelő gomb megnyomásával, miközben tudattalanul megtanulják a rejtett sorrendet, amelyet az ingerek sorrendje követ.

Az ASD-kutatás területén azonban hasznos lehet ennek a feladatnak egy olyan változata, ahol nem kell gombot nyomni, és ahol a mögöttes kognitív folyamatok könnyebben nyomon követhetők. Ennek egyik módja a prediktív folyamatok feltárása a szemmozgáskövető technológia segítségével (Schwizer Ashkenazi et al., 2020; Tal & Vakil, 2020; Vakil et al., 2021). Az ASRT feladat szemmozgáskövető változatának kifejlesztése megoldást nyújt a gombnyomások szükségességének hátrányaira. A szemmozgáskövetés segítségével rögzíthetőek az anticipációs szemmozgások, ahol a résztvevők a következő inger várható helye felé néznek, mielőtt annak tényleges előfordulása bekövetkezne (Vakil et al., 2017). Ez a technológia csökkenti a motoros problémák hatását, kevésbé zajos adatokat szolgáltat, és lehetővé teszi a statisztikai tanulás kognitív összetevőinek pontosabb mérését (Tal & Vakil, 2020). Így a 3. tanulmányban neurotipikus résztvevőkön fejlesztettük ki a szemkövető ASRT feladatot, amely a jövőben hatékony eszköz lehet a prediktív feldolgozás és a tanulás tanulmányozására ASD-ben.

## Az amygdala elmélet

Az autizmus amygdala-elmélete szerint az amygdala, az érzelmek feldolgozásában és a szociális viselkedésben részt vevő agyi régió (Brothers, 1990; Todd & Anderson, 2009) rendellenességei magyarázhatják az ASD-ben megfigyelhető tünetek egy részét (Baron-Cohen, 2000; Wang & Li, 2023). Tanulmányok kimutatták, hogy autista személyek megváltozott amygdala működést mutathatnak (Baron-Cohen, 2000; Ibrahim et al., 2019; Janak & Tye, 2015; Tottenham et al., 2014), ami okozhatja a nehézséget az arci érzelmek felismerésében (Janak & Tye, 2015; Tottenham et al, 2014), az affektív tudatelméletben (Schmitgen et al., 2016), valamint az interperszonális távolságtartás szabályozásában a társas interakciók során (Kennedy et al., 2009; Kennedy & Adolphs, 2014; Wang & Li, 2023). Az elmélet az amygdala-lézionált páciensek neuropszichológiai vizsgálataiból származik, akik az ASD-ben megfigyeltekhez hasonló vonásokat mutattak, például károsodott szociális kölcsönösséget és megváltozott érzelmi válaszokat (Baron-Cohen és mtsai., 2000).

Az autonóm idegrendszer működését jelző fiziológiai mérések, például a szívfrekvencia-variabilitás (heart rate variability, HRV) vizsgálata további fényt vethet az amygdala-elméletre. A HRV a szimpatikus és paraszimpatikus idegrendszeri aktivitás közötti egyensúlyt tükrözi (Laborde et al., 2017). Az amygdala szerepet játszik ebben az egyensúlyban (Buijs & Van Eden, 2000), és a HRV közvetve betekintést nyújthat a működésébe. A HRV-vel kapcsolatos kutatások autista résztvevőknél csökkent alapszintű HRV-t és alacsonyabb HRV-reaktivitást mutattak ki szociális stressz során (Arora et al., 2021), ami potenciális autonóm diszregulációra utal. A HRV-mérések és az interperszonális távolságszabályozási értékelések kombinálásával a 4. tanulmányban azt reméltük, hogy feltárjuk a megváltozott paraszimpatikus-szimpatikus egyensúly és a szociális viselkedés közötti kapcsolatokat az ASD-ben.

A 4. tanulmányban az interperszonális távolságszabályozás vizsgálatát tűztük ki célul autista felnőtteknél, figyelembe véve az azt befolyásoló további tényezőket, mint például a szemkontaktus és a mások preferált távolságára való következtetés képessége. A szociálisan megfelelő interperszonális távolság a kölcsönösségen alapul, ami az autista személyek számára kihívást jelenthet a tudatelméleti készségek nehézségei miatt (Baron-Cohen, 2000; Hamilton et al., 2016; Livingston et al., 2019). Ezeknek a tényezőknek a vizsgálata fényt deríthet a szociális interakciók összetettségére az ASD-ben, és értékes betekintést nyújthatna az amygdala szerepébe a szociális viselkedés alakításában. A viselkedéses értékelések és az olyan fiziológiai mérések, mint a HRV kombinálásával a kutatók remélik, hogy átfogóbb megértést szerezhetnek az ASD tüneteihez hozzájáruló mögöttes folyamatokról, és utat nyithatnak a célzottabb beavatkozásokhoz.

# 1. tanulmány

Tóth, O., **Pesthy, O.**, Farkas, K., Guttengéber, A., Komoróczy, E., Réthelyi, J. M., Szuromi, B., & Nemeth, D. (2022). Intact fluency in autism? A comprehensive approach of verbal fluency task including word imageability and concreteness. *Autism Research, 15*(4), 677-686.

## Bevezetés

Egy adott kategóriába tartozó szavak előhívása korlátozott időkeretben, azaz a verbális fluencia a generativitás mérésének gyakori módja (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000). A generativitással kapcsolatos eredmények ASD-ben következetlenséget mutatnak: mind károsodott (Corbett et al., 2009; Czermainski et al., 2014; Kenworthy et al., 2008; Kleinhans et al., 2005), mind ép (B. S. Baxter et al., 2016; Beacher et al., 2012; Borkowska, 2015) verbális fluencia teljesítményről számoltak be.

Ezek az ellentmondások a különböző mögöttes mechanizmusok következményei lehetnek. Ennek feltárása érdekében a korábbi vizsgálatokon (amelyek az általános szószámra, a hibákra, a perszeverációkra, a klaszterek számára vagy méretére összpontosítottak) továbbmenve két fontos változást eszközöltünk. Először is, az ASD és a neurotipikus csoportok által felsorolt szófajok minőségi méréseit használtuk. A konkrét vagy képszerűbb szavak könnyebben előhívhatók, mivel reprezentációik gazdagabbak, mint az absztrakt vagy kevésbé leképezhető szavaké (Kousta et al., 2011; Paivio, 1979; West & Holcomb, 2000). Korábbi kutatások szerint ez ASD-ben kifejezettebb lehet (Schafer és mtsai., 2013), de ennek hatását nem vizsgálták a verbális fluencia ASD-beli teljesítményével összefüggésben. Másodszor, a feladat első és második felében mértük a teljesítményt, mivel Carmo és munkatársai (Carmo et al., 2015, 2017) felvetették, hogy ASD-ben az alacsonyabb generativitás az kezdeményezés károsodásának tudható be.

Feltételeztük, hogy az ASD-s résztvevők alulteljesítik neurotipikus társaikat a klasszikus fluencia méréseken, több konkrét és képzeletbeli szót fognak felsorolni, mint a neurotipikusok, és a feladat első és második felében eltérő minőségi mintázatot fognak mutatni.

## Módszerek

16 autista felnőttet (12 férfi, 4 nő) és 16 neurotipikus kontrollszemélyt toboroztunk, akiket életkor, nem és iskolai végzettség szerint illesztettünk. A résztvevők egyike sem élt értelmi fogyatékossággal vagy nyelvi zavarral. A generativitás tesztelésére fonémikus és szemantikus fluencia teszteket alkalmaztunk, ahol a résztvevőknek annyi szót kellett felsorolniuk, amennyit csak tudtak fonémikus (hang 'T', hang 'K') és szemantikus kategóriás ('állatok' és 'élelmiszerboltok') feltételek mellett, anélkül, hogy megismételték volna magukat. Paivio, Yuille & Madigan (1968) 7 pontos skáláját használtuk a szavak konkrétságának és képszerűségének értékelésére. A szavak értékelésére 69 független értékelőt toboroztunk - mindegyikük 50 szót kapott értékelésre egy online kérdőívben az összesen 669 szóból. E mérőszámok mellett kiszámítottuk az összes (helyes) szószámot, a hibákat, a perszeverációkat, valamint a klaszterek számát és a váltásokat minden egyes résztvevőre vonatkozóan feltételenként. A szószámra kevert mintás varianciaanalízist (ANOVA) végeztünk a csoport (ASD/neurotipikus) és a feltétel (szemantikus átlag/fonémikus átlag) független változókkal; a klaszterszámokra, hibákra, perzeverációkra, képszerűségre és konkrétságra független t-próbát vagy Mann-Whitney-tesztet végeztünk. Ez utóbbi kettőt külön-külön teszteltük a feladatvégzés első és második felében vegyes tervű ANOVA-val, a csoport és az idő (első 30 mp/ második 30 mp) független változókkal.

## Eredmények

Nem találtunk szignifikáns csoportfőhatást [F(1, 30) = 0,207, p = 0,652, η2p = 0,007] vagy bármilyen csoportkölcsönhatást [F(1,30) = 0,052, p = 0,822, η2p = 0,002] a szavak számát illetően (lásd az 1. ábrát). Nem volt szignifikáns csoportkülönbség a klaszterek száma [U = 127,00, p = 0,985, d' = 0,013], a klaszterek mérete [t(30) = -0,448, p = 0,657, d' = 0,158], a hibák száma [U = 120,000, p = 0,780, d' = 0,107] és a perszeverációk [U = 158,500, p = 0,254, d' = 0,415] tekintetében sem.



1. ábra. Az ASD és a neurotipikus (NTP) csoportok által előállított szavak átlagos száma a fonémikus és szemantikai folyékonysági feladatokban. A doboz felső és alsó része a felső (Q3) és alsó (Q1) kvartiliseket mutatja, a dobozt kettéválasztó vonal a mediánt, a vonalak pedig a medián körüli 95%-os konfidenciaintervallumot.

Nem találtunk szignifikáns különbségeket a magas képszerűség [t(30) = 0,367, p = 0,716, d' = 0,130], a magas konkrétságú [t(30) = -0,549, p = 0,716, d' = 0,130], alacsony képszerűségű [U = 122,500, p = 0,834, d' = 0,073], vagy alacsony konkrétságú [t(30) = 0,358, p = 0,723, d' = 0,127] szavakkal sem (lásd a 2. ábrát).



2. ábra. A magas (6 vagy magasabb) vagy alacsony (2 vagy alacsonyabb) képalkotási (A panel) és konkrétsági (B panel) pontszámot kapott szavak átlagos száma az ASD és NTP csoportokban. A doboz felső és alsó része a felső (Q3) és alsó (Q1) kvartiliseket mutatja, a dobozt elválasztó vonal a mediánt, a vonalak pedig a medián körüli 95%-os konfidenciaintervallumot.

Végül, nem találtunk szignifikáns csoport x idő interakciót a szavak számában a magas képszerűség [F(1, 30) = 0,496, p = 0,487, η2p = 0,016], alacsony képszerűség [F(1, 30) = 0,254, p = 0. 618, η2p = 0,008], magas konkrétság [F(1, 30) < 0,001, p = 1,000, η2p < 0,001] vagy alacsony konkrétság [F(1, 30) = 1,357, p = 0,253, η2p = 0,043] esetében sem (lásd a 3. ábrát).



3. ábra. Az ASD és az NTP csoportok által előállított szavak aránya, amelyek magas (6 vagy magasabb) konkrétsági (A panel) és képszerűségi (B panel) pontszámot kaptak a feladat első és második része során. A doboz felső és alsó része a felső (Q3) és alsó (Q1) kvartiliseket mutatja, a dobozt elválasztó vonal a mediánt, a vonalak pedig a medián körüli 95%-os konfidenciaintervallumot.

## Diszkusszió

Ebben a vizsgálatban a cél az volt, hogy összehasonlítsuk az ASD-s és a neurotipikus személyek teljesítményét a verbális fleuncia feladatokban, átfogó megközelítéssel: amellett, hogy olyan változókra összpontosítottunk, mint a szószám, a klaszterezés, a váltás, a felsorolt szavak absztraktságának/konkrét voltának és képszerűségének értékelése is. Feltételeztük, hogy az ASD csoportban különbségek mutatkoznak majd ezekben az intézkedésekben, ami a generativitásban mutatkozó esetleges hiányosságokat tükrözi. Az eredmények azonban nem mutattak szignifikáns különbségeket a csoportok között, még akkor sem, ha az első és a második 30 másodperces intervallumot külön-külön vizsgáltuk. Ez a megállapítás ellentmondott néhány korábbi vizsgálatnak, amelyek ASD esetén csökkent verbális fluenciáról számoltak be (Corbett és mtsai., 2009; Czermainski és mtsai., 2014; Kenworthy és mtsai., 2008; Kleinhans és mtsai., 2005). Vizsgálatunk ezzel szemben összhangban van más kutatásokkal, amelyek nem számoltak be deficitről a verbális fluenciában autista egyének körében (Baxter et al., 2016; Beacher et al., 2012; Borkowska, 2015). A szavak számában, a hibák, a perszeverációk, valamint a magas vagy alacsony konkrétságú és képszerűségű szavak használatában mutatkozó szignifikáns különbségek hiánya arra utal, hogy az ASD-s, értelmi fogyatékosság vagy nyelvi károsodás nélküli egyének a neurotipikus egyénekhez hasonlóan teljesíthetnek a verbális fluencia feladatokban. Ezeknek a nulleredményeknek a lehetséges magyarázata a kompenzációs mechanizmusok vagy alternatív agyi hálózatok jelenléte, amelyeket az autista egyének használnak a hasonló teljesítmény eléréséhez (Baxter és mtsai. 2016). Javasoljuk azonban, hogy a jövőbeli vizsgálatokban további felméréseket, például a szavakat a résztvevő általi értékelését és a beszédminták gráfelemzését használják, hogy a csoportokon belüli és a csoportok közötti verbális fluenciabeli különbségek átfogóbb megértéséhez jussanak. Összefoglalva, ez a tanulmány rávilágít a verbális fluencia értékelésének átfogó megközelítésének szükségességére az ASD-kutatásban, hozzájárulva az autizmussal és más idegrendszeri fejlődési zavarokkal küzdő egyének e komplex kognitív folyamatának mélyebb megértéséhez.

# 2. tanulmány

Pesthy, O., Farkas, K., Sapey-Triomphe, L. A., Guttengéber, A., Komoróczy, E., Janacsek, K., ... & Németh, D. (2023). Intact predictive processing in autistic adults: evidence from statistical learning. Scientific Reports, 13(1), 11873.

## Bevezetés

Az ASD magyarázatára kialakult egyik elterjedt elmélet a prediktív feldolgozási keretrendszer, amely azt állítja, hogy az autista viselkedés a a jövőbeli események előrejelzésének atipikus képességéből eredhet, mely bejóslás a korábbi tapasztalat és az érzékszervi input alapján történik, a reprezentációt pedig a kettő közti különbség (predikciós hiba) alapján frissítjük (Gregory, 1980; Pellicano & Burr, 2012; Sinha et al., 2014). A prediktív feldolgozás keretrendszerén belül különböző perspektívák kínálnak magyarázatot az autisztikus vonásokra, kiemelve a folyamat különböző összetevőinek specifikus atipikusságát. Az atipikus prediktív feldolgozás eredhet 1) a magas és rugalmatlan predikciós hibákból (van de Cruys et al., 2014); 2) abból, hogy a beérkező szenzoros adatokra (bottom-up információ) jobban támaszkodnak, mint korábbi tapasztalataikra (top-down folyamatok vagy priorok) (Pellicano & Burr, 2012); 3) túlbecsülik a környezeti szabályozottságok változásának mértékét, azaz a volatilitást (Lawson et al., 2017; Palmer et al., 2017).

Vizsgálatunk a statisztikai tanulást, a prediktív feldolgozás egy olyan formáját tesztelte, amely a környezet valószínűségen alapuló szabályszerűségeinek tanulását foglalja magában (Christiansen et al., 2012; Schapiro & Turk-Browne, 2015). Jelentősége ellenére a statisztikai tanulást az ASD-ben sokáig elhanyagolták a prediktív feldolgozás szakirodalomban . Az ASD-ben a statisztikai tanulással foglalkozó tanulmányok gyakran olyan feladatokat használtak, ahol a szabályszerűségek száz százalékos valószínűséggel előre jelezhetők (determinisztikus feladatok) (Larson & Mostofsky, 2008; Mostofsky et al., 2000; Müller et al., 2004; E. Sharer et al., 2015; E. A. Sharer et al., 2016; Travers et al., 2010, 2013). Az eredmények azonban vegyesek. Azonban amikor a szabályszerűségek egynél kisebb valószínűséggel jósolhatók meg (probabilisztikus feladatok), egyetlen tanulmány sem talált károsodott statisztikai tanulást: probabilisztikus feladatokban az autista egyének hasonló (Barnes et al., 2008; Brown et al., 2010; Nemeth et al., 2010) vagy akár jobb (Roser et al., 2015) statisztikai tanulást mutattak neurotipikus társaikhoz képest. Egy tanulmány szerint az autista felnőttek felsőbbrendű statisztikai tanulása a lokális és globális szintű feldolgozás különbségeinek köszönhető (Frith & Happé, 1994; Roser et al., 2015). A téri-vizuális feladatukban a résztvevők a helyi szintű feldolgozásból profitáltak, ami potenciálisan jobban működik ASD-ben. Nem világos azonban, hogy a vizsgálatban elért jobb teljesítmény a jobb statisztikai tanulásból vagy a feldolgozási stílusban mutatkozó különbségekből eredt. Tanulmányunkban autista felnőtteket kívántunk tesztelni egy valószínűségi statisztikai tanulási feladatban, hogy megvilágítsuk ezeket a kérdéseket.

## Anyagok és módszerek

42 résztvevőt toboroztunk, akik közül 20 neurotipikus személy volt, 22 pedig ASD diagnózissal rendelkező felnőtt. Az értelmi fogyatékossággal, nyelvi zavarral vagy aktív pszichózissal élő résztvevőket kizártuk a vizsgálatból. A két csoportot (neurotipikus és ASD) életkor, nemi eloszlás és iskolai végzettség tekintetében illesztettük.

**

*4. ábra.* A feladat és az elrendezés, valamint egy példaszekvencia. (A) A kék téglalapok az egyperces blokkokat jelölik. Egy blokk 85 próbából állt, és öt blokkot egy elemzési egységbe (epoch) olvasztottunk össze. Az inger a négy hely egyikén jelent meg. Mintázat (PATTERN) és véletlenszerű (random) ingerek váltották egymást. (B) Az ASRT feladat felépítése. A résztvevők összesen ~40 percig végezték, középen 15 perces szünettel. (C) Példa a szekvenciára. A nagy valószínűségű hármasok két PATTERN (P) és egy véletlen (r) elemmel, vagy két véletlen és egy mintaelemmel képezhetők. Alacsony valószínűségű hármasok csak alkalmanként, két véletlen és egy mintaelem által képezhetők; tehát ritkábban fordulnak elő.

A statisztikai tanulás mérésére az ASRT feladatot (Howard & Howard, 1997) alkalmaztuk. Ebben a feladatban a résztvevőknek a képernyőn lévő célinger helyének megfelelő gombokat kellett megnyomniuk. Tudtukon kívül az ingerek helyének sorrendje egy meghatározott struktúrát követett, így egyes ingerhármasok (triplettek) gyakrabban fordultak elő, mint mások. A feladat struktúrája lehetővé teszi, hogy a reakcióidők és a pontossági különbségek alapján mérjék a statisztikai tanulást a nagy valószínűségű és a kis valószínűségű triplettek között (lásd a 4. ábrát). A résztvevők összesen 40 egyperces blokkot (azaz 8 epochot) végeztek el a feladatból. Kevert mintás ANOVA-kat végeztünk a reakcióidő vagy a pontosság függő változókkal, valamint az epoch (1-8), a tripletttípus (nagy valószínűségű/alacsony valószínűségű) és a csoport (ASD/neurotípusos) független változóival. A vizsgálat adatai nyilvánosan hozzáférhetők.

## Eredmények

A reakcióidő méréseken a nem szignifikáns Triplet x Csoport és Epoch x Triplet x Csoport kölcsönhatások alapján a csoportok nem különböztek sem a tanulás teljes mennyiségében [F(1,40) = 1,603, p = .213, η²p = 0,039, BFexcl = 2,828], sem a tanulás dinamikájában [F(7,280) = 0,720, p = .655, η²p = 0,018, BFexcl = 25,586]. A pontossági méréseken hasonló mintázatot találtunk, mind a teljes tanulás [a Triplet x Csoport interakció által jelzett: F(1,40) = 0,130, p = 0,721, η²p = 0,003, BFexcl = 3,606] és a tanulás dinamikája is [amit az Epoch x Triplet x Csoport: F(7,280) = 0,898, p = .508, η²p = 0,022, BFexcl = 15,263] hasonló volt az ASD és a neurotipikus csoportokban. A reakcióidő eredményeit lásd az 5. ábrán.

**

5. ábra. A) Reakcióidő a neurotipikus (NTP, bal oldali ábra) és ASD (jobb oldali ábra) csoportokban, epochák szerint. A barna szín a nagy valószínűségű triplák reakcióidejét, a zöld szín pedig az alacsony valószínűségű triplettek RT-jét jelöli. A két vonal közötti különbség a statisztikai tanulás nagyságát jelzi. A csoportok között nem találtunk szignifikáns különbségeket. A szaggatott vonal egy 15 perces szünetet, a hibasávok a stabdard hibát jelzik. B) A statisztikai tanulási pontszám a reakcióidőn, a neurotipikus (bal oldali ábra) és az ASD (jobb oldali ábra) csoportokban, epochok szerint. A tanulási pontszámok a magas és alacsony valószínűségű triplettek közötti reakcióidő-különbségeket jelzik, azaz megmutatják, hogy a résztvevők hány ms-mal gyorsabban reagáltak a magas valószínűségű vs. az alacsony valószínűségű triplettekre. A kék vonalak az adott csoport átlagos teljesítményét, a szürke vonalak pedig az egyes résztvevők tanulási pontszámát jelölik. A szaggatott vonal egy 15 perces hosszú szünetet jelez. Nem találtunk szignifikáns különbségeket a csoportok között. A hibasávok a csoporton belüli a stabdard hibát jelzik.

## Diszkusszió

Tanulmányunk célja a statisztikai tanulás vizsgálata volt autista felnőtteknél a prediktív feldolgozás keretein belül. Mind az összesített statisztikai tanulást, mind a tanulási folyamat dinamikáját vizsgáltuk, autista felnőtteknél elsőként. Eredményeink azt mutatták, hogy az autista résztvevők ép tanulási teljesítményt és hasonló tanulási görbét mutattak. Ezek az eredmények látszólag ellentmondanak az ASD prediktív feldolgozási keretének, amely az autista egyéneknél károsodott statisztikai tanulást feltételez (Gordon & Stark, 2007; Mostofsky et al., 2000). Ugyanakkor összhangban vannak a korábbi szakirodalommal, amely nem talált károsodást a probabilisztikus statisztikai tanulási feladatokban autista gyermekeknél (Barnes et al., 2008; Brown et al., 2010; Nemeth et al., 2010). A szakirodalom ellentmondásai rávilágítanak arra a lehetőségre, hogy a prediktív feldolgozás autizmusban az alkalmazott konkrét feladattól függően változhat, és a prediktív feldolgozás különböző összetevői intaktak lehetnek ASD-ben.

Az egyik magyarázat a feladat által megkövetelt általános információfeldolgozási stílushoz kapcsolódhat (Roser et al., 2015): talán azért nem haladta meg az ASD-s résztvevők teljesítménye a neurotipikusakét az ASRT feladatban, mert az a Roser et al. által használt feladathoz képest magasabb szintű globális feldolgozást igényel (Roser et al., 2015). Egy másik tényező lehet a predikciós hibák atipikus használata az ASD-ben (van de Cruys et al., 2014): mivel pontosságuk magas és rugalmatlan az ASD-ben, ez folyamatosan jelezheti számukra, hogy a környezet szabályosságát még nem tanulták meg teljesen, ami hosszabb tanulási folyamathoz vezet. Emellett az ingadozás becslése, nem pedig a feladatban rejlő zaj (Lawson et al., 2017) lehet az ASD-ben a tanulást befolyásoló tényező. Ez magyarázhatja a jelenlegi eredményeket, mivel az itt használt ASRT feladatban nem volt jelen volatilitás. Az eredmények hozzájárulnak a prediktív feldolgozás megértéséhez az ASD-ben, és kiemelik a feladatspecifikusság és a prediktív feldolgozás különböző aspektusainak figyelembevételének fontosságát a jövőbeli kutatásokban. Azt sugallják, hogy a prediktív feldolgozás ASD-ben nem feltétlenül károsodott teljesen, és bizonyos körülmények között ép (vagy akár jobb) teljesítményt is eredményezhet.

Összességében az eredmények azt sugallják, hogy az ASD-ben a prediktív feldolgozás összetett jelenség, és további kutatásokra van szükség az érintett specifikus mechanizmusok teljes megértéséhez. Tanulmányunk következményei relevánsak lehetnek a klinikusok számára, akik az ASD-s egyének terápiájában és oktatásában erősségen alapuló módszereket alkalmazhatnak, például valószínűségi megközelítéseket alkalmazhatnak, vagy elegendő időt biztosíthatnak a tanuláshoz. Ezek a megközelítések segíthetnek az ASD-s egyéneknek a legjobb kompetenciáik elérésében, és javíthatják az autizmusban a prediktív feldolgozás megértését.

# 3. tanulmány

Zolnai, T., Dávid, D. R., Pesthy, O., Nemeth, M., Kiss, M., Nagy, M., ... & Ergul, A. (2022). Measuring statistical learning by eye-tracking. *Experimental Results*, *3*, e10.

## Bevezetés

A procedurális tanulás elengedhetetlen a perceptuális és motoros készségek széleskörű gyakorlással történő fejlesztéséhez (Simor et al., 2019). A procedurális tanulás egyik fontos alkotóeleme más mechanizmusok mellett a statisztikai tanulás (Németh et al., 2013). Bár a statisztikai tanulást széles körben kutatták, annak pontos mérése kihívásokkal néz szembe. A feladatok gyakran manuális válaszokat igényelnek (Howard & Howard, 1997; Nissen & Bullemer, 1987), ami zajt adhat a mérésekhez (Vakil et al., 2017), és ez különösen problematikus bizonyos populációk, például csecsemők vagy Parkinson-kóros betegek tanulmányozásakor. Emellett a legtöbb széles körben használt feladat nem teszi lehetővé a procedurális tanuláshoz hozzájáruló különböző mechanizmusok elkülönítését, ami korlátozza a mérések specifikusságát (Albouy et al., 2006; Bloch et al., 2020; Kinder et al., 2008; Koch et al., 2020; Lum, 2020; Tal et al., 2021; Tal & Vakil, 2020; Vakil et al., 2017, 2021).

E problémák megoldása érdekében célunk volt a 2. tanulmányban használt ASRT feladat szemmozgáskövető változatának kifejlesztése. A szemmozgáskövető használata lehetővé teszi a statisztikai tanulásban részt vevő prediktív feldolgozás mélyebb megértését az anticipatív szemmozgások mérésével, betekintést nyújtva a mögöttes kognitív folyamatokba (Vakil et al., 2017). Lehetővé teszi továbbá a perceptuális/kognitív folyamatok elkülönítését a motoros összetevőktől, ami elengedhetetlen a pontosabb mérések megszerzéséhez (Vakil et al., 2017). Az ASRT feladatot (amelyet részletesebben a 2. tanulmányban ismertetünk) széles körben használják a procedurális tanulási vizsgálatokban. Nagy előnye más feladatokkal, például a szeriális reakcióidő (Serial Reaction Time, SRT) feladattal szemben, hogy megnehezíti a résztvevők számára a mögöttes struktúra explicit ismeretének megszerzését, lehetővé teszi a tanulási folyamat folyamatos mérését, és a statisztikai tanulás tisztább mérését kínálja azáltal, hogy szétválasztja azt a procedurális tanulásban részt vevő egyéb alfolyamatoktól (Farkas et al., 2021; Nemeth et al., 2013). Míg az SRT feladathoz számos tanulmány használt szemmozgáskövetést (pl. Albouy et al., 2006; Bloch et al., 2020; Kinder et al., 2008; Koch et al., 2020; Lum, 2020; Tal et al., 2021; Tal & Vakil, 2020; Vakil et al., 2017, 2021), addig az ASRT feladat szemmozgáskövetéses változatát még egyetlen tanulmány sem dolgozta ki. Összefoglalva, ez a tanulmány az ASRT feladat szemmozgáskövető változatának kifejlesztésével igyekszik leküzdeni a procedurális tanulás mérésének korlátait. Ez az új megközelítés egyedülálló betekintést nyújt a statisztikai tanulásba, és segít elkülöníteni az észlelési/kognitív folyamatokat a motoros összetevőktől, ami értékes eszközzé teszi a jövőbeli kutatások számára ezen a területen.

## Módszerek

A vizsgálatban 24 egészséges fiatal felnőtt vett részt, miután kizártuk a résztvevőket szemkövető kalibrációs problémákkal és a kiugró szemmozgáskövető adatokat. Az ASRT feladat szemmozgáskövetőre adaptált verzióját használtuk. A reakcióidők mellett a statisztikai tanulást anticipációs szemmozgások segítségével is mértük: a résztvevők nagy valószínűségű hármasok felé irányuló szemmozgásainak (tanulásfüggő anticipációs szemmozgások) arányát vizsgáltuk az összes anticipációs szemmozgáshoz képest. Az ASRT feladatot blokkokban mutattuk be, ötször öt egyperces blokk (azaz öt epoch) a tanulási fázisban és hárommal a tesztelési fázisban, amelyeket 15 perces szünet választott el egymástól. A tesztelési fázisban az eredeti szekvenciával (original sequence, OS) és egy másik, korábban nem látott szekvenciával (interferencia szekvencia, IS) végzett próbák voltak az interferencia mérésére. A szemmozgáskövetési adatokat Tobii Pro X3-120 szemkövetővel (Tobii AB, 2017) rögzítették. A statisztikai elemzéseket ismételt méréses ANOVA-k segítségével végeztük. Az interferencia hatását páros mintás t-tesztekkel és Bayes-féle páros mintás t-tesztekkel értékeltük a Bayes-faktorok kiszámításához.

## Eredmények

A reakcióidőt tekintve a tanulási fázisban szignifikáns Triplet főhatást találtunk, ami azt jelzi, hogy a statisztikai tanulás a feladat egészét tekintve szignifikáns [F(1, 23) = 11,59, p = .002, η2p = .33], míg a szignifikáns Triplet x epoch kölcsönhatás [F(4, 92) = 5,25, p < .001, η2p = .19] a teljesítmény javulását mutatta, amely a 4-5. epochában érte el a szignifikanciát (pBonf ≤ .016). A tesztelési fázis elemzései azt mutatták, hogy bár az általános statisztikai tanulás szignifikáns volt, amit a Triplet főhatás [F(1, 23) = 22,31, p < .001, η2p = .49] jelzett, a szignifikáns Triplet x Epoch kölcsönhatás [F(1. 39, 31,93) = 5,80, p = .014, η2p = .20] azt mutatta, hogy a tanulás a 7. (interferencia) epochban csökkent (pBonf = 1,000), míg a 6. és 8. epochban szignifikáns maradt (pBonf ≤ .033). Az interferencia epoch további vizsgálata azt mutatta, hogy az interferencia ellenére az eredeti szekvencia elsajátított statisztikai struktúra még mindig befolyásolta a reakcióidőt [különbség a csak az eredeti szekvenciában nagy valószínűségű triplettek és a mindkét szekvenciában alacsony valószínűségű triplettek között: t(23) = -2,80, p = .010, d = -0,57, BF10 = 4,75], továbbá a résztvevők bizonyos mértékig az interferencia szekvencia statisztikai szerkezetét is megtanulták [a csak az IS-ben nagy valószínűségű triplettek vs. a mindkét szekvenciában alacsony valószínűségű triplettek: Z = 252,00, p = .003, rrb = .68, BF10 = 28,32]. A reakcióidő eredményeit lásd a 6. ábrán.



*6. ábra.* A reakcióidők a nagy valószínűségű (kék vonal háromszög szimbólumokkal) és a kis valószínűségű (narancssárga vonal négyzet szimbólumokkal) hármasok függvényében vannak ábrázolva a tanulási fázis (1-5) és a tesztelési fázis (6-8) epochai alatt. Az ingereket az első epochban véletlenszerűen mutatták be, és a résztvevők a hetedik epochban egy interferenciasorozaton végeztek, a többi epochban (2-4., hatodik és nyolcadik epoch) használt eredeti szekvencia helyett. A nagy és kis valószínűségű triplettek közötti különbség statisztikai tanulást jelent. A tanulási fázisban a triplett-típusok közötti különbség a negyedik epochban érte el a szignifikanciát, és az ötödik epochban is szignifikáns maradt. A tesztelési fázisban a hetedik, interferencia epoch időlegesen negatív hatással van a reakcióidő-különbségekre, de az OS bemutatásakor (hatodik és nyolcadik epocha) a tanulás ismét szignifikáns volt. A hibasávok az SEM-et jelölik.

A tanulásfüggő anticipációs szemmozgások már egy szekvenciális epoch után képesek voltak a tanulás kimutatására a tanulási fázisban [F(4, 92) = 14,76, p < .001, η2p = .39, post hoc 1. vs 2. epoch: pBonf < .001]. A tesztelési fázisban a tanulásfüggő anticipációs szemmozgások aránya változott az epochok között [F(2, 46) = 14,47, p < .001, η2p = .39]: a 6. (pBonf < .001) és a 8. (pBonf = .004) epochban magasabb volt, mint a 7. (interferencia) epochban. A tanulási fázisban nem találtunk általános készségtanulást, amint azt a nem szignifikáns epoch főhatás [F(2,20, 50,68) = 3,01, p = .054, η2p = .12] jelzett, továbbá a tesztelési fázisban szignifikáns lassulást figyeltünk meg az epochok előrehaladtával [F(1,60, 36,91) = 6,01, p = .009, η2p = .21]. Az anticipációs szemmozgásokra vonatkozó eredményeket lásd a 7. ábrán.



*7. ábra*. A) A tanulásfüggő anticipáció százalékos aránya (folytonos vonal) az összes anticipatív szemmozgáshoz képest (szaggatott vonal) az ASRT feladat során. Az első, randomizált epoch mutatja a legkisebb értéket. A tanulási fázisban a szekvenciális epochok (2-5.) anticipációs szemmozgásait nagyobb mértékben határozza meg az eredeti szekvencia, mint az első (random) epochban. Az interferencia epocha a tanulásfüggő anticipációs arány időbeli csökkenéséhez vezet. A hibasávok a SEM-et jelölik. A szaggatott vonal a véletlen szintjét jelzi. B) Az összes anticipációs szemmozgás (zöld vonal) és a tanulásfüggő anticipációs szemmozgások (fekete vonal) aránya az összes próbához képest, epochonként. A hibasávok az SEM-et jelölik.

## Megbeszélés

Célunk az volt, hogy az ASRT feladat szemmozgáskövető változatát fejlesszük ki a statisztikai tanulás manuális válaszok nélküli mérésére. Azt találtuk, hogy az okulomotoros reakcióidők robusztus, interferenciának ellenálló statisztikai tanulást tükröznek. A tanulásfüggő anticipációs szemmozgások még a reakcióidőknél is korábban jelezték a tanulást, ami arra utal, hogy ezek az implicit statisztikai tanulás érzékenyebb mérőeszközei lehetnek. Az átlagos reakcióidőkben azonban nem figyeltünk meg általános készségtanulást.. Az ASRT feladatnak ez a szemmozgáskövető változata módszertani és elméleti előnyöket kínál, mivel nem manuális alternatívát nyújt a statisztikai tanulás dinamikájának pontosabb mérésére.

Ezenkívül a szemmozgáskövetés lehetővé tette az időbeli dinamika jobb követését a hagyományos okulomotoros SRT feladatokhoz képest. A résztvevők mind megtartották az eredeti szekvenciával kapcsolatos tudásukat, mind pedig bizonyos mértékig elsajátították az interferencia-szekvenciát, ami a statisztikai tanulás robusztusságát mutatja, amit korábbi tanulmányok is jeleztek (Kobor et al., 2017; Vékony et al., 2022). A tanulásfüggő anticipációk kimutatták, hogy már rövid gyakorlóidőszak után is mérhető a tanulás, ami a statisztikai tanulás értékes mérőeszközévé teszi őket. Az általános készségtanulás hiánya azonban ellentmond a korábbi eredményeknek (Howard & Howard, 1997; Kinder et al., 2008; Vakil et al., 2021), ami valószínűleg a fáradásnak tudható be.

A tanulmány következményei mind az alap-, mind a klinikai kutatásra kiterjednek, mivel a statisztikai tanulás vizsgálatára olyan eszközt kínál, amely csökkentett motoros komponensekkel és kevesebb mozgásartifaktummal rendelkezik, így kompatibilis a képalkotó technikákkal. Különösen hasznos lehet speciális célcsoportok, például csecsemők vagy olyan motoros rendellenességekben szenvedő egyének számára, mint a Parkinson-kór vagy a kisagyi rendellenességek. Összességében ez a szemkövető ASRT feladat hozzájárul az implicit statisztikai tanulás megértéséhez azáltal, hogy a tanulási folyamat rendkívül finom szemcseméretű mérését biztosítja.

# 4. tanulmány

Farkas, K., Pesthy, O., Guttengéber, A., Weigl, A. S., Veres, A., Szekely, A., ... & Németh, D. (2023). Altered interpersonal distance regulation in autism spectrum disorder. *Plos one, 18*(3), e0283761.

## Bevezetés

Az ASD-t a szociális kommunikáció és az ismétlődő viselkedés nehézségei jellemzik. A szociális interakciók egyik pillére a megfelelő interperszonális távolság megtalálása. Az interperszonális távolság szabályozása ASD-ben azonban kevesebb figyelmet kapott, annak ellenére, hogy az autista egyének eltéréseket mutathatnak a megfelelő interperszonális távolság fenntartásában. Tanulmányunk célja az interperszonális távolság és a HRV mérése volt egy feladaton belül, illetve annak vizsgálata, hogy a szemkontaktus és az attribúció (azaz a másik személy távolságának figyelembe vétele hogyan befolyásolja az interperszonális távolságot ASD-ben. Vizsgáltuk továbbá a vegetatív funkciókat az ASD-ben és azok lehetséges kapcsolatát az interperszonális távolság szabályozásával.

Az interperszonális távolsággal kapcsolatos korábbi kutatások ASD-ben ellentmondásos eredményeket mutattak, egyes tanulmányok atipikus távolságról számoltak be (Asada et al., 2016; Candini et al., 2017; Gessaroli et al., 2013; Ingram et al., 2007; Lough et al., 2015; Pedersen, 1997), míg mások nem mutattak különbséget (Kennedy & Adolphs, 2014) a neurotipikus egyénekhez képest. Az interperszonális távolság mérésének módszertani kihívásainak kezelése érdekében az ökológiai validitás javítása érdekében személyes jelenléttel rendelkező kísérleti környezetet használtunk. A személyközi távolság szabályozásának mérésére a stop-távolság paradigma (Kennedy et al., 2009) módszert használtuk. Célunk volt az is, hogy olyan moduláló tényezőket teszteljünk, mint a szemkontaktus és az attribúció, hogy megértsük, milyen hatással vannak az interperszonális távolságra. Az arckifejezések, különösen a szemkontaktus feldolgozása jelentős szerepet játszik a társas viselkedésben, és ez módosult ASD-ben (Black et al., 2017; Monteiro et al., 2017).

Az autonóm funkciók, mint például a HRV, feltehetően eltérőek ASD-ben, a csökkent variabilitás kiegyensúlyozatlan autonóm szabályozást jelez (Arora et al., 2021). Ezért megvizsgáltuk az autonóm funkciók és az interperszonális távolságszabályozás közötti kapcsolatot. Hipotéziseink a következők voltak: az ASD egyének nagyobb interperszonális távolságot mutatnak, és a szemkontaktus és az attribúció modulálja az interperszonális távolságot. Továbbá azt vártuk, hogy az ASD-ben a feladat során csökkent alapszintű HRV és HRV reaktivitás várható, ami potenciálisan befolyásolja a preferált interperszonális távolságot.

## Módszerek

A vizsgálatban 43 résztvevő vett részt, köztük 22 autistic és 21 autizmus nélküli kontroll résztvevő. A résztvevők interperszonális távolságmérési feladatot végeztek egy módosított stop-távolság paradigma (Kennedy et al., 2009) segítségével, bevonva a szemkontaktust és az attribúciót mint feltételeket. A feladat során egymáshoz kellett közeledni, miközben tudatosan fenntartottak egy kényelmes szociális távolságot. A résztvevők ezt az eljárást szemkontaktussal és anélkül is megismételték. A feladat során a pulzusszám-variabilitást (HRV) hordozható Polar H10 készülékekkel (Saario, 2019) mértük. Kiszámítottuk a egymást követő szívverések közti különbségek négyzetgyökét (successive inter-beat interval differences, RMSSD) mind az alaphelyzetben, mind a stop-távolság paradigma során. Kevert mintás ANOVA-kat végeztünk 1) a preferált távolság vagy a HRV a stop-távolság paradigma során függő változóként és a szemkontaktus (szemkontaktussal/anélkül), az attribúció (a résztvevő saját preferált interperszonális távolsága/az interperszonális távolság, amelyet a kísérletvezető szerint preferált) és a csoport (ASD/neurotipikus) mint független változók, 2) a HRV mint függő változó és az idő (alaphelyzet/feladat során) és a csoport (ASD/neurotipikus) mint független változók.

## Eredmények

Azt találtuk, hogy az ASD csoport nagyobb interperszonális távolságot preferált, mint a neurotipikus csoport [F(1,41) = 8,999, p = ,005, η2p = 0,180], de ezt sem a szemkontaktus [F(1,41)csoport×szem  = 2,480, p = ,123,η2p  = 0,057], sem az attribúció [F(1,41)csoport×attrib = 1,378, p = ,247,η2p = 0,033] nem moderálta, lásd a 8. ábrát.

Ezek a kölcsönhatások nem voltak szignifikánsak az interperszonális HRV-mérésekben sem [Szemkontaktus x csoport: F(1,32) = 0,817, p = 0,373, η2p = 0,025; Attribúció x csoport: F(1,32) = 0,554, p = .462, η2p = 0,017]. A HRV azonban szignifikánsan alacsonyabb volt az ASD csoportban, amit a szignifikáns Csoport főhatás [F(1,35) = 3,470, p = ,071, η2p = 0,090] jelzett – ez magasabb szimpatikus idegrendszeri aktivitásra utal. Továbbá a Csoport x Idő interakció is szignifikáns volt [F(1,35) = 4,598, p = ,039, η2p = 0,116], ami azt jelzi, hogy az ASD csoportban alacsonyabb volt a HRV-reaktivitás, mint a neurotipikus csoportban, lásd a 9. ábrát.



*8. ábra.* Személyközi távolság cm-ben. A pontok az egyes egyéneknél a nyolc feltétel távolsági adatainak átlagát jelölik. A doboz felső és alsó része a felső (Q3) és alsó (Q1) kvartiliseket mutatja, a dobozt elválasztó vonal a mediánt, a bevágások pedig a medián körüli 95%-os konfidenciaintervallumot. A csillagok szignifikáns csoportkülönbségeket jeleznek. Narancssárga: kontroll résztvevők (NTP), kék: ASD-s résztvevők.

****

*9. ábra.* Szívfrekvencia és szívfrekvencia-variabilitás. A panel: Alap és reaktív (interperszonális kondíció) pulzusszám percenkénti ütésszámban (bpm). B panel: Alapérték és reaktív (interperszonális kondíció) pulzusszám-variabilitás (RMSSD). Hibasávok: az átlag standard hibája. Csillag jelzi a szignifikáns csoportkülönbséget. Narancssárga vonal: neurotipikus résztvevők (NTP), kék vonal: ASD-s résztvevők.

## Diszkusszió

Célunk annak vizsgálata volt, hogy az autista felnőttek hogyan szabályozzák az interperszonális távolságot, és emögött milyen autonóm idegrendszeri reaktivitás áll. A kutatásban ASD-s felnőtt résztvevők és neurotipikus kontrollszemélyek interperszonális távolságmérési feladatot végeztek, miközben rögzítettük a HRV-jüket, hogy információt nyerjünk a vegetatív szabályozásukról. Az eredmények azt mutatták, hogy az ASD-s résztvevők a neurotipikus kontrollokhoz képest szignifikánsan nagyobb interperszonális távolságokat preferáltak. Várakozásaink ellenére a szemkontaktus és az attribúció nem volt moduláló hatással a csoportok interperszonális távolságára. Ami a HRV-t illeti, az ASD csoport csökkent alapszintű HRV-t és csökkent HRV-reaktivitást mutatott az interperszonális távolság feladat során, ami alacsonyabb paraszimpatikus aktivitásra utal. Ez a HRV-különbség hozzájárulhat az atipikus interperszonális távolságszabályozáshoz.

Az interperszonális távolság szabályozására vonatkozó eredmények összhangban vannak azokkal a tanulmányokkal, amelyek nagyobb interperszonális távolságot találtak ASD-ben a neurotipikus társaikhoz képest (Candini et al., 2017, 2019; Gessaroli et al., 2013). Ugyanakkor ellentmond pl. egy japán tanulmánynak, amely kisebb távolságot talált (Asada et al., 2016). A magyarázat az lehet, hogy ez utóbbi vizsgálatban az ASD-s résztvevők által preferált távolság hasonló ahhoz a távolsághoz, amelyet a mi ASD-s csoportunkban találtunk. Ez arra utalhat, hogy a kulturális normák kevésbé befolyásolják az ASD-s embereket, mint a neurotipikusakat. Továbbá eredményeink ellentétben állnak a "szemkerülés" hipotézissel (Tanaka & Sung, 2013; Tottenham et al., 2014), valamint azokkal a vizsgálatokkal, amelyek a magasabb rendű mentalizáció nehézségeit jelezték ASD-ben (Frith et al., 1991; Livingston et al., 2019). Lehetséges, hogy ezeknek a tényezőknek a hatása csak összetettebb társas helyzetekben jelentkezik.

Kísérleti elrendezésünk kombinálta az interperszonális távolságmérést a HRV regisztrálásával. Ez a megközelítés rávilágított arra, hogy az autista egyének hogyan navigálnak a szociális interakciókban és az ezzel kapcsolatos fiziológiai válaszokban. A vizsgálatnak azonban voltak bizonyos korlátai, például a COVID-19 járvány miatt viszonylag kis elemszám.

Összességében az eredmények azt sugallják, hogy az interperszonális távolságszabályozás és a vegetatív válaszok az ASD-ben összetett folyamatok, amelyek mind viselkedési, mind fiziológiai tényezőket tartalmaznak. Ez a kutatás hatással lehet a szociális kommunikációs nehézségek megértésére az ASD-ben, és potenciálisan segíthet az autista egyének szociális kommunikációjának képzésére szolgáló biofeedback eszközök kifejlesztésében.

# Általános diszkusszió

A disszertációm kettős célt szolgált: először is, a szociális és kognitív működés jobb megértését az ASD-ben, másodszor, a területen használt módszertani megközelítések bővítését. A tanulmányok célja az volt, hogy kiegészítsék az ASD már létező elméleti kereteit, az 1. tanulmány a generativitást vizsgálta egy verbális fluencia feladaton keresztül a végrehajtó diszfunkció hipotézis keretén belül. A 2. tanulmány a statisztikai tanulást vizsgálta az ASD prediktív feldolgozási keretének kiterjesztéseképp. A 3. tanulmány a statisztikai tanulási feladat szemmozgáskövetéses változatát fejlesztette ki a jövőbeli ASD-kutatás javítása érdekében. A 4. tanulmány összekapcsolta az atipikus autonóm szabályozást és az interperszonális távolság szabályozását az ASD-s egyéneknél. Meglepő módon azt találtuk, hogy a verbális folyékonyság és a statisztikai tanulási teljesítmény hasonló volt az autista és neurotipikus egyének között, megkérdőjelezve a korábbi várakozásokat, míg a 4. tanulmányban nagyobb preferált interperszonális távolságot találtunk az ASD-ben, amelyet a hipotézisünkkel ellentétben nem befolyásolt a szemkontaktus vagy az attribúció.

Hogy eredményeinket kontextusba helyezzük, fontos megjegyezni, hogy a neurofejlődési zavarok, például az ASD esetében az intakt teljesítményt különböző kompenzációs mechanizmusok és a mögöttes agyi működések révén lehet elérni (L. C. Baxter és mtsai., 2019; Karmiloff-Smith, 1998; Thomas & Karmiloff-Smith, 2002). Az agy plaszticitása lehetővé teszi ezeknek a kompenzációs mechanizmusoknak a kialakulását, amelyek az ASD-s egyének között az egyedi genetikai és környezeti tényezők miatt jelentősen eltérhetnek, hozzájárulva a viselkedés és a kogníció jelentős csoporton belüli variabilitásához - ahogyan azt az idegrendszeri fejlődési zavarok neurokonstruktivista szemlélete megállapítja (Karmiloff-Smith, 1998).

A disszertációmban bemutatott négy vizsgálatot új kontextusba helyezve, a neurokonstruktivista nézet megkérdőjelezi az ASD-s egyének verbális fluenciában és statisztikai tanulásban nyújtott teljesítmény tipikusként értelmezését. Bár az 1. és a 2. tanulmány nem talált csoportkülönbségeket ezekben a feladatokban, ez a nézőpont azt sugallja, hogy a különbségek hiánya kompenzációs mechanizmusoknak tudható be (Baxter et al., 2016; Müller et al., 2004). Például az ASD-s résztvevők egyénileg eltérő kognitív folyamatokra támaszkodhatnak az ép teljesítmény elérése érdekében, így elfedve az esetleges csoportkülönbségeket. Ezek az eredmények a mögöttes mechanizmusok mélyebb feltárását igénylik a mérés alacsonyabb szintjén, hogy jobban megértsük a kognitív működés valódi természetét ASD-ben (Karmiloff-Smith, 1998; Thomas & Karmiloff-Smith, 2002).

Ez a nézet rávilágít a feladat összetettségének és hosszának az eredményekre gyakorolt hatására is. A verbális folyékonyság esetében a nagyobb kihívást jelentő kategóriák vagy feladatok alkalmazása feltárhatja az autista egyének és a neurotipikus társaik közötti különbségeket. Hasonlóképpen, a feladat hossza pl. a prediktív feldolgozás esetében (Solomon et al., 2011), befolyásolhatja a tanulási görbéket, és potenciálisan fordított U alakú összefüggésekhez vezethet a tanulás és az ASD között. A jövőbeni vizsgálatoknak figyelembe kell venniük ezeket a tényezőket, hogy átfogóbb megértést kapjanak az ASD kognitív működéséről.

Ezenkívül a neurokonstruktivista nézet hangsúlyozza az ASD-ben az inter-individuális variabilitás fontosságát. Azt sugallja, hogy az olyan tényezők, mint a nyelvi zavar vagy az élettörténeti tapasztalatok befolyásolhatják a teljesítményt. Ezen összetett szociokognitív profilok figyelembevétele és a több tényezőt magában foglaló útmodellek alkalmazása árnyaltabb megértést nyújthat arról, hogy a különböző funkciók hogyan hatnak egymásra és hogyan alakítják a viselkedést az ASD-s egyéneknél. Alapvető fontosságú annak feltárása, hogy a kompenzációs mechanizmusok és az egyedi fejlődési utak hogyan járulnak hozzá a megfigyelt viselkedéshez és az általános autista élményhez.

Továbbá fontos, hogy a három keretrendszer és a négy tanulmány között kapcsolatot teremtsünk, hogy átfogóbb betekintést nyerjünk az ASD-be. Az eredmények különböző kereteken keresztül történő feltárása értékes perspektívákat nyújthat, amelyek az egyes keretekből esetleg kimaradnának. Például a 2. vizsgálatban, ahol a prediktív feldolgozást jutalom vagy visszajelzés nélkül vizsgálták, az amygdala elmélet fényt deríthet a nulleredményekre. A megváltozott jutalomfeldolgozás ASD-ben, amelyet a jutalmak csökkent keresése vagy várakozása jelez (Dziura et al., é.n.; Hsu et al., 2020; Keifer et al., 2021), összefügghet a visszajelzés hiányában történő ép statisztikai tanulással, lehetséges, hogy az amygdala kisebb mértékű bevonása miatt.

Ezenkívül a végrehajtó funkciók és a prediktív feldolgozás közötti kölcsönhatás vizsgálata ASD-ben új betekintést nyújthat. Míg a csoportszintű eredmények mind a verbális folyékonyság, mind a statisztikai tanulás tekintetében ép teljesítményt mutattak, az e folyamatok közötti potenciális verseny vagy egyensúly feltárása (Poldrack & Packard, 2003; Virag et al., 2015) egyedi kognitív profilokat tárhat fel az ASD egyéneknél. Továbbá annak megértése, hogy az előzetes tudás atipikus használata (Pellicano & Burr, 2012) hogyan befolyásolja az interperszonális távolságszabályozást ASD-ben, segíthet megérteni a szociális viselkedést a prediktív feldolgozás szemüvegén keresztül. Az autista egyének megváltozott preferált távolsága tükrözheti a társadalmi normákra való csökkent támaszkodást, ami értékes betekintést nyújt az ASD-s egyének társadalmi környezetben szerzett tapasztalataiba (Walsh et al., 2018). Ezenkívül a személyközi távolság szerepe a kognitív tesztelésben klinikai és módszertani kérdés lehet, ami hozzájárulhat az ASD-kutatás kognitív eredményeinek következetlenségéhez. A kísérletezők és a résztvevők közötti távolság figyelembe vétele és jelentése a feladatok során segíthet magyarázatot adni az egyes vizsgálatokban megfigyelt megőrzött teljesítményre.

Összefoglalva, a disszertációm célja az volt, hogy előmozdítsa a szociális és kognitív működés megértését az ASD-ben, miközben bővíti a területen alkalmazott módszertani megközelítéseket. A neurokonstruktivista nézet kiemeli a kompenzációs mechanizmusok és az egyéni különbségek szerepét az ASD-ben, azt sugallva, hogy a csoportkülönbségek hiánya ezekben a feladatokban az egyes személyek által használt egyedi kognitív folyamatoknak köszönhető. Ezen túlmenően az ASD területének hasznára válhatna egy holisztikusabb nézőpont, ahelyett, hogy különálló, elkülönült elméletek próbálnák megmagyarázni a tüneteket.

# Hivatkozások

Albouy, G., Ruby, P., Phillips, C., Luxen, A., Peigneux, P., & Maquet, P. (2006). Implicit oculomotor sequence learning in humans: Time course of offline processing. *Brain Research*, *1090*(1), 163–171. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.03.076

Arora, I., Bellato, A., Ropar, D., Hollis, C., & Groom, M. J. (2021). Is autonomic function during resting-state atypical in Autism: A systematic review of evidence. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *125*, 417–441. https://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2021.02.041

Asada, K., Tojo, Y., Osanai, H., Saito, A., Hasegawa, T., & Kumagaya, S. (2016). Reduced personal space in individuals with Autism spectrum disorder. *PLoS ONE*, *11*(1). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146306

Barnes, K. A., Howard, J. H., Howard, D. V., Gilotty, L., Kenworthy, L., Gaillard, W. D., & Vaidya, C. J. (2008). Intact Implicit Learning of Spatial Context and Temporal Sequences in Childhood Autism Spectrum Disorder. *Neuropsychology*, *22*(5), 563–570. https://doi.org/10.1037/0894-4105.22.5.563

Baron-Cohen, S. (2000). Theory of mind and autism: A review. *International Review of Research in Mental Retardation*, *23*, 169–184. https://doi.org/10.1016/S0074-7750(00)80010-5

Baron-Cohen, S., Ring, H. A., Bullmore, E. T., Wheelwright, S., Ashwin, C., & Williams, S. C. R. (2000). The amygdala theory of autism. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *24*(3), 355–364. https://doi.org/10.1016/S0149-7634(00)00011-7

Baxter, B. S., Edelman, B. J., Nesbitt, N., & He, B. (2016). Sensorimotor Rhythm BCI with Simultaneous High Definition-Transcranial Direct Current Stimulation Alters Task Performance. *Brain Stimulation*, *9*(6), 834–841. https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.07.003

Baxter, L. C., Nespodzany, A., Walsh, M. J. M., Wood, E., Smith, C. J., & Braden, B. B. (2019). The influence of age and ASD on verbal fluency networks. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *63*, 52–62. https://doi.org/10.1016/J.RASD.2019.03.002

Beacher, F. D. C. C., Radulescu, E., Minati, L., Baron-Cohen, S., Lombardo, M. V., Lai, M. C., Walker, A., Howard, D., Gray, M. A., Harrison, N. A., & Critchley, H. D. (2012). Sex Differences and Autism: Brain Function during Verbal Fluency and Mental Rotation. *PLOS ONE*, *7*(6), e38355. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0038355

Black, M. H., Chen, N. T. M., Iyer, K. K., Lipp, O. V., Bölte, S., Falkmer, M., Tan, T., & Girdler, S. (2017). Mechanisms of facial emotion recognition in autism spectrum disorders: Insights from eye tracking and electroencephalography. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *80*, 488–515. https://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2017.06.016

Bloch, A., Shaham, M., Vakil, E., Schwizer Ashkenazi, S., & Zeilig, G. (2020). Examining implicit procedural learning in tetraplegia using an oculomotor serial reaction time task. *PLOS ONE*, *15*(4), e0232124. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232124

Borkowska, A. R. (2015). Language and communicative functions as well as verbal fluency in children with High-Functioning Autism. *Journal of Intellectual Disability - Diagnosis and Treatment*, *3*(3), 147–153. https://doi.org/10.6000/2292-2598.2015.03.03.4

Brothers, L. (1990). The social brain : a project for integrating primate behavior and neuropsychology in a new domain. *Concepts in Neuroscience*, *1*, 27–51. https://cir.nii.ac.jp/crid/1572543024912103552

Brown, J., Aczel, B., Jiménez, L., Kaufman, S. B., & Grant, K. P. (2010). Intact implicit learning in autism spectrum conditions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*(9), 1789–1812. https://doi.org/10.1080/17470210903536910

Buijs, R. M., & Van Eden, C. G. (2000). The integration of stress by the hypothalamus, amygdala and prefrontal cortex: balance between the autonomic nervous system and the neuroendocrine system. *Progress in Brain Research*, *126*, 117–132. https://doi.org/10.1016/S0079-6123(00)26011-1

Candini, M., Giuberti, V., Manattini, A., Grittani, S., di Pellegrino, G., & Frassinetti, F. (2017). Personal space regulation in childhood autism: Effects of social interaction and person’s perspective. *Autism Research*, *10*(1), 144–154. https://doi.org/10.1002/aur.1637

Candini, M., Giuberti, V., Santelli, E., di Pellegrino, G., & Frassinetti, F. (2019). When social and action spaces diverge: A study in children with typical development and autism. *Autism*, *23*(7), 1687–1698. https://doi.org/10.1177/1362361318822504/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177\_1362361318822504-FIG6.JPEG

Cannon, J., O’Brien, A. M., Bungert, L., & Sinha, P. (2021). Prediction in Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review of Empirical Evidence. *Autism Research*, *14*(4), 604–630. https://doi.org/10.1002/AUR.2482

Carmo, J. C., Duarte, E., Pinho, S., Marques, J. F., & Filipe, C. N. (2015). Verbal fluency as a function of time in autism spectrum disorder: An impairment of initiation processes? *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/13803395.2015.1062082*, *37*(7), 710–721. https://doi.org/10.1080/13803395.2015.1062082

Carmo, J. C., Duarte, E., Souza, C., Pinho, S., & Filipe, C. N. (2017). Brief Report: Testing the Impairment of Initiation Processes Hypothesis in Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *47*(4), 1256–1260. https://doi.org/10.1007/S10803-017-3031-6/FIGURES/3

Christiansen, M. H., Conway, C. M., & Onnis, L. (2012). Similar neural correlates for language and sequential learning: Evidence from event-related brain potentials. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/01690965.2011.606666*, *27*(2), 231–256. https://doi.org/10.1080/01690965.2011.606666

Corbett, B. A., Constantine, L. J., Hendren, R., Rocke, D., & Ozonoff, S. (2009). Examining executive functioning in children with autism spectrum disorder, attention deficit hyperactivity disorder and typical development. *Psychiatry Research*, *166*(2–3), 210–222. https://doi.org/10.1016/J.PSYCHRES.2008.02.005

Czermainski, F. R., Dos Santos Riesgo, R., Guimarães, L. S. P., De Salles, J. F., & Bosa, C. A. (2014). Executive Functions in Children and Adolescents With Autism Spectrum Disorder. *Paidéia (Ribeirão Preto)*, *24*(57), 85–94. https://doi.org/10.1590/1982-43272457201411

Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Https://Doi.Org/10.1146/Annurev-Psych-113011-143750*, *64*, 135–168. https://doi.org/10.1146/ANNUREV-PSYCH-113011-143750

Dziura, S., McNaughton, K. A., Giacobbe, E., Yarger, H., Hickey, A. C., Shariq, D., & Redcay, E. (n.d.). *Neural sensitivity to social reward predicts social behavior and satisfaction in adolescents during the COVID-19 pandemic*. https://doi.org/10.31234/OSF.IO/Y9T8G

Farkas, B. C., 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*, 766. https://doi.org/10.3389/FNHUM.2021.683885/BIBTEX

Frith, U., & Happé, F. (1994). Autism: beyond “theory of mind.” *Cognition*, *50*(1–3), 115–132. https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90024-8

Frith, U., Morton, J., & Leslie, A. M. (1991). The cognitive basis of a biological disorder: autism. *Trends in Neurosciences*, *14*(10), 433–438. https://doi.org/10.1016/0166-2236(91)90041-R

Gessaroli, E., Santelli, E., di Pellegrino, G., & Frassinetti, F. (2013). Personal Space Regulation in Childhood Autism Spectrum Disorders. *PLoS ONE*, *8*(9). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074959

Geurts, H. M., Corbett, B., & Solomon, M. (2009). The paradox of cognitive flexibility in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, *13*(2), 74–82. https://doi.org/10.1016/J.TICS.2008.11.006

Gordon, B., & Stark, S. (2007). Procedural Learning of a Visual Sequence in Individuals With Autism. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, *22*(1), 14–22. https://doi.org/10.1177/10883576070220010201

Gregory, R. L. (1980). Perceptions as hypotheses. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, *290*(1038), 181–197. https://doi.org/10.1098/RSTB.1980.0090

Hamilton, K., Hoogenhout, M., & Malcolm-Smith, S. (2016). Neurocognitive considerations when assessing Theory of Mind in Autism Spectrum Disorder. *Http://Dx.Doi.Org/10.2989/17280583.2016.1268141*, *28*(3), 233–241. https://doi.org/10.2989/17280583.2016.1268141

Hill, E. L. (2004). Executive dysfunction in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(1), 26–32. https://doi.org/10.1016/J.TICS.2003.11.003

Hillis, A. E., & Caramazza, A. (1991). Mechanisms for accessing lexical representations for output: evidence from a category-specific semantic deficit. *Brain and Language*, *40*(1), 106–144. https://doi.org/10.1016/0093-934X(91)90119-L

Howard, 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

Hsu, C. C., Madsen, T. E., O’Gorman, E., Gourley, S. L., & Rainnie, D. G. (2020). Reward-related dynamical coupling between basolateral amygdala and nucleus accumbens. *Brain Structure and Function*, *225*(6), 1873–1888. https://doi.org/10.1007/S00429-020-02099-2/FIGURES/7

Ibrahim, K., Eilbott, J. A., Ventola, P., He, G., Pelphrey, K. A., McCarthy, G., & Sukhodolsky, D. G. (2019). Reduced Amygdala–Prefrontal Functional Connectivity in Children With Autism Spectrum Disorder and Co-occurring Disruptive Behavior. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, *4*(12), 1031–1041. https://doi.org/10.1016/J.BPSC.2019.01.009

Ingram, D. H., Mayes, S. D., Troxell, L. B., & Calhoun, S. L. (2007). Assessing children with autism, mental retardation, and typical development                using the Playground Observation Checklist. *Http://Dx.Doi.Org/10.1177/1362361307078129*, *11*(4), 311–319. https://doi.org/10.1177/1362361307078129

Janak, P. H., & Tye, K. M. (2015). From circuits to behaviour in the amygdala. *Nature 2015 517:7534*, *517*(7534), 284–292. https://doi.org/10.1038/nature14188

Karmiloff-Smith, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences*, *2*(10), 389–398. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01230-3

Keifer, C. M., Day, T. C., Hauschild, K. M., & Lerner, M. D. (2021). Social and Nonsocial Reward Anticipation in Typical Development and Autism Spectrum Disorders: Current Status and Future Directions. *Current Psychiatry Reports*, *23*(6), 1–6. https://doi.org/10.1007/S11920-021-01247-7/TABLES/1

Kennedy, D. P., & Adolphs, R. (2014). Violations of Personal Space by Individuals with Autism Spectrum Disorder. *PLOS ONE*, *9*(8), e103369. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0103369

Kennedy, D. P., Gläscher, J., Tyszka, J. M., & Adolphs, R. (2009). Personal space regulation by the human amygdala. *Nature Neuroscience 2009 12:10*, *12*(10), 1226–1227. https://doi.org/10.1038/nn.2381

Kenworthy, L., Yerys, B. E., Anthony, L. G., & Wallace, G. L. (2008). Understanding executive control in autism spectrum disorders in the lab and in the real world. *Neuropsychology Review*, *18*(4), 320–338. https://doi.org/10.1007/S11065-008-9077-7/TABLES/3

Kinder, A., Rolfs, M., & Kliegl, R. (2008). Sequence learning at optimal stimulus-response mapping: Evidence from a serial reaction time task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*(2), 203–209. https://doi.org/10.1080/17470210701557555

Kleinhans, N., Akshoomoff, N., & Delis, D. C. (2005). Executive functions in autism and asperger’s disorder: Flexibility, fluency, and inhibition. *Developmental Neuropsychology*, *27*(3), 379–401. https://doi.org/10.1207/S15326942DN2703\_5

Kobor, A., Janacsek, K., Takacs, A., & Nemeth, D. (2017). Statistical learning leads to persistent memory: Evidence for one-year consolidation. *Scientific Reports 2017 7:1*, *7*(1), 1–10. https://doi.org/10.1038/s41598-017-00807-3

Koch, F. S., Sundqvist, A., Thornberg, U. B., Nyberg, S., Lum, J. A. G., Ullman, M. T., Barr, R., Rudner, M., & Heimann, M. (2020). Procedural memory in infancy: Evidence from implicit sequence learning in an eye-tracking paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology*, *191*, 104733. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104733

Kousta, S. T., Vigliocco, G., Vinson, D. P., Andrews, M., & Del Campo, E. (2011). The Representation of Abstract Words: Why Emotion Matters. *Journal of Experimental Psychology: General*, *140*(1), 14–34. https://doi.org/10.1037/A0021446

Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research - Recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in Psychology*, *8*(FEB), 213. https://doi.org/10.3389/FPSYG.2017.00213/BIBTEX

Larson, J. C. G., & Mostofsky, S. H. (2008). Evidence that the pattern of visuomotor sequence learning is altered in children with autism. *Autism Research*, *1*(6), 341–353. https://doi.org/10.1002/AUR.54

Lawson, R. P., Mathys, C., & Rees, G. (2017). Adults with autism overestimate the volatility of the sensory environment. *Nature Neuroscience*, *20*(9), 1293–1299. https://doi.org/10.1038/nn.4615

Livingston, L. A., Carr, B., & Shah, P. (2019). Recent Advances and New Directions in Measuring Theory of Mind in Autistic Adults. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *49*(4), 1738–1744. https://doi.org/10.1007/S10803-018-3823-3/METRICS

Lough, E., Hanley, M., Rodgers, J., South, M., Kirk, H., Kennedy, D. P., & Riby, D. M. (2015). Violations of Personal Space in Young People with Autism Spectrum Disorders and Williams Syndrome: Insights from the Social Responsiveness Scale. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *45*(12), 4101–4108. https://doi.org/10.1007/s10803-015-2536-0

Lum, J. A. G. (2020). Incidental learning of a visuo-motor sequence modulates saccadic amplitude: Evidence from the serial reaction time task. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *46*(10), 1881–1891. https://doi.org/10.1037/XLM0000917

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49–100. https://doi.org/10.1006/COGP.1999.0734

Monteiro, R., Simões, M., Andrade, J., & Castelo Branco, M. (2017). Processing of Facial Expressions in Autism: a Systematic Review of EEG/ERP Evidence. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, *4*(4), 255–276. https://doi.org/10.1007/S40489-017-0112-6/TABLES/9

Mosconi, M. W., Kay, M., D’Cruz, A. M., Seidenfeld, A., Guter, S., Stanford, L. D., & Sweeney, J. A. (2009). Impaired inhibitory control is associated with higher-order repetitive behaviors in autism spectrum disorders. *Psychological Medicine*, *39*(9), 1559–1566. https://doi.org/10.1017/S0033291708004984

Mostofsky, S. H., Goldberg, M. C., Landa, R. J., & Denckla, M. B. (2000). Evidence for a deficit in procedural learning in children and adolescents with autism: Implications for cerebellar contribution. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *6*(7), 752–759. https://doi.org/10.1017/S1355617700677020

Müller, R. A., Cauich, C., Rubio, M. A., Mizuno, A., & Courchesne, E. (2004). Abnormal activity patterns in premotor cortex during sequence learning in autistic patients. *Biological Psychiatry*, *56*(5), 323–332. https://doi.org/10.1016/J.BIOPSYCH.2004.06.007

Nemeth, D., Janacsek, K., Balogh, V., Londe, Z., Mingesz, R., Fazekas, M., Jambori, S., Danyi, I., & Vetro, A. (2010). Learning in autism: Implicitly superb. *PLoS ONE*, *5*(7), 1–7. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011731

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*(OCT), 147. https://doi.org/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

Ozonoff, S., South, M., & Provencal, S. (2007). Executive functions in autism: Theory and practice. In J. M. Pérez, P. M. González, M. Llorente Comi, & C. Nieto (Eds.), *New developments in autism: The future is today* (pp. 185–213). Jessica Kingsley Publishers. https://psycnet.apa.org/record/2006-21132-008

Paivio, A. (1979). *Imagery and Verbal Processes*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc. https://books.google.hu/books?hl=en&lr=&id=NxsuAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=paivio+imagery+and+verbal+processes&ots=wmQ0jUUA4C&sig=VXjDp5QrnTvnZ\_IYkxJhZ5SX9sQ&redir\_esc=y#v=onepage&q=paivio%20imagery%20and%20verbal%20processes&f=false

Paivio, A., Walsh, M., & Bons, T. (1994). Concreteness effects on memory: When and why? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(5), 1196–1204. https://psycnet.apa.org/buy/1995-04383-001

PAIVIO, A., YUILLE, J. C., & MADIGAN, S. A. (1968). CONCRETENESS, IMAGERY, AND MEANINGFULNESS VALUES FOR 925 NOUNS. *Journal of Experimental Psychology*, *76*(1 PART 2), 1–25. https://doi.org/10.1037/H0025327

Palmer, C. J., Lawson, R. P., & Hohwy, J. (2017). Bayesian approaches to autism: Towards volatility, action, and behavior. *Psychological Bulletin*, *143*(5), 521–542. https://doi.org/10.1037/BUL0000097

Pedersen, J. (1997). Behavioral aspects of infantile autism: An ethoiogical description. *European Child and Adolescent Psychiatry*, *6*(2), 96–106. https://doi.org/10.1007/BF00566672/METRICS

Pellicano, E., & Burr, D. (2012). When the world becomes ‘too real’: a Bayesian explanation of autistic perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(10), 504–510. https://doi.org/10.1016/J.TICS.2012.08.009

Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, *37*(1), 51–87. https://doi.org/10.1111/J.1469-7610.1996.TB01380.X

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

Roser, M. E., Aslin, R. N., McKenzie, R., Zahra, D., & Fiser, J. (2015). Enhanced visual statistical learning in adults with autism. *Neuropsychology*, *29*(2), 163–172. https://doi.org/10.1037/neu0000137

Saario, T. (2019). *Polar Electro Oy*. https://www.polar.com/welcome/

Schafer, G., Williams, T. I., & Smith, P. T. (2013). Which Words are Hard for Autistic Children to Learn? *Mind & Language*, *28*(5), 661–698. https://doi.org/10.1111/MILA.12038

Schapiro, A., & Turk-Browne, N. (2015). Statistical Learning. In A. W. Toga (Ed.), *Brain mapping: an encyclopedic reference* (pp. 501–506). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00276-1

Schmitgen, M. M., Walter, H., Drost, S., Rückl, S., & Schnell, K. (2016). Stimulus-dependent amygdala involvement in affective theory of mind generation. *NeuroImage*, *129*, 450–459. https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2016.01.029

Schmitt, L. M., White, S. P., Cook, E. H., Sweeney, J. A., & Mosconi, M. W. (2018). Cognitive mechanisms of inhibitory control deficits in autism spectrum disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *59*(5), 586–595. https://doi.org/10.1111/JCPP.12837

Schwizer Ashkenazi, S., Sacher, Y., & Vakil, E. (2020). New insights in implicit sequence learning of adults with traumatic brain injury: As measured by an ocular serial reaction time (O-SRT) task. *Neuropsychology*. https://doi.org/10.1037/NEU0000710

Sharer, E. A., Mostofsky, S. H., Pascual-Leone, A., & Oberman, L. M. (2016). Isolating Visual and Proprioceptive Components of Motor Sequence Learning in ASD. *Autism Research*, *9*(5), 563–569. https://doi.org/10.1002/aur.1537

Sharer, E., Crocetti, D., Muschelli, J., Barber, A. D., Nebel, M. B., Caffo, B. S., Pekar, J. J., & Mostofsky, S. H. (2015). Neural Correlates of Visuomotor Learning in Autism. *Journal of Child Neurology*, *30*(14), 1877–1886. https://doi.org/10.1177/0883073815600869

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*, *0*(JAN), 2708. https://doi.org/10.3389/FPSYG.2018.02708

Sinha, P., Kjelgaard, M. M., Gandhi, T. K., Tsourides, K., Cardinaux, A. L., Pantazis, D., Diamond, S. P., & Held, R. M. (2014). Autism as a disorder of prediction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(42), 15220–15225. https://doi.org/10.1073/PNAS.1416797111

Solomon, M., Smith, A. C., Frank, M. J., Ly, S., & Carter, C. S. (2011). Probabilistic reinforcement learning in adults with autism spectrum disorders. *Autism Research*, *4*(2), 109–120. https://doi.org/10.1002/aur.177

Tal, A., Bloch, A., Cohen-Dallal, H., Aviv, O., Schwizer Ashkenazi, S., Bar, M., & Vakil, E. (2021). Oculomotor anticipation reveals a multitude of learning processes underlying the serial reaction time task. *Scientific Reports*, *11*(1), 6190. https://doi.org/10.1038/s41598-021-85842-x

Tal, A., & Vakil, E. (2020). How sequence learning unfolds: Insights from anticipatory eye movements. *Cognition*, *201*, 104291. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104291

Tanaka, J. W., & Sung, A. (2013). The “Eye Avoidance” Hypothesis of Autism Face Processing. *Journal of Autism and Developmental Disorders 2013 46:5*, *46*(5), 1538–1552. https://doi.org/10.1007/S10803-013-1976-7

Thomas, M., & Karmiloff-Smith, A. (2002). Are developmental disorders like cases of adult brain damage? Implications from connectionist modelling. *Behavioral and Brain Sciences*, *25*(6), 727–750. https://doi.org/10.1017/S0140525X02000134

Tobii AB. (2017). *Tobii Pro X3-120 eye tracker: product description.* https://www.tobiipro.com/siteassets/tobii-pro/product-descriptions/tobii-pro-x3-120-product-description.pdf

Todd, R. M., & Anderson, A. K. (2009). Six degrees of separation: the amygdala regulates social behavior and perception. *Nature Neuroscience 2009 12:10*, *12*(10), 1217–1218. https://doi.org/10.1038/nn1009-1217

Tottenham, N., Hertzig, M. E., Gillespie-Lynch, K., Gilhooly, T., Millner, A. J., & Casey, B. J. (2014). Elevated amygdala response to faces and gaze aversion in autism spectrum disorder. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *9*(1), 106–117. https://doi.org/10.1093/SCAN/NST050

Travers, B. G., Klinger, M. R., Mussey, J. L., & Klinger, L. G. (2010). Motor-linked implicit learning in persons with autism spectrum disorders. *Autism Research*, *3*(2), 68–77. https://doi.org/10.1002/aur.123

Travers, B. G., Powell, P. S., Mussey, J. L., Klinger, L. G., Crisler, M. E., & Klinger, M. R. (2013). Spatial and identity cues differentially affect implicit contextual cueing in adolescents and adults with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(10), 2393–2404. https://doi.org/10.1007/S10803-013-1787-X/TABLES/2

Turner, M. (1997). Towards an executive dysfunction account of repetitive behaviour in autism. In J. Russel (Ed.), *Autism as an executive disorder* (pp. 57–100). Oxford University Press. https://psycnet.apa.org/record/1998-07445-002

Vakil, E., Bloch, A., & Cohen, H. (2017). Anticipation measures of sequence learning: manual versus oculomotor versions of the serial reaction time task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *70*(3), 579–589. https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1172095

Vakil, E., Hayout, M., Maler, M., & Schwizer Ashkenazi, S. (2021). Day versus night consolidation of implicit sequence learning using manual and oculomotor activation versions of the serial reaction time task: reaction time and anticipation measures. *Psychological Research 2021*, 1–18. https://doi.org/10.1007/S00426-021-01534-1

van de Cruys, S., Evers, K., van der Hallen, R., van Eylen, L., Boets, B., de-Wit, L., & Wagemans, J. (2014). Precise minds in uncertain worlds: Predictive coding in autism. *Psychological Review*, *121*(4), 649–675. https://doi.org/10.1037/a0037665

Vékony, T., Pleche, C., Pesthy, O., Janacsek, K., & Nemeth, D. (2022). Speed and accuracy instructions affect two aspects of skill learning differently. *Npj Science of Learning 2022 7:1*, *7*(1), 1–11. https://doi.org/10.1038/s41539-022-00144-9

Virag, M., Janacsek, K., Horvath, A., Bujdoso, Z., Fabo, D., & Nemeth, D. (2015). Competition between frontal lobe functions and implicit sequence learning: evidence from the long-term effects of alcohol. *Experimental Brain Research*, *233*(7), 2081–2089. https://doi.org/10.1007/s00221-015-4279-8

Walsh, R. J., Krabbendam, L., Dewinter, J., & Begeer, S. (2018). Brief Report: Gender Identity Differences in Autistic Adults: Associations with Perceptual and Socio-cognitive Profiles. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *48*(12), 4070–4078. https://doi.org/10.1007/S10803-018-3702-Y/TABLES/3

Wang, S., & Li, X. (2023). A revisit of the amygdala theory of autism: Twenty years after. *Neuropsychologia*, *183*, 108519. https://doi.org/10.1016/J.NEUROPSYCHOLOGIA.2023.108519

West, C., & Holcomb, P. J. (2000). Imaginal, Semantic, and Surface-Level Processing of Concrete and Abstract Words: An Electrophysiological Investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(6), 1024–1037. https://doi.org/10.1162/08989290051137558

Zeidan, J., Fombonne, E., Scorah, J., Ibrahim, A., Durkin, M. S., Saxena, S., Yusuf, A., Shih, A., & Elsabbagh, M. (2022). Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism Research*, *15*(5), 778–790. https://doi.org/10.1002/AUR.2696