



A migrén hatása a szenzoros asszociatív tanulási képességekre gyermekekben

A Ph.D. értekezés tézisei

Giricz Zsófia

Elmélet Orvostudományok Doktori Iskola

Élettani Intézet

Általános Orvostudományi Kar

Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2020

1. Bevezetés

Az asszociatív tanulás során nem kapcsolódó elemek közötti alakítunk ki kapcsolatokat. Ez a típusú kapcsolat általában hasonló vagy ellentétes tulajdonságokon alapuló tanulás eredményeként alakulhat ki, amelyek időben és térben egybeesnek. A Rutgers Acquired Equivalence Test, azaz **Szerzett Egyenértékűség Teszt**, egy vizuális asszociációs tanulást vizsgáló paradigma, mely képes elkülöníteni a memória folyamatok tanulási, illetve felidézési és generalizációs szakaszait. A tesztet gyakran fish-face paradigmának is nevezik, mely során az alanyoknak inger (face) - válasz (fish) párosításokat kell megtanulniuk. Az egyenértékűség azt jelenti, hogy kettő vagy akár több inger is azonos válaszhoz kapcsolódik, tehát ebből a szempontból egyenértékűnek tekinthetők.

A teszt két fő részből áll: az első szakasza egy betanulási fázis, mely során az alanyok megtanulják az inger-válasz párokat visszajelzések alapján, míg a második szakasz maga a teszt fázis. A teszt fázis további két részre bontható, a visszaidézések során az alanyoknak a korábban megtanult párokat kell felidézniük, míg a generalizációs fázisban a betanulás során megtanult rejtett szabályt kell alkalmazniuk az új, addig be nem mutatott párok esetén. A teszt fázisban az alanyok már semmilyen visszajelzést nem kapnak válaszaik helyességét illetően.

Catherine E. Myers és munkatársai 2003-ban kezdték el megfigyelni egyes kórképek a tesztben nyújtott teljesítményre gyakorolt hatását. Parkinson-kórban, mely a bazális ganglionok diszfunkciójához köthető, a betanulási, míg hippocampális atrófiában a generalizációs feladatokban találtak szignifikáns teljesítménycsökkenést. Ezek az eredmények arra engednek következtetni, hogy a feladat betanulási szakaszának sikerességéhez a bazális ganglionok, míg a felidézési és generalizációs szakaszának sikerességéhez a hippocampus és a mediális temporális lebeny funkcionális épsége szükséges.

A **mediális temporális lebeny**, ezen belül is a **hippokampusz** fontos szerepet játszik a deklaratív (explicit), valamint a hosszú-távú memória kialakításában. Korábbi tanulmányok során megfigyelték, hogy a hippocampusz sérülése során a páciensek kognitív diszfunkciókat mutattak: sérültek a hosszú távú memória azon részei, melyek az új ismeretek elsajátításáért felelősek, illetve az a memória rendszer, mely az egész életből származó epizódok kombinációján alapszik, továbbá változást figyeltek meg a munkamemóriában is. Az Alzheimer-kór során fellépő memóriakárosodás és térbeli navigációs zavarok hátterében is a hippocampális atrófia áll.

A **bazális ganglionok** rendszere egymással funkcionális és anatómiai kapcsolatban álló szubkortikális szürkeállományi régióból áll. Ismert, hogy a bazális ganglionok felelősek az izomtónus és az akaratlagos mozgások koordinálásért, de mindemellett kiemelkedő szerepet játszanak egyéb kognitív (procedurális vagy nem deklaratív tanulás) és érzelmi funkciók szabályozásában is. A bazális ganglionok sérüléséhez köthető betegségek

(Parkinson-kór, Huntington-chorea, Tourette-szindróma, Obszesszív-kompulzív zavar stb.) során számos esetben a kognitív diszfunkciók jelenlétét is leírták.

A **migrén** az egyik leggyakoribb krónikus neurológiai megbetegedés, a primer fejfájások egyike. A világon több mint 1 milliárdan szenvednek valamilyen formájában. Számos típusa ismert, melyek közül a migrén aurával és a **migrén aura nélkül** a legismertebbek. Diagnosztikai kritériumait a Nemzetközi Fejfájásszövetség (International Headache Society) kritériumrendszere legfrissebb, 3b verziója foglalja össze: a visszatérő fejfájások általában 4-72 órán át tartó rohamok formájában jelentkeznek, jellemzően az alábbi tünetek közül legalább kettővel együtt: egyoldali lokalizáció, pulzáló minőség, rutin fizikai aktivitással a fájdalom erősödik. További kapcsolódó migrén tünetek lehetnek a hányinger, a hányás, a fonofóbia és a fotofóbia. A **gyermek migrénre** a felnőttekétől bizonyos mértékben eltérő, változatos tünettan jellemző, a rohamok hossza általában rövidebb, lokalizációja lehet kétoldali, és jellemzőek a vegetatív és abdominális tünetek.

Különböző képalkotó eljárások segítségével, megállapították a **migrén egész agyra kiterjedő** hatását. Ezen változások érintik a szürkeállomány denzitását, a fehérállományi léziók kialakulását, az agykéreg ingerlékenységének megnövekedését, valamint a megváltozott agyi vérátáramlást. Egyes tanulmányok a neostriátumot és a hippocampuszt érintő volumenváltozásokat, e területek szürkeállomány denzitás csökkenést, illetve csökkent intraregionális konnektivitást írtak le egyes memóriefunkciókhoz is köthető agyterület között migrénes páciensekben.

Mind felnőtt, mind gyermek migrénesek körében az életminőséget tovább rontó szövődmény lehet a **kognitív diszfunkció**. Korábbi tanulmányok igen ellentmondásosak, azonban elmondható, az alsóbbrendű kognitív folyamatok, mint a vizuális percepción alapuló feladatok végrehajtása, érintettek lehetnek migrén során, míg az intelligenciára és az explicit memória megfelelő működésére nincs hatással. A másik érdekes tény a migrén és a demencia kapcsolata, egy korábbi kutatás során kimutatták, hogy a migrén jelenléte rizikófaktor a később kialakuló demencia során, valamint összefüggésbe hozták az Alzheimer-kór során fellépő memóriakárosodással is.

Korábbi tanulmányunkban az asszociatív tanulás gyengébb teljesítményét és az generalizációs képesség jelentős romlását figyeltük meg aura nélküli felnőttkori migréneseknél, amely megállapítások funkcionális oldalról is alátámasztják a bazális ganglionok és a hippocampusz migrénben való érintettségét.

2. Célkitűzés

Kísérleteink során arra voltunk kíváncsiak, hogy a migrénben fennálló kognitív diszfunkciók a tesztben mutatott teljesítmény alapján érinthetik-e az előbb említett folyamatokat és struktúrákat, illetve van-e változás az életkor előrehaladtával. Tehát célul tűztük ki:

- Megvizsgálni a gyermek migrénesek és a kontroll gyermekek teljesítményének összehasonlítását vizuális, auditoros és multiszenzoros egyenértékűség tesztek segítségével
- Valamint, a korábban felnőtt migrénesek és kontroll felnőttek vizuális paradigmában megfigyelt teljesítményének összehasonlítását a gyermekek teljesítményével.

3. Eszközök és módszerek

Résztvevők

A vizsgálati csoportjainkat 27, aura nélküli migrénben szenvedő gyermek, illetve a hozzájuk nemben, korban és intelligencia szintben (Raven-féle progresszív mátrixok) illesztett egészséges, nem fejfájós kontrollok alkották. Az elemzéseinkhez felhasználtunk korábban gyűjtött 22 felnőtt migrénes, és a hozzájuk nemben, korban és iskolázottságban illesztett kontrollok adatait is. A gyermekek esetében az átlagéletkor a migrénes csoportban 14.1 ± 3 év, míg a kontroll csoportban 14.2 ± 3 év volt, és lány:fiú arány 15:12. A felnőtt résztvevők esetében az átlag életkor 40 ± 11.76 év, míg a nő:férfi arány 20:2.

A gyermek páciensek az SZTE Szent-Györgyi Albert Klinikai Központ Gyermekgyógyászati Klinika és Gyermek-Egészségügyi Központból, míg a felnőtt migrénesek a kecskeméti Bács-Kiskun Megyei Kórház Neurológiai és Stroke Osztályáról toboroztuk. Az aura nélküli migrén diagnózisát minden esetben ugyanazon neurológus végezte el, mind a gyermekek, mind a felnőttek esetében. A vizsgálatokban való részvétel egyik kizáró oka volt a vizsgálat időpontja előtti 5 napban és a vizsgálatot követő 24 órában előforduló migrénes fejfájás, valamint más neurológiai, pszichiátriai vagy szemészeti rendellenességek jelenléte. A gyermek önkéntesek, akik közül a kontroll csoportot választottuk ki, szegedi székhelyű iskolák tanulói voltak. A felnőtt önkéntesek főként a Szegedi Tudományegyetem dolgozói voltak. A kontrollok esetében a vizsgálatban való részvétel kizáró oka bármilyen fejfájás, vagy egyéb neurológiai, pszichiátriai vagy szemészeti rendellenesség jelenléte volt.

Vizsgálati protokollunk minden tekintetben megfelel a Helsinki Nyilatkozat elveinek. A protokollt a Szegedi Tudományegyetem Regionális Humán Orvosbiológiai Kutatásetikai Bizottsága jóváhagyta (engedély szám: 52/2015).

Vizuális paradigma

A feladatok során az alanyoknak az ingereket válaszokhoz kell társítaniuk. Az ingerek 4 féle rajzolt arcot takarnak, egy felnőtt nő, egy kislány, egy felnőtt férfi és egy kisfiú. Az arcok párba állíthatóak nem, kor és hajszín alapján is. Az ingerek 4 színű halat jelentenek, egy sárga, egy piros, egy zöld és egy kék. Minden archoz 2 hal és minden halhoz 2 arc tartozik. A betanulási fázis során a különböző párosításokat a számítógép random módon generálta. Az arcokat és halakat, hiba-visszajelzés alapon kell az résztvevőknek párosítaniuk. A betanulás három részre osztható: 1. először az alanyok megtanulnak 2 inger-válasz párt (pl.: a kislány a kék halhoz, míg a felnőtt nő a sárga halhoz párosítható); 2. a második szakaszban kialakul az egyenértékűség, amikor a már megismert 2 válaszhoz 1-1 újabb ingert kapcsoltunk, így az 1 válaszhoz kapcsolódó 2 inger a válasz tekintetében is egyenértékű lesz, amellet, hogy volt 1 közös jegy (pl: ha a kor a közös jegy, akkor a kisfiú – úgy mint a kislány – a kék hallal van

párban, a felnőtt férfi pedig – a felnőtt nőhöz hasonlóan – a sárga hallal); 3. végül 2 ingert újabb, eddig nem ismert válaszokhoz párosítottunk (pl: a kislányhoz tartozik a piros hal, a felnőtt nőhöz pedig a zöld). A betanulási fázis hossza mindig attól függ, hogy az adott egyén milyen gyorsan volt képes elsajátítani a helyes válaszokat.

A teszt fázis során, az alanyok már nem kapnak további visszajelzést válaszuk helyességét illetően. A visszaidézés (36 ismétlés) és a generalizáció (12 ismétlés) hossza is fix, a feladatok vegyesen jelentkeztek. A felidézési feladatok során azt vizsgáltuk, hogy milyen hatékonysággal idézik vissza a korábban megtanult párokat az alanyok. Ezzel szemben a generalizációs feladatok során azt néztük, hogy a betanulási fázisban elrejtett egyenértékűség szabályt tudták-e alkalmazni, ezáltal tudtak-e következtetni új, eddig nem bemutatott inger válasz párokra (pl: a kisfiúhoz – úgy mint a kislányhoz - tartozik a piros hal, a felnőtt férfihez – úgy mint a felnőtt nőhöz - pedig a zöld hal).

Auditoros és multiszenzoros paradigma

Laboratóriumunkban, Myers és munkatársai (2013) által kifejlesztett vizuális paradigma alapján, kifejlesztettünk egy auditoros és egy audiovizuális tesztet. Mindkét paradigma hasonló módon épül fel, mint a vizuális. Az auditoros paradigma során minden hallott hangot az alanyoknak vagy a jobb (M) vagy a bal (X) billentyűkhöz kell társítani. Négy pár hangot (nyolc stimulus: két állat hang (egy macska nyávog és egy kutya ugat), két különböző nemhez tartozó hang (egy nő és egy férfi mondja: HAHÓ), két hangszer (gitár és zongora), két jármű hangja (indítókulcs és motorkerékpár)) használtunk, mindegyik hang 1,5 másodpercig tartott, és azonos intenzitású volt. A multiszenzoros paradigma alatt a résztvevőknek össze kell párosítaniuk 4 hangot (inger) (azok közül, melyeket az auditoros paradigmában használtunk) és 4 rajzolt arcot (válasz) (a vizuális paradigmában használt 4 arc), ugyanazon szabályok alapján, mint amit a vizuális paradigmában alkalmaztunk.

Statisztikai analízis

Az alanyok eredményességét a betanuláshoz szükséges próbálkozások számával, illetve az egyes szakaszokban tapasztalható hibázási rátával jellemeztük. A statisztikai analízishez (SPSS 21.0 IBM, USA) Mann-Whitney U próbát használtunk. Az adatok normál eloszlásának vizsgálatához a Shapiro-Wilk tesztet használtuk.

4. Eredmények

Vizuális paradigma

A betanuláshoz szükséges próbálkozások száma nem különbözött szignifikánsan a két vizsgált gyermek csoportban ($p=0.395$). Az átlagos hibaarány a betanulási szakaszban sem mutatott szignifikáns különbséget a migrénes gyermekek és kontroll gyermekek között ($p=0.369$). Az átlagos hibaarány a felidézési ($p=0.621$) és generalizációs ($p=0.484$) szakaszokban is hasonlóan alakult a migrénes gyermek és kontroll gyermek csoportokban.

A betanuláshoz szükséges ismétlések számában szignifikáns nem találtunk különbséget a migrénes és kontroll felnőttekben ($p=0.08$). Azonban az átlagos betanulási hibaarány szignifikánsabban magasabb volt a migrénes felnőtt csoportban a kontroll csoporthoz képest ($p=0.043$). Nem találtunk szignifikáns eltérést a visszaidézés hibaarányában a két vizsgált felnőtt csoportban ($p=0.395$). A generalizációs hibaarányban markáns szignifikáns különbséget találtunk a migrénben szenvedő felnőttek és a kontroll csoport között ($p<0.001$).

Auditoros paradigma

A migrénben szenvedő gyermekek és a kontroll gyermekek összehasonlítása során a betanuláshoz szükséges próbálkozások száma nem különbözött szignifikánsan ($p=0.123$). Az átlagos hibaarány a betanulási szakaszban sem mutatott szignifikáns különbséget a két vizsgált csoportban ($p=0.06$). Az átlagos hibaarány a felidézési ($p=0.06$) és generalizációs ($p=0.79$) szakaszokban is hasonlóan alakult a gyermek migrénes és gyermek kontroll csoportokban.

Multiszenzoros paradigma

A betanuláshoz szükséges próbálkozások száma nem különbözött a multiszenzoros paradigmában sem a két vizsgált gyermek csoportban ($p=0.29$). Az átlagos hibaarány a betanulási szakaszban sem mutatott szignifikáns különbséget a migrénes és kontroll csoportok között ($p=0.32$). Hasonló átlagos hibaarányt találtunk a felidézési szakaszban a két vizsgált csoportban ($p=0.98$). Generalizációs hibaarányban azonban szignifikáns különbséget találtunk a migrénes és kontroll csoportokban ($p=0.002$).

5. Megbeszélés

A RAET egy vizuális asszociatív tanulást vizsgáló paradigma. A visszajelzésekkel támogatott betanulási szakasz során különböző képek párosítását kell elsajátítani, mely funkció főként a basalis ganglionokhoz köthető. A visszajelzés nélküli felidézési, valamint a tanult párosítások mögött meghúzódó szabályokat új helyzetben alkalmazó generalizációs szakaszok a hippocampuszhoz köthetők.

A migrén elsődleges fejfájás, az egyik legelterjedtebb krónikus neurológiai kórkép, amely világszerte mintegy 1,04 milliárd embert érint, rendkívül változatos tünetekkel. A migrén leggyakrabban 20–45 éves kor között fordul elő, de a gyermekeket is gyakran érinti. A felnőtt migrénes páciensek általában már gyermekkoruktól kezdve szenvednek migrénes fejfájástól. A migrén a gyermekek életminőségét nagymértékben befolyásolhatja.

Ellentétben a felnőtt populáción végzett vizsgálataink eredményeivel, ahol a migrénben szenvedő betegek szignifikánsan rosszabb teljesítményt mutattak a RAET teszt betanulási és generalizációs szakaszaiban mint a kontrol csoport tagjai, a migrénben szenvedő gyermekeknél nem találtunk szignifikáns funkció romlást a vizuális asszociatív tanulás során.

Mindezek arra engednek következtetni, hogy a felnőtt migrénes páciensek szerzett egyenértékűség tanulási paradigmában mutatkozó, az egészségeshez képest gyengébb teljesítménye nem a migrén, mint neurológia állapot szerves eredménye, hanem inkább a betegség krónikus fennállásának, úgymint a rohamok a kognitív feladat elvégzéséért felelős agyi struktúrákra kifejtett hatásának, lehet a következménye.

Hasonlóan a vizuálisan irányított paradigmához az auditorikusan és multiszenzorosan irányított asszociatív tanulási paradigmában nyújtott teljesítmények, a multiszenzoros paradigma generalizációs fázisában találtak kivétellel, ahol a migrénes gyermekek rosszabbul teljesítettek, sem különböztek a migrénben szenvedő gyermekek és a kontrol csoport tagjai között.

Az egyetlen szignifikáns különbséget a vizsgált gyermek csoportok között a multiszenzoros paradigmában találtunk, a generalizációs fázisban. A multiszenzoros integráció fontos szerepet játszik a kognitív funkciókban, úgy mint a vizuális érzékelésben, tárgyfelismerésben, arc- és hangfelismerésben vagy személyek azonosításában. A visszacsatoláson alapuló pártanulás egy nagyon régi és konzervált funkció, amely összekapcsolható egy ősi struktúrával, a bazális ganglionokkal. Ezen funkció a modalitástól független és a migrén nem befolyásolja. Ezzel szemben a tesztfázis generalizációs részének romlása, amely a modalitástól függ, főként a hippocampusz rendszer diszfunkciójának tudható be, ami így befolyásolhatja a multiszenzoros integrációt.

6. Következtetés

Eredményeink nem mutattak szignifikáns különbséget a szerzett egyenértékűségi teszt során a vizuális és auditoros paradigma egyik fázisában sem, illetve a multiszenzoros paradigma betanulási és visszaidézési részében. Eredményeink azt sugallják, hogy a vizuális asszociatív tanulási funkció elvesztése, melyet a felnőtt betegeknél tapasztaltunk, nem a migrénes kognitív profil velejárója, inkább a fejfájások hosszú távú fennállásának, az alapstruktúrák fejlődésébe vagy működésébe történő beavatkozásának eredménye. Az egyetlen jelentős hiány a migrénben szenvedő gyermekek teljesítményében a multiszenzoros tanulási paradigma generalizációs fázisában volt, mely elképzelhetően a megváltozott multiszenzoros integráció miatt lehet. Ezen különbség korai jele lehet a migrénben szenvedő gyermekek és serdülőkorúak asszociatív tanulási funkciójának elvesztésének.

7. Köszönetnyilvánítás

Elsősorban szeretnék köszönetet mondani Dr. Nagy Attilának, aki témavezetőként segített végig a PhD képzésem során. Tisztelettel köszönöm Prof. Dr. Jancsó Gábornak, hogy lehetőséget adott, hogy részt vehessek az Idegtudomány PhD alprogramban, valamint Prof. Dr. Sáry Gyulának, az intézet vezetőjének, hogy ezeket az éveket az SZT ÁOK Élettani Intézetében tölthettem.

Hálás köszönettel tartozom Dr. Braunitzer Gábornak és Dr. Eördegh Gabriellának, hogy segítettek a migrén kísérletek során, továbbá, hogy tudásukkal tökéletesítették a témában elkészült közleményünket. Szeretném megköszönni Dr. Fehér Ágnesnek és Dr. Pusztai Andrásnak, hogy mindig türelemmel és szeretettel fordultak felém. Szeretném azt is megköszönni, hogy szakmailag mindig mellettem álltak és segítettek, bármilyen problémám merült fel.

Köszönetet szeretnék mondani Dr. Bodosi Baláznak és Liszli Péternek a technikai és informatikai háttér biztosításáért.

Nagyon hálás vagyok azért, hogy olyan emberekkel dolgozhattam együtt, akik szebbé tették a mindennapokat, és akikre mindig támaszkodhattam, név szerint Dr. Őze Attilának, Dr. Pertich Ákosnak, Nyujtó Diánának, Balikó Viktóriának és Katona Xéniának. Köszönetet szeretnék mondani azoknak a TDK-hallgatóknak (András Hegedűsnek, Dr. Pihokker Annának, Dr. Bindics Blankának, Dr. Dózsai Dórának, Edelmayer Marcinak, Kovács Mercédesznek, Görög Nándornak és Dr. Cserháti Nórának) is, akik színesebbé tették a laborban eltöltött időt.

Szeretném megköszönni az SZTE ÁOK Élettani Intézetben dolgozónak, hogy baráti légkört teremtettek, és emiatt mindig szívesen jártam be. Különösen meg szeretném köszönni Dr. Büki Alexandrának, Dr. Benyhe Andrásnak, Dr. Kaposvári Péternek és Dr. Lelkes Zoltánnak, a Zoli-bulikat, a társasjátékos estéket és a hajnalig elhúzódó beszélgetéseket.

Szeretném megköszönni a kutató csoportunkkal együtt dolgozó neurológus szakorvosoknak (Dr. Bihari Katalin, Dr. Kóbor Jenő, Dr. Pálincás Éva), hogy diagnosztizálták, majd a diagnózis után bevonták a migrénes pácienseket a vizsgálatokba.

A leghálásabb azonban a családomnak vagyok. Köszönöm édesanyámnak, Jancsik Andreának, nevelő apukámnak, Ábrahám Péternek, nagyszüleimnek Megyeri Emesének, Gligor Margitnak, Giricz Sándornak⁺ és Jancsik Zoltánnak, és a családom összes tagjának, hogy végig mellettem álltak, hogy mindig segítettek az utamon és hogy ilyen nagyszerű emberek motiváltak egész életem során.

Külön szeretnék köszönetet mondani páromnak, Szabados-Tóth Bálintnak, akire mindig számíthattam, fogta a kezem a legrosszabb és a legjobb pillanatokban is, és aki művészetével mindig inspirált, hogy tartsak a cél felé.

Köszönöm barátaimnak is a szüntelen támogatásukat és bátorításukat. Dr. Kopniczky Ágotának, Ottlik Dorottyának, Czirok Fanninak és Dr. Timár Zitának külön meg szeretném köszönni, a gimnázium óta tartó töretlen barátságunkat, mely sokat számított nekem az évek során.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni az összes kollégámnak, az SZTE ÁOK Élettani Intézetből, az SZTE ÁOK Pszichitáriai Klinkájáról és az SZT TTIK Élettani, Szervezettani és Idegtudományi Tanszékéről, hogy tudásom végig gyarapodott az együtt töltött idő alatt és sokatokkal a mai napig szoros barátságot kötöttem; szeretném megköszönni mindenkinek, akivel az életem során valaha is találkoztam, és megmutatta nekem, hogy az élet mennyire csodaszép.

Kutatásainkat a University of Szeged Grant SZTE-ÁOK-KKA (Grant No. 2019/270-62-2.) támogatta.

A tézis alapját képező közlemény

1. **Zsófia Giricz**, Ákos Pertich, Attila Óze, András Pusztai, Ágnes Fehér, Gabriella Eördegh, Jenő Kóbor, Katalin Bihari, Éva Pálincás, Gábor Braunitzer, Attila Nagy (2020) Visually guided associative learning in pediatric and adult migraine without aura. Cephalalgia DOI: 10.1177/0333102420958388

Egyéb közlemények:

1. Ágnes Fehér, **Zsófia Giricz**, Anna Juhász, Magdolna Pákáski, Zoltán Janka, János Kálmán (2018) ABCA1 rs2230805 and rs2230806 common gene variants are associated with Alzheimer's disease. Neurosci Lett. 2018 Jan 18;664:79-83.
2. András Pusztai, Ákos Pertich, Xénia Katona, Balázs Bodosi, Diána Nyujtó, **Zsófia Giricz**, Gabriella Eördegh & Attila Nagy (2019) Power-spectra and cross-frequency coupling changes in visual and Audio-visual acquired equivalence learning. Scientific Reports volume 9, Article number: 9444 (2019).
3. Gabriella Eördegh, Ákos Pertich, Zsanett Tárnok, Péter Nagy, Balázs Bodosi, **Zsófia Giricz**, Orsolya Hegedűs, Dóra Merkl, Diána Nyujtó, Szabina Oláh, Attila Óze, Réka Vidomusz, Attila Nagy (2020) Impairment of Visually Guided Associative Learning in Children With Tourette Syndrome. PLoS One 2020 Jun 16;15(6):e0234724.
4. András Pusztai, Ákos Pertich, **Zsófia Giricz**, Diána Nyujtó, Balázs Bodosi, Gabriella Eördegh, Attila Nagy (2020) Predicting stimulus modality and working memory load during visual- and audiovisual-acquired equivalence learning. Frontiers in Human Neuroscience, DOI: 10.3389/fnhum.2020.569142