

**SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM  
BÖLCÉSZETTUDOMÁNYI KAR  
NEVELÉSTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA  
AZ OKTATÁS ÉS NEVELÉS PSZICHOLÓGIAI ÉS KOGNITÍV IDEGTUDOMÁNYI  
KÉRDÉSEI DOKTORI PROGRAM**

**ROKSZIN ADRIENN ARANKA**

**A VIZUÁLIS KATEGORIZÁCIÓ IDEGRENSZERI HÁTTERÉNEK  
VIZSGÁLATA 7-15 ÉVES TIPIKUS FEJLŐDÉSŰ GYERMEKEK, FELNŐTTEK,  
ILLETVE FEJLŐDÉSI DISZLEXIÁSOK KÖRÉBEN**

PhD-értekezés tézisei

Témavezető:  
Dr. Csifcsák Gábor  
egyetemi adjunktus



**SZEGED**

**2017**

## A disszertáció elméleti kerete és szerkezete

A disszertációban a vizuális feldolgozás, kategorizáció idegrendszeri hátterének vizsgálatát tűztük ki célul, így az ezzel kapcsolatos elméletek, vizsgálatok bemutatására fókuszálunk. A hagyományos elméletek a vizuális feldolgozás és tárgyészlelés hátterében egy hierarchikus elrendeződést képzelnek el, melyben az aktiváció az alacsonyabb szintű (poszterior) kérgi területek felől a magasabb szintű (anterior) kérgi területek felé terjed („bottom-up”) (Grill-Spector & Malach, 2004; Logothetis & Sheinberg, 1996). Egyre több olyan bizonyítékot találunk azonban, amely arra utal, hogy a vizuális tárgyfelismerést felülről lefelé ható ún. top-down folyamatok is befolyásolják és segítik (Bar, 2003, 2004; Gilbert & Li, 2013). A top-down hatásokra vonatkozó tanulmányok közül néhány a magnocelluláris (M) és parvocelluláris (P) csatornák működésére fókuszál, melyek az alacsony (ATF), illetve magas térbeli frekvenciákra (MTF) érzékenyek, és így egy térbeli frekvencia alapú, az ingerek durva, globális feldolgozásától a finomabb, lokális részletgazdagabb feldolgozás felé haladó modellt javasolnak (Bar, 2003; Bullier, 2001). Míg a vizuális input globális jellemzőit úgy, mint a kép elrendezését, vagy az objektumok alakját főként az alacsony térbeli frekvenciájú információ és az M-rendszer aktivitása határozza meg, addig a magas térbeli frekvenciákra érzékeny parvocelluláris neuronok a stimulus részleteivel ún. lokális tulajdonságaival kapcsolatos információt szállítják. A tárgyfelismerés igen befolyásos modellje szerint a korai vizuális területekről az inger durva, alacsony térbeli frekvenciájú reprezentációja a prefrontális kéregbe jut, ahol a lehetséges tárgyak reprezentációi aktiválódnak, mely a poszterior területekre visszajutva top-down módon segítik az ingerek azonosítását (Bar, 2003; Kveraga, Ghuman & Bar, 2007). Ezekhez az információkhoz adódik hozzá a részletazonosításért felelős ventrális/parvocelluláris pálya által szállított MTF információ, amely tovább finomítja a képet (Bar, 2003, 2004). A különböző térbeli frekvenciák okcipitális területek felett jelentkező, korai eseményfüggő potenciálokra gyakorolt hatása már régóta ismert (Elleberg, Hammarrenger, Lepore, Roy, & Guillemot; 2001; Foxe et al., 2008; Hansen, Jacques, Johnson, & Elleberg, 2011), továbbá a top-down folyamatok vizuális tárgyfelismerésben betöltött szerepéről több elmélet és vizsgálat is beszámolt (Bar, 2003, 2004; Bar et al., 2006), arra vonatkozóan azonban nem találunk eredményeket, hogy az egyes eseményfüggő komponensek térbeli frekvenciákra való érzékenysége, hogyan hozható összefüggésbe a természetes, komplex ingerek kategorizációja során jelentkező top-down folyamatokkal.

Érdekes módon azonban bármennyire is alapvető funkcióról van szó, újabb vizsgálatok rámutattak arra, hogy még serdülőkorban is megfigyelhetők életkori változások egy kategorizációs feladat végzése közben jelentkező idegi aktivitásban (Batty & Taylor, 2002). Ezen felül mesterséges ingereket alkalmazó viselkedéses és elektrofiziológiai vizsgálatok eredményei alapján úgy tűnik, hogy az M- és P-csatornák fejlődése még iskoláskorban is folytatódik (Adams & Courage, 2002; Benedek et al., 2010; Mahajan & McArthur, 2012; van den Boomen, Jonkman, Jaspers-Vlamings, Cousijn, & Kemner, 2015). Az eredmények azonban ellentmondásosak, hiszen míg egyesek a magnocelluláris pálya és az alacsony térbeli frekvenciájú információ feldolgozásának kései érését támogatják (Adams & Courage, 2002; Benedek et al., 2010), addig mások a P-csatorna és így az MTF információ elemzésének elhúzódo fejlődése mellett érvelnek (Gordon & McCulloch, 1999; van den Boomen et al., 2015; van den Boomen & Peters, 2017). Mindezek miatt a disszertáció egyik fókuszában a 7-15 éves, tipikus fejlődésű iskoláskorú gyermekek vizsgálata áll.

Több atipikus fejlődést mutató csoport esetében igazolták a magnocelluláris/dorzális rendszer gyengébb, károsodott működését, azonban kutatásunkban és a disszertációban csak a fejlődési diszlexiával foglalkozunk részletesebben. A dolgozatban igyekszünk hangsúlyozni a diszlexia összetettségét, melyet (a tünetek sokszínűsége mellett) mi sem bizonyít jobban, mint hogy a nagyszámú vizsgálatok, illetve megközelítések ellenére továbbra sem tisztázott, mi állhat kialakulásának a hátterében. A szakirodalomban olvasható számos megközelítés közül a disszertációban a vizuális azon belül is a magnocelluláris/dorzális deficitet feltételező elméletekre és kutatásokra fókuszálunk. A diszlexiások vizuális feldolgozására vonatkozó vizsgálatok eredményei nagy változatosságot mutatnak, hiszen egyesek a magnocelluláris/dorzális rendszer deficitjét feltételezik (Demb, Boynton, & Heeger, 1998; Eden, VanMeter, Rumsey, & Maisog, 1996; Gori, Seitz, Ronconi, Franceschini, & Facoetti, 2016; Hansen, Stein, Orde, Winter, & Talcott 2001; Lehmkuhle, Garzia, Turner, Hash, & Baro, 1993; Livingston, Rosen, Drislane, & Galaburda, 1991; Talcott et al., 1998), vannak olyan eredmények melyek alapján mindkét pálya működése gyengébb (Séra et al., 2010), de olyan vizsgálatokkal is találkozhatunk, melyek a parvocelluláris pálya sérülésére utalnak (Farrag, Khedr, & Abel-Naser, 2002), mások azonban nem igazoltak semmilyen eltérést (Johannes et al., 1996; Tsermentseli et al., 2008). A diszlexiásokat bevonó vizsgálatokban is mesterséges ingerek alkalmaznak a két pálya működésének vizsgálatára, így az általunk alkalmazott komplex, természetes képeknek e csoport esetében is hiánypótlóak, továbbá segíthetnek feloldani a szakirodalomban olvasható ellentéteket.

A disszertációban lépéseket teszünk a kognitív idegtudomány, kognitív pszichológia, valamint a neveléstudomány közelebb hozásához, még ha ezek jelen esetben csak kis lépések is lesznek, hiszen az idegtudomány eszközeivel, pontosabban az elektroencefalográfia (EEG) módszerével kíséreljük meg feltárni a vizuális feldolgozás háttérében meghúzódó neurális folyamatok életkori változásait 7-15 éves tipikus fejlődésű gyermekek és fejlődési diszlexiások körében.

Dolgozatunkban széleskörű betekintést nyújtunk a vizuális kategorizáció elméleti háttérét, elektrofiziológiai korrelátumait, valamint a magnocelluláris és parvocelluláris pályák működését feltérképező szakirodalmi előzményekbe, majd áttekintjük a folyamat életkori változásait, továbbá kitérünk a fejlődési diszlexia főbb elméleti megközelítéseire, különös tekintettel a magnocelluláris/dorzális rendszer érintettségét feltételező elméletekre. A disszertációban egy viselkedéses pilot és három elektrofiziológiai kutatást mutatunk be. Pilot vizsgálatunk fő célja az általunk használni kívánt kísérleti elrendezés, ingerek, szűrőbeállítások tesztelése és elővizsgálata, az ingerek bemutatási idejének meghatározása volt. Elektrofiziológiai vizsgálatunk első szakaszában a vizuális kategorizáció idegrendszeri háttérét, a magnocelluláris és parvocelluláris csatornák kategorizációban betöltött szerepét vizsgáljuk. Ezt követően 7-15 éves gyermekek bevonásával a folyamat életkori változásait kívánjuk feltérképezni, végezetül pedig fejlődési diszlexiások kategorizációs képességeit, az M- és P-csatornák működését járjuk körbe.

### **A disszertációban bemutatott elektrofiziológiai vizsgálatsorozat céljai**

#### *Első vizsgálat:*

Első vizsgálatunk célja annak vizsgálata, hogy egy fölérendelt szintű vizuális állat-jármű kategorizációs feladatban, az alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított képtípusok hogyan befolyásolják a mögöttes agyi aktivitást az okcipitális, frontocentrális és parietális területek felett. A tárgyfelismerés folyamatát hagyományosan az okcipitális területekkel hozzák összefüggésbe, a legújabb elméletek azonban egyre inkább arra hívják fel a figyelmet, hogy a frontális területek szintén aktív szerepet játszanak a körülöttünk lévő vizuális ingerek felismerésében, azonosításában (Bar, 2003, 2004; Bar et al., 2006). Ennek megfelelően vizsgálatunk másik célja az alacsony és magas térbeli frekvenciák top-down

folyamatokban betöltött szerepének vizsgálata állatokat és járműveket ábrázoló komplex képek segítségével.

A korábbi mesterséges ingereket alkalmazó vizsgálatok (Elleberg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011) eredményei alapján, azt feltételeztük, hogy a C1-es komponens amplitúdója megnő a magas térbeli frekvenciákat tartalmazó képtípusok esetén. A P1 hullám esetében a hipotézisünk meghatározása korántsem egyszerű, hiszen, míg egyesek az ATF (Elleberg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011), addig mások az MTF információ esetén (Craddock, Martinovic, & Müller, 2013, 2015) tapasztaltak nagyobb amplitúdót. Tekintettel arra, hogy az általunk alkalmazott ingerek és feladat leginkább a Craddock és munkatársai (2013, 2015) vizsgálatában alkalmazottakkal mutatnak hasonlóságot, így mind a P1, mind az azt követő N1 tekintetében ezen eredményeket szem előtt tartva fogalmaztunk meg hipotéziseinket, vagyis azt feltételezzük, hogy mindkét komponens esetében a magas térbeli frekvenciákat tartalmazó ingerek (eredeti és MTF képek) esetén figyelhető meg nagyobb amplitúdó. Feltételeztük továbbá, hogy a top-down hatások - melyek főként a tapasztalt amplitúdó változások és modulációk anterior területek felé történő terjedésében, valamint a poszterior N1 latenciájának rövidülésében nyilvánul meg - a 140 ms-tól 200 ms-ig terjedő időablakban tapasztalhatók majd. Mivel az ún. kétállapotos modell (Schendan & Kutas, 2007; Schendan & Lucia, 2010) szerint az N350 és LPC („late positive complex”) komponensek főként poszt-perceptuális folyamatokat tükröznek, azt vártuk, hogy ezen komponensek amplitúdója és latenciája függ majd leginkább össze a résztvevők kategorizációs teljesítményével (pontosság és reakcióidő) (Craddock et al., 2013).

#### Második vizsgálat:

Második vizsgálatunkat célja annak feltárása, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák szűrése, hogyan befolyásolja a viselkedéses adatokat, illetve az idegi aktivitást 7-15 éves kor között természetes, komplex képek kategorizációja során. A pontosság és reakcióidő, valamint a hátulsó területek felett jelentkező vizuális eseményfüggő potenciálok (P1 és N1 komponensek amplitúdója és latenciája) modulációit elemeztük. A korábbi vizsgálatok eredményei alapján feltételeztük, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciákra való érzékenység fejlődése még iskoláskorban is folytatódik, azonban eltérő sebességgel és mintázattal, hiszen több eredményt találunk az M-csatorna, az alacsony térbeli frekvenciák feldolgozásának kései érésre vonatkozóan (Adams & Courage, 2002; Benedek et al., 2010). Hipotézisünk szerint ez hatás, mind a viselkedéses, mind az elektrofiziológiai komponensek

változásában manifesztálódik majd, amikor a személyek a kategorizációt, főként az ATF információkra támaszkodva végzik. Ezen eredmények még inkább támogatnák az M- és P-csatornák eltérő fejlődési sebességére vonatkozó feltevést. Ahogyan azt korábban is részleteztük mindössze néhány olyan kutatást találunk, melyek az elektrofiziológiai korrelátumok vizsgálatán keresztül kísérlik meg feltárni a folyamat idegrendszeri hátterét továbbá az eredmények gyakran ellentmondásosak. Vizsgálatunk tehát hiánypótló, hiszen az általunk alkalmazott természetes képek segítségével, továbbá az elektrofiziológiai módszernek köszönhetően az eddiginél komplexebb képek kaphatunk a folyamat neurális hátterére, a két csatorna által szállított információ vizuális kategorizációban betöltött szerepére vonatkozóan az általunk vizsgált életkorokban.

### Harmadik vizsgálat:

Elektrofiziológiai vizsgálatssorozatunk harmadik szakaszában azt vizsgáltjuk, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák kivonása hogyan módosítja a pontosságot és a reakcióidőt, valamint az okcipitális területek felett jelentkező korai vizuális komponensek (P1 és N1) amplitúdóját és latenciáját diszlexiás és tipikus fejlődésű gyermekek csoportjában. Arra a kérdésre keressük a választ, hogy vajon van-e különbség a két csoport között, és ha igen, milyen frekvenciatartományban. Számos eredmény igazolta a vizuális rendszer, azon belül is magnocelluláris/dorzális rendszer érintettségét fejlődési diszlexiában (Demb et al., 1998; Eden et al., 1996; Gori et al., 2016; Hansen et al., 2001; Livingstone et al., 1991), az eredmények azonban korántsem egyértelműek, hiszen olyan vizsgálatokat is olvashatunk, melyek cáfolják az M-rendszer szelektív sérülését (Amitay, Ben-Yehudah, Banai, & Ahissar, 2002; Farrag et al., 2002; Johannes, Kussmaul, Münte, & Mangun, 1996; Tsermentseli, O'Brien, & Spencer, 2008). Kutatásunkban mi is a vizuális feldolgozásban esetlegesen megjelenő deficit feltérképezését kíséreljük meg, hiszen az általunk alkalmazott komplex módosított képek segítségével választ kaphatunk arra a kérdésre, hogy vajon valóban a magnocelluláris sejtek szelektív sérülése jellemzi a diszlexiásokat, vagy sokkal inkább egy általános, mindkét csatornát érintő deficit húzódik meg a háttérben. Hipotézisünk szerint a diszlexiás gyermekek gyengébb teljesítményt mutatnak majd a csak alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó képek kategorizációja során, mely főként a pontatlanabb kategorizációban mutatkozik meg. Feltételezzük továbbá, hogy a magnocelluláris pálya éretlensége az elektrofiziológiai változók tekintetében, főként a P1 komponens eltéréseiben megnyilvánul meg. Tudomásunk szerint a diszlexia magnocelluláris deficitjére vonatkozó

vizsgálatokban sem alkalmaztak még az általunk használt ingerekhez hasonlóakat, így vizsgálatunk mindenképp érdekes és hiánypótló eredményeket hozhat.

### **A minta jellemzői**

Elektrofiziológiai vizsgálatsorozatunk első szakaszában 21 egészséges fiatal személyt (átlagéletkor: 23,90, szórás: 3,48) kértünk fel állat-jármű kategorizációs feladat végzésére. Második vizsgálatunkban 96 személy vett részt 7-30 éves korig (átlagéletkor: 13,39, szórás: 6,14), akiket életkor szerint 5 csoportba osztottunk: 7-8 (N=19, átlagéletkor: 7,78, szórás: 0,45), 9-10 (N=20, átlagéletkor: 9,45, szórás: 0,51), 11-12 (N=20, átlagéletkor: 11,4, szórás: 0,50), 13-15 (N=16, átlagéletkor: 13,75, szórás: 0,77) éves tipikus fejlődésű gyermekek és felnőttek (átlagéletkor: 23,90, szórás: 3,48). A harmadik vizsgálatot 15 fejlődési diszlexiás gyermek (átlagéletkor: 12, szórás: 1,732) bevonásával végeztünk el, a tipikus fejlődésű gyermekeket (átlagéletkor: 11,67, szórás: 1,49) a már meglévő, a második vizsgálatban szereplő mintánkból nem, kor, illetve osztályfok alapján illesztettük a csoporthoz.

### **A vizsgálatsorozatban alkalmazott ingerek és eljárás**

Az állatokat, illetve járműveket ábrázoló, eredetileg színes képeket egy kereskedelmi forgalomban lévő fotó gyűjteményből válogattuk össze (Corel Photo Library). A képek felbontása 75 pixel/inch, méretük pedig  $256 \times 256$  pixel volt. A vizsgálatsorozatban három féle ingertípust alkalmaztunk: az eredeti képek mellett azok alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított változatai is bemutatásra kerültek. Az alkalmazott ingerek szürkeárnyalatossá alakításához, illetve a térbeli frekvenciák szűrésére az Adobe Photoshop CS5 szoftvert (Adobe Systems Inc., San Jose, USA) használtuk. A térbeli frekvenciák kivonásának általunk alkalmazott módszere és értékei a vizsgálatsorozat egyik alapszakirodalmában (Bar et al., 2006) már alkalmazott és tesztelt módszer. Az alacsony térbeli frekvenciájú képek előállítására a Gaussian blur szűrőt (sugár: 6,1) a magas térbeli frekvenciájú ingereknél pedig az Adobe Photoshop felüláteresztő szűrőt (sugár: 0,3) alkalmaztuk.

Adatbázisunkat összesen 1080 kép alkotta (180-180 állatot vagy járművet prezentáló kép, eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított verzióban). Minden személynek 360 képet mutattunk be random sorrendben, ingertípusonként 120-at, melynek 50%-a állatot, 50%-a járművet ábrázolt. Minden képet csak egyszer, egy kondícióban (csak eredeti, ATF, vagy MTF kondícióban) prezentáltunk a vizsgálati személyeknek, melyet természetesen kiegyenlítettünk az egyes résztvevők között.

A vizsgálati személyek egy hangszigetelt, elsötétített szobában, a monitortól 110 cm-re ülve végezték az állat-jármű kategorizációs feladatot. Az ingerek bemutatása az E-prime program (Psychology Software Tools, Inc., Sharpsburg, USA) segítségével történt. A vizsgálati sorozatban egy ún. „forced-choice” állat-jármű kategorizációs feladatot alkalmaztunk, melyben a résztvevő személyeknek jobb, vagy bal mutatóujjikkal kellett megnyomniuk a megfelelő válaszgombot. A válaszgombokat kiegyenlítettük a személyek között. A személyek minden képet 2000 ms-ig láttak, de hangsúlyoztuk, hogy próbálják meg minél gyorsabban megnyomni a megfelelő válaszgombot. A stimulusok között megjelenő fixációs kereszt 1000 és 1500 ms-os intervallum között volt látható a képernyőn.

A viselkedéses adatok (pontosság és reakcióidő) mellett a folyamat elektrofiziológiai korrelátumait is elemeztük. A vizsgálat során 32 csatornás EEG mérést végeztünk. Az elektrofiziológiai adatok esetében több különböző elemzési módszert alkalmaztunk. Az első, csak felnőttek részvételével történő vizsgálatban három elemzési módszer segítségével kíséreltük meg feltárni a kategorizációs feladat végzése közben jelentkező neurális aktivitást az egyes képtípusok esetén. A vizsgálatban ún. pontról-pontra permutációs analízist használtuk az eredeti, ATF és MTF képekre jelentkező eseményfüggő potenciálok páronként összevetésére, ezt követően sor került a posterior C1, P1 N1 és frontocentrális N350 idejében jelentkező skalpeloszlások elemzésére, végül pedig az egyes komponensek (C1, P1, N1, N350, LPC) latenciáját is megvizsgáltuk. Második és harmadik vizsgálatunkban az okcipitális területek felett jelentkező P1 és N1 komponensek amplitúdóját és latenciáját elemeztük.

### **Az első vizsgálat eredményei**

Az első vizsgálatban az alacsony, illetve a magas térbeli frekvenciák top-down folyamatokban betöltött szerepét vizsgáltuk egy fölérendelt vizuális kategorizációs feladatban, állatokat és járműveket ábrázoló komplex képek segítségével. A viselkedéses adatok



(pontosság és reakcióidő) és az egyes vizuális komponensek idejében jelentkező skalpeloszlások vizsgálata mellett, célunk volt az okcipitális, frontocentrális, illetve parietális területeken jelentkező idegi aktivitás időbeli lefolyásának, dinamikájának pontosabb megértése is. Az általunk alkalmazott képtípusok pontosságra és reakcióidőre gyakorolt hatásának tanulmányozásakor megállapítható, hogy a személyek az ATF képek esetében voltak a leglassabbak és a legpontatlanabbak.

Eredményeink szerint a C1-es komponens esetében a magas térbeli frekvenciák váltanak ki nagyobb amplitúdót, melyek összhangban vannak a korábbi szakirodalmi eredményekkel (Elleberg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011). A P1 hullám változásának elemzésekor azonban eltérő mintázatot figyeltünk meg az okcipitális területek középvonalán, valamint a bal és jobb oldali parietális területek felett elhelyezett elektródák esetében. Az okcipitális területek felett az ATF ingerekre tapasztaltunk nagyobb P1-es amplitúdót, mely összhangban van mesterséges ingereket (Elleberg et al., 2001; Hansen et al., 2011), valamint módosított arcokat (Nakashima et al., 2008) bemutató vizsgálatok eredményeivel. Laterálisan ezzel ellentétes mintázat figyelhető meg, hiszen a P7 és P8-as elektródákon a csak magas térbeli frekvenciákat tartalmazó képekre jelentkezik a legnagyobb pozitivitás. Ezen oldalsó területek vizsgálva hasonló eredményekről számoltak be Craddock és munkatársai (2013, 2015).

A poszterior N1 komponens esetében szignifikánsan nagyobb amplitúdó figyelhető meg az MTF képekre a másik két ingertípussal összevetve, valamint a magas térbeli frekvenciákat is tartalmazó eredeti képek nagyobb negativitást váltanak ki, mint az ATF ingerek. Ez a hatás szintén összecseng Craddock és munkatársai (2013, 2015) eredményeivel, és egyben arra utal, hogy a poszterior N1 a finom részletek feldolgozását tükrözi (Vogel & Luck, 2000).

A frontális területek felett a térbeli frekvenciák moduláló hatása körülbelül 180 ms-tól jelentkezik (a poszterior N1 időtartománya), mely a skalpeloszlások és az pontról-pontra permutációs elemzés tekintetében is kimutatható. Ezen eredmények összhangban vannak Bar és munkatársai (2006) MEG és fMRI módszereket alkalmazó kutatásának eredményeivel, mely szerint az MTF képek által kiváltott agyi aktivitás eltér a másik két képtípus által kiváltott neurális válaszoktól, arra utalva, hogy a frontális régió eltérő mértékben involválódik az M-csatorna által szállított alacsony térbeli frekvenciájú információ feldolgozásában. Ezen felül a térbeli frekvenciák moduláló hatásának továbbterjedése az anterior területek felé, valamint a poszterior területeken az N1 időablakában megjelenő hosszabb latencia az MTF képek esetén szintén a felülről lefelé ható folyamatok vizuális feldolgozásban betöltött

szerepét tükrözheti (Pollux, Hall, Roebuck, & Guo, 2011). Az MTF stimulusokra jelentkező hosszabb N1 latenciát egyesek a magnocelluláris pálya gyorsabb információszállításával magyarázzák (Craddock et al., 2015), ezen elképzelésnek azonban ellentmond, hogy a C1 és P1 idejében ezen latencia csúszások hiányoznak, mely megerősítik azt a feltevést, hogy ebben az időintervallumban már top-down folyamatok is befolyásolják a vizuális információ feldolgozását.

Az anterior területeket vizsgálva úgy tűnik, hogy ~320 ms-ig az eseményfüggő potenciálok nem különböznek egymástól mindaddig, amíg az alacsony térbeli frekvenciák jelen vannak a képekben. Bár a frontocentrális N350 idejében jelentkező amplitúdó változások összhangban vannak a korábbi vizsgálatok eredményeivel (Craddock et al., 2013), mégsem egyértelmű, hogy miért jelentkezik szignifikánsan nagyobb amplitúdó az eredeti képekre szemben a két módosított képtípussal.

Összességében úgy tűnik, hogy az általunk vizsgált komponensek közül csak a centroparietális területek felett jelentkező LPC amplitúdója és latenciája mutat összefüggést a viselkedéses eredményekkel, hiszen szignifikánsan kisebb amplitúdó és hosszabb latencia figyelhető meg az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetén, melyekre egyben a legrosszabb teljesítmény és a leghosszabb reakcióidő mérhető. Úgy tűnik tehát, hogy a térbeli frekvenciák módosító hatása a vizuális feldolgozás ezen késői időablakában is megnyilvánul, hiszen az ATF stimulusokra jelentkező ERP-k markánsan különböznek az eredeti és az MTF ingerektől. Az LPC latencia értékeinek és a reakcióidő adatok között megmutatkozó közepes-erős korreláció az eredeti és a magas térbeli frekvenciájú kondíciók esetében erősíti azt a feltevést, mely szerint ezen hullám a feldolgozási folyamat utolsó mozzanatát tükrözi (Falkenstein, Hohnsbein, & Hoormann, 1994).

Összegezve tehát, kutatásunkban komplex ingerek esetén az elektroencefalográfia módszerét alkalmazva, mind a skalpeloszlások, mind az eseményfüggő potenciálok amplitúdójának és latenciájának elemzése során jelentkező hatások megerősítik Bar (2003) elméletét, mely a magnocelluláris pálya által szállított információ top-down folyamatokban betöltött szerepét hangsúlyozza. Eredményeink arra is rámutattak, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák kivonása a késői, tárgymodell-szelekciót (N350) és a főként másodlagos kategorizációs folyamatokat (LPC) (Schendan & Kutas, 2007; Schendan & Maher, 2009) tükröző komponensek amplitúdóját és latenciáját is befolyásolja, mely változások már a viselkedéses adatokkal is összefüggést mutatnak.

## A második vizsgálat eredményei

Második vizsgálatunk célja annak vizsgálata, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák hogyan modulálják a viselkedéses változókat és az okcipitális területek felett jelentkező korai vizuális komponenseket 7 és 15 éves kor között egy vizuális kategorizációs feladat végzése közben.

Eredményeink szerint jelentős életkori hatások tapasztalhatók, mind a pontosság, mind a reakcióidő esetében az életkor előrehaladtával. Míg a reakcióidő fokozatos csökkenése tapasztalható, a pontosság tekintetében egy hirtelen teljesítményjavulás figyelhető meg 7-8 éves kor után. Kiemeljük, hogy csak az ATF képek esetében figyelhető meg 7-től 12 éves korig egy jelentősebb javulás a pontosság tekintetében, ez az eredményt pedig támogathatja a magnocelluláris csatorna, és az ATF információ feldolgozásának kései fejlődését (Adams & Courage, 2002; Benedek et al., 2010). Ennek ellenére úgy gondoljuk, hogy a kategorizáció pontosság mutatójának értelmezésekor óvatosnak kell lennünk, hiszen nem csak és kizárólag a magnocelluláris és parvocelluláris csatornák aktivitását, illetve az alacsony és magas térbeli frekvenciák feldolgozásának fejlődését tükrözheti. A természetes komplex képek kategorizációja úgy tűnik, hogy olyan nem-vizuális áréakra is támaszkodik, mint például a prefrontális kérgi területek (Freedman et al., 2001; Ganis, Schendan, & Kosslyn, 2007; Thorpe & Fabre-Thorpe, 2001). Egy általunk sokat hivatkozott, a tárgyfelismerés igen befolyásos modellje szerint a korai vizuális területekről az inger durva, alacsony térbeli frekvenciájú reprezentációja a prefrontális kéregbe jut, ahol a lehetséges tárgyak reprezentációi aktiválódnak, mely a poszterior területekre visszajutva top-down módon segítik az ingerek azonosítását (Bar, 2003). Ennek megfelelően az ATF képek pontosság mutatói esetében tapasztalt életkori változások ugyanúgy tulajdoníthatók az M-pálya éretlenségének, mint a kérgi területek ATF információra való csökkent érzékenységének, a frontális területek fejletlenségének, vagy akár a gyenge top-down hatásoknak.

Mindkét komponens amplitúdójának esetében életkorral összefüggő változást tapasztaltunk, mely eredmény összhangban van a szakirodalomban olvasható adatokkal eredeti képek esetén (Batty & Taylor, 2002; Itier & Taylor, 2004; Mahajan & McArthur, 2012; Peters, Vlamings, & Kemner, 2013; van den Boomen et al., 2015; van den Boomen & Peters, 2017). Eredményeink szerint a P1 és N1 komponensek amplitúdójának érzékenysége az alacsony és magas térbeli frekvenciájú ingerekre 7-8 éves korban fordított mintázatot

mutat, szemben azzal, amit korábban felnőtt személyeknél tapasztaltunk (1. vizsgálat) és amit a szakirodalomban is olvashatunk (Craddock et al., 2013; Elleberg et al., 2001; Hansen et al., 2011). Hasonló jelenségről (vagyis fordított mintázatról) számoltak be Boeschoten Kenemans, van Engeland és Kemner (2007) a P1 esetében, vizsgálatukban azonban csak 9-10 éves korú gyermekek vettek részt. Tudomásunk szerint ez az első olyan vizsgálat, mely több korcsoport bevonásával ellentétes mintázatot mutatott ki kisiskolás korú gyermekeknél, összevetve a felnőttekkel.

A vizuális P1 komponenst a felnőttek bevonásával végzett vizsgálatokban hagyományosan az ATF információ feldolgozásával hozzák összefüggésbe (pl.: Hansen et al., 2011), eredményeink azonban arra utalnak, hogy szemben a felnőttekkel, az iskoláskor elején a P1 sokkal inkább az inger részleteinek, lokális jellemzőinek elemzésével hozható összefüggésbe, és az életkor előrehaladtával válik fokozatosan egyre érzékenyebbé az alacsony térbeli frekvenciájú, globális információra. Erre a mintázatra tekinthetünk, mint egyfajta eltolódásra a magas térbeli frekvenciáktól az alacsony térbeli frekvenciák felé. Ezen eredmény a pontosság adatokhoz hasonlóan az alacsony térbeli frekvenciák feldolgozásának kései, markánsabb érését támogatják.

A P1 amplitúdóhoz hasonlóan az N1 komponens esetében is ellentétes mintázat figyelhető meg, hiszen elemzéseink alapján gyermekkorban az ATF képekre figyelhető meg nagyobb amplitúdó, szemben a felnőtteknél tapasztalt mintázattal. Az N1 komponenst a korábbi felnőtt vizsgálatok nem csak a képek magas térbeli frekvenciájú, lokális jellemzőinek feldolgozásával és részletek alapján történő diszkriminációs folyamatokkal hozzák összefüggésbe (Craddock et al., 2013, 2015; Vogel & Luck, 2000), hanem a top-down hatásokkal is, melyek facilitálhatja az adott objektum azonosítását (Hopf, Vogel, Woodman, Heinze, & Luck, 2002; Melloni, Schwiedrzik, Müller, Rodriguez, & Singer, 2011; Schendan & Lucia, 2010). Ahogyan azt a korábban már említettük, úgy tűnik, hogy az ATF információk gyors továbbjutása a prefrontális kérgi területek felé, a tárgy lehetséges reprezentációinak aktiválásán keresztül modulálják az MTF típusú információ elemzését (Bar, 2003; Kveraga et al., 2007). E tekintetben, elképzelhető, hogy vizsgálatunkban az N1 paramétereinél tapasztalt életkori változások az ATF-alapú top-down hatások fejlődését is mutatják. Ezen ATF-alapú top-down hatások fejlődését leginkább az N1 peak-to-peak latenciánál tapasztalt mintázat mutatja, hiszen csak az alacsony térbeli frekvenciák által kiváltott latencia értékek csökkennek az életkor előrehaladtával. Ez a hatás azonban nem magyarázható az M-pálya mielinizációjával, hiszen hasonló életkorral járó latenciarövidülést a P1 komponens esetében

nem tapasztaltunk. Mivel a durva, ATF információ által kiváltott rövidebb N1 latencia felnőttek esetében úgy tűnik, hogy top-down hatásokat tükröz (1. vizsgálat), így az életkorral összefüggő, az ATF képekre jelentkező N1 latencia rövidülése a kortikális „visszacsatoló rendszer” fejlődéseként is értelmezhető (Giedd et al., 1999; Nagy, Westerberg, & Klingberg, 2004).

A disszertáció ezen szakaszában elektrofiziológiai bizonyítékokat mutattunk be, mind az alacsony, mind a magas térbeli frekvenciák kérgi feldolgozásánakérésére vonatkozóan késő gyermekkorban és serdülőkorban. Természetes komplex képek kategorizációjához kapcsolódó eseményfüggő komponensek elemzése alapján a P1 és N1 hullámok amplitúdójának térbeli frekvenciákra való érzékenysége fordított mintázatot mutat az általunk vizsgálat legfiatalabb, 7-8 éves korcsoport esetében összevetve a felnőttekkel. A vizuális kategorizáció idegrendszeri hátterére, és az agy fejlődésére vonatkozó szakirodalmi adatok, illetve a vizsgálatunkban tapasztalt életkorral és térbeli frekvenciákkal összefüggő ERP változások alapján úgy gondoljuk, hogy sem a viselkedéses, sem az egyes komponensek változásai sem mutatják kizárólag az M- és P-csatornákérését, ezért az ATF és MTF feldolgozás fejlődésére vonatkozó adatok értelmezésekor óvatosnak kell lennünk. A viselkedéses és EEG adatok alapján úgy gondoljuk, hogy sokkal inkább arról lehet szó, hogy iskoláskorban mind az alacsony, mind a magas térbeli frekvenciák kérgi feldolgozása fejlődik és ezt számos tényező befolyásolja beleértve (de nem kizárólag) a kéregalatti látópályákérését, vagy a vizuális input feldolgozását az okcipitotemporális régióban. Elképzelhető, hogy a pontosság esetében az alacsony térbeli frekvenciákra tapasztalt jelentősebb javulás az ATF információ feldolgozásának fejlődése mellett a top-down hatásokérésének is köszönhető, melyre az ATF képekre jelentkező N1 peak-to-peak latencia életkorral összefüggő változásából következtettünk. Vizsgálatunk fő eredményének tekinthető, hogy sikerült kimutatnunk a P1 és N1 komponensek a különböző térbeli frekvenciákra való érzékenységének fokozatos eltolódását az életkor előrehaladtával. Korábbi kutatásokkal szemben vizsgálatosorozatunkban komplex képeket alkalmaztunk, mely magyarázhatja azt, hogy korábban miért nem mutatott még ki senki ilyen mintázatot a korai elektrofiziológiai korrelátumok tekintetében, ez pedig tovább erősíti a folyamat komplexitására vonatkozó feltevésünket.

## A harmadik vizsgálat eredményei

Harmadik vizsgálatunk célja annak feltérképezése, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák kivonása hogyan befolyásolja a viselkedéses változókat, valamint az okcipitális területek felett jelentkező korai vizuális komponensek paramétereit állat-jármű kategorizációs feladat végzése közben, diszlexiás és tipikus fejlődésű gyermekek csoportjában. Célunk annak vizsgálata, hogy vajon van-e különbség a két csoport között, és ha igen, milyen frekvenciatartományban.

A pontosság adatok alapján a diszlexiás személyek az ATF képek esetében gyengébben teljesítenek a kategorizációs feladatban. Az eredeti és magas térbeli frekvenciájú ingerek esetében ilyen különbséget nem tapasztaltunk. Ezen mintázat az M-pálya gyengébb működésére, az alacsony térbeli frekvenciájú információ eltérő feldolgozására utalhat fejlődési diszlexiásoknál. Ezen eredmények összhangban vannak a korábbi viselkedéses vizsgálatok eredményeivel (Gori et al., 2016; Hansen et al., 2001; Talcott et al., 1998), melyek szintén a magnocelluláris pálya gyengébb működésére hívják fel a figyelmet diszlexiásoknál.

Bár a pontosság adatok tekintetében tapasztalt eredmények az M-pálya csökkent működését és az alacsony térbeli frekvenciák feldolgozásának szelektív sérüléséről jelzik, az elektrofiziológiai korrelátumok sokkal komplexebb mintázatra utalnak, hiszen az EEG változók tekintetében nem találtunk olyan eltérést, mely csakis és kizárólag a magnocelluláris pálya sérülését igazolná. Bár a P1 amplitúdó esetében, hasonlóan a pontossághoz az ATF ingerek esetén nagyobb különbség figyelhető meg a két csoport között, statisztikailag szignifikáns különbség nem igazolódott. Fontos megjegyeznünk, hogy a személyek közötti különbségek normalizálására irányuló elemzésünk szerint azonban tendenciaszintű különbség figyelhető meg a két csoport között az eredeti és ATF képek amplitúdójának arányában, pontosabban a diszlexiások esetében az eredeti/ATF arány nagyobb, mint a kontrollcsoportban. Ezen mintázat és hatások arra utalhatnak az ATF információ kérgi feldolgozásának zavarára, ami összefügghet az M-pálya deficitjével, vagyis jelezheti, hogy a magnocelluláris pálya ebben a csoportban kevésbé érett.

Hasonló hatás figyelhető meg az N1 latencia esetében is, ahol bár a varianciaanalízis nem mutatott szignifikáns különbséget, a személyek közötti különbségek normalizálására irányuló elemzésünk megerősít, hiszen tendenciaszintű különbségek figyelhetők meg, pontosabban a

két csoport között az ATF/MTF képekre jelentkező latencia arányok eltérnek. Ez a hatás főként abból adódik, hogy a tipikus fejlődésű kontrollcsoport esetében az alacsony térbeli frekvenciájú ingerek rövidebb N1 latenciát váltanak ki az MTF képekhez viszonyítva, a diszlexiás gyermekeknél azonban megfordul a mintázat. Mivel felnőtteknél a durva, alacsony térbeli frekvenciájú információ által kiváltott rövidebb N1 latencia úgy tűnik, hogy top-down hatásokat tükröz, melyet második vizsgálatunk eredményei is megerősíteni látszanak, hiszen az életkorral összefüggő, ATF képekre jelentkező N1 latencia rövidülés a kortikális „visszacsatoló rendszer” fejlődéseként is értelmezhető, így ennek megfelelően a diszlexiások esetében az alacsony térbeli frekvenciákra tapasztalható hosszabb N1 latencia gyengébb top-down folyamatokra utalhat. Ezen eredmények pedig összhangban vannak az újabb elméletekkel, mely szerint az olvasás folyamatát a magasabb asszociációs területek felől visszacsatolt „top-down” hatások, predikciók is meghatározzák (Price & Devlin, 2011).

Ezen eredmények szintén arra hívják fel a figyelmet, hogy a kategorizáció pontosság mutatójának értelmezésekor körültekintőnek kell lennünk, hiszen azon eredményünk, mely szerint csak a pontosság adatok tekintetében figyeltünk meg szignifikáns eltérést az ATF képekre, arra utalhat, hogy a viselkedésesen megnyilvánuló hatás háttérében a csökkent M-pálya működés mellett más is állhat. Ahogyan azt már korábban is részleteztük, úgy tűnik, hogy természetes komplex képek kategorizációja más, nem-vizuális áreákra is támaszkodik, mint például a prefrontális kérgi területek (Bar, 2003; Freedman et al., 2001; Ganis et al., 2007). Ennek megfelelően elképzelhető, hogy a kevésbé fejlett magnocelluláris pálya és a gyengébb top-down hatások együttesen eredményezik a diszlexiás csoport esetében az alacsony térbeli frekvenciájú képekre tapasztalt gyengébb pontosságmutatókat. Ezen elképzelést támogatják a személyek közötti különbségek normalizálására irányuló elemzésünk eredményei is, mely szerint tendenciaszintű hatások tapasztalhatók a P1 amplitúdójának, valamint az N1 komponens latenciájának vizsgálatokor.

Összegezve tehát, a személyek közötti különbségek normalizálására vonatkozó elemzéstől eltekintve az EEG változók vizsgálatokor nem tapasztaltunk olyan statisztikai különbséget a két csoport között, mely egyértelműen megerősítené a magnocelluláris pálya sérülését, eredményeink mégis inkább Livingstone és munkatársai (1991), illetve Lehmkuhle és munkatársai (1993) eredményeivel mutatnak összefüggést, hiszen a pontosság, a P1 amplitúdó és N1 latencia esetében mutatkozó mintázat az M-pálya érintettségét jelzi, melyet a képtípusok közötti különbségek arányára vonatkozó elemzés is megerősíteni látszik. Ezen eredmények alapján nem feltételezzük, hogy a diszlexia háttérében csakis és kizárólag a

magnocelluláris sejtek/pálya deficitje állna, hanem sokkal inkább úgy gondoljuk, hogy ahogyan a pontosság eredményeinket sem magyarázza egymagában az M-rendszer gyengébb működése, úgy a diszlexia kialakulását is több tényező befolyásolja. Egyre inkább úgy tűnik tehát, hogy a magnocelluláris deficit nem egymagában magyarázza a diszlexiát, hanem sokkal inkább egy komplex mintázat fontos része lehet, vagyis tovább erősítik azt a feltevést, mely szerint a diszlexia egy multifaktoriális zavar, hiszen több deficit együttes megjelenése vezet az olvasás zavarának kialakulásához (Menghini et al., 2010).

### Irodalomjegyzék

- Adams, R. J. & Courage, M. L. (2002). Using a single test to measure human contrast sensitivity from early childhood to maturity. *Vision Research*, 42, 1205–1210.
- Amitay, S., Ben-Yehudah, G., Banai, K., & Ahissar, M. (2002). Disabled readers suffer from visual and auditory impairments but not from a specific magnocellular deficit. *Brain*, 125, 2272-2285.
- Bar, M. (2003). A cortical mechanism for triggering top-down facilitation in visual object recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 600-609.
- Bar, M. (2004). Visual objects in context. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 617–629.
- Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmid, A. M., Dale, A. M., Hämäläinen, M. S., Marinkovic, K., Schacter, D. L., Rosen, B. R., & Halgren, E. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 449-454.
- Batty, M. & Taylor, M. J. (2002). Visual categorization during childhood: An ERP study. *Psychophysiology*, 39, 482–490.
- Benedek, K., Janáky, M., Braunitzer, G., Rokszin, A., Kéri, S., & Benedek, G. (2010). Parallel development of contour integration and visual contrast sensitivity at low spatial frequencies. *Neuroscience Letters*, 472, 175-178.
- Boeschoten, M., Kenemans, J. L., van Engeland, H., & Kemner, C. (2007). Abnormal spatial frequency processing in high-functioning children with pervasive developmental disorder (PDD). *Clinical Neurophysiology*, 118, 2076–2088.
- Bullier, J. (2001). Integrated model of visual processing. *Brain Research Reviews*, 36, 96–107.



- Craddock, M., Martinovic, J., & Müller, M. M. (2013). Task and spatial frequency modulations of object processing: an EEG study. *PLoS ONE* 8: e70293.
- Craddock, M., Martinovic, J., & Müller, M. M. (2015). Early and late effects of objecthood and spatial frequency on event-related potentials and gamma band activity. *BMC Neuroscience*, 16:6.
- Demb, J. B., Boynton, G. M., & Heeger, D. J. (1998). Functional magnetic resonance imaging of early visual pathways in dyslexia. *Journal of Neuroscience*, 18, 6939-6951.
- Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., & Maisog, J. M. (1996). Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Nature*, 382, 66-69.
- Ellemberg, D., Hammarrenger, B., Lepore, F., Roy, M.-S., & Guillemot, J.-P. (2001). Contrast dependency of VEPs as a function of spatial frequency: the parvocellular and magnocellular contributions to human VEPs. *Spatial Vision*, 15, 99-111.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., & Hoormann, J. (1994). Effects of choice complexity on different subcomponents of the late positive complex of the event-related potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 92, 148-160.
- Farrag, A. F., Khedr, E. M., & Abel-Naser, W. (2002). Impaired parvocellular pathway in dyslexic children. *European Journal of Neurology*, 9, 359-363.
- Foxe, J. J., Strugstad, E. C., Sehatpour, P., Molholm, S., Pasiaka, W., Schroeder, C. E., & McCourt, M. E. (2008). Parvocellular and magnocellular contributions to the initial generators of the visual evoked potential: High-density electrical mapping of the “C1” component. *Brain Topography*, 21, 11-21.
- Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., & Miller, E. K. (2001). Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex. *Science*, 291, 312-316.
- Ganis, G., Schendan, H. E. & Kossly, S. M. (2007). Neuroimaging evidence for object model verification theory: Role of prefrontal control in visual object categorization. *Neuroimage*, 34, 384-398.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2, 861-863.
- Gilbert, C. D., & Li, W. (2013). Top-down influences on visual processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 14, 350-363.

- Grill-Spector, K., & Malach, R. (2004). The human visual cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 649-677.
- Gordon, G. E., & McCulloch, D. L. (1999). A VEP investigation of parallel visual pathway development in primary school age children. *Documenta Ophthalmologica*, 99, 1-10.
- Gori, S., Seitz, A. R., Ronconi, L., Franceschini, S., & Facoetti, A. (2016). Multiple causal links between magnocellular–dorsal pathway deficit and developmental dyslexia. *Cerebral Cortex*, 26, 4356-4369.
- Hansen, P. C., Stein, J. F., Orde, S. R., Winter, J. L., & Talcott, J. B. (2001). Are dyslexics' visual deficits limited to measures of dorsal stream function? *Neuroreport*, 12, 1527-1530.
- Hansen, B. C., Jacques, T., Johnson, A., & Elleberg, D. (2011). From spatial frequency contrast to edge preponderance: the differential modulation of early visual evoked potentials by natural scene stimuli. *Visual Neuroscience*, 28, 221-237.
- Hopf, J. M., Vogel, E., Woodman, G., Heinze, H. J. & Luck, S. J. (2002). Localizing Visual Discrimination Processes in Time and Space. *Journal of Neurophysiology*, 88, 2088-2095.
- Itier, R. J. & Taylor, M. J. (2004). Effects of repetition and configural changes on the development of face recognition processes. *Developmental Science*, 7, 469–487.
- Johannes, S., Kussmaul, C. L., Münte, T. F., & Mangun, G. R. (1996). Developmental dyslexia: passive visual stimulation provides no evidence for a magnocellular processing defect. *Neuropsychologia*, 34, 1123-1127.
- Kveraga, K., Ghuman A. S., & Bar, M. (2007). Top-down predictions in the cognitive brain. *Brain and Cognition*, 65, 145–168.
- Lehmkuhle, S., Garzia, R. P., Turner, L., Hash, T., & Baro, J. A. (1993). A defective visual pathway in children with reading disability. *New England Journal of Medicine*, 328, 989-996.
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88, 7943-7947.
- Logothetis, N. K., & Sheinberg, D. L. (1996). Visual object recognition. *Annual Review of Neuroscience*, 19, 577-621.
- Mahajan, Y., & McArthur, G. (2012). Maturation of visual evoked potentials across adolescence. *Brain & Development*, 34, 655-666.

- Melloni, L., Schwiedrzik, C. M., Müller, N., Rodriguez, E., & Singer, W. (2011). Expectations change the signatures and timing of electrophysiological correlates of perceptual awareness. *The Journal of Neuroscience*, *31*, 1386–1396.
- Menghini, D., Finzi, A., Benassi, M., Bolzani, R., Facoetti, A., Giovagnoli, S., Ruffino, M., & Vicari, S. (2010). Different underlying neurocognitive deficits in developmental dyslexia: a comparative study. *Neuropsychologia*, *48*, 863-872.
- Nakashima, T., Kaneko, K., Goto, Y., Abe, T., Mitsudo, T., Ogata, K., Makinouchi, A., & Tobimatsu, S (2008). Early ERP components differentially extract facial features: evidence for spatial frequency-and-contrast detectors. *Neuroscience Research*, *62*, 225-235.
- Nagy, Z., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Maturation of white matter is associated with the development of cognitive functions during childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*, 1227–1233.
- Nayar, K., Franchak, J., Adolph, K., & Kiorpes, L. (2015). From local to global processing: The development of illusory contour perception. *Journal of Experimental Child Psychology*, *131*, 38-55.
- Peters, J. C., Vlamings, P., & Kemner, C. (2013). Neural processing of high and low spatial frequency information in faces changes across development: qualitative changes in face processing during adolescence. *European Journal of Neuroscience*, *37*, 1448–1457.
- Poirel, N., Mellet, E., Houdé, O., & Pineau, A. (2008). First came the trees, then the forest: Developmental changes during childhood in the processing of visual local-global patterns according to the meaningfulness of the stimuli. *Developmental Psychology*, *44*, 245-253.
- Pollux, P. M. J., Hall, S., Roebuck, H., & Guo, K. (2011). Event-related potential correlates of the interaction between attention and spatiotemporal context regularity in vision. *Neuroscience*, *190*, 258-269.
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2011). The interactive account of ventral occipitotemporal contributions to reading. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*, 246-253.
- Schendan, H. E., & Kutas, M. (2007). Neurophysiological evidence for the time course of activation of global shape, part, and local contour representations during visual object categorization and memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*, 734–749.

- Schendan, H. E., & Maher, S. M. (2009). Object knowledge during entry-level categorization is activated and modified by implicit memory after 200 ms. *Neuroimage*, *44*, 1423-1438.
- Schendan, H. E., & Lucia, L. C. (2010). Object-sensitive activity reflects earlier perceptual and later cognitive processing of visual objects between 95 and 500 ms. *Brain Research*, *1329*, 124–141.
- Séra, L., Révész, G., Vajda, D., & Járai, R. (2010). Vizuális észlelési problémák fejlődési diszlexiásoknál. *Pszichológia*, *30*, 317-333.
- Talcott, J. B., Hansen, P. C., Willis-Owen, C., McKinnell, I. W., Richardson, A. J., & Stein, J. F. (1998). Visual magnocellular impairment in adult developmental dyslexics. *Neuro-ophthalmology*, *20*, 187-201.
- Thorpe, S. J., & Fabre-Thorpe, M. (2001). Seeking categories in the brain. *Science*, *291*, 260-263.
- Tsermentseli, S., O'Brien, J. M., & Spencer, J. V. (2008). Comparison of form and motion coherence processing in autistic spectrum disorders and dyslexia. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *38*, 1201-1210.
- van den Boomen, C., Jonkman, L. M., Jaspers-Vlamings, P. H. J. M., Cousijn, J., & Kemner, C. (2015). Developmental changes in ERP responses to spatial frequencies. *PLoS ONE* *10*(3): e0122507.
- van den Boomen, C., & Peters, J. C. (2017). Spatial frequency discrimination: effects of age, reward, and practice. *PLoS ONE*, *12*: e0169800.
- Vogel, E. K. & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, *37*, 190-203.

### **A disszertáció témaköréhez kapcsolódó tanulmányok**

- Rokszin, A. A., Győri-Dani, D., Bácsi, J., & Csifcsák, G. (elbírálás alatt) Tracking changes in spatial frequency sensitivity during natural image categorization in school-age: an event-related potential study. *Journal of Experimental Child Psychology*.
- Rokszin, A. A., Győri-Dani, D., Nyúl, L. G., & Csifcsák, G. (2016). Electrophysiological correlates of top-down effects facilitating natural image categorization are disrupted by

the attenuation of low spatial frequency information. *International Journal of Psychophysiology*, 100, 19-27.

Rokszin, A. A., & Csifcsák, G. (2015). A vizuális kategorizáció fejlődésének idegrendszeri alapjai. *Iskolakultúra*, 25, 17-31.

Rokszin Adrienn Aranka & Csifcsák Gábor (2015). A vizuális kategória-hatás vizsgálata 7-15 éves kor között. In: In: Közigazgatási és Igazságügyi Hivatal (szerk.), *Így kutattunk mi! Tudományos cikkgyűjtemény II.: TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság a Konvergencia Régióban*. (pp. 196-198.) Budapest: Közigazgatási és Igazságügyi Hivatal.

Rokszin, A. A., & Csifcsák, G. (2014). A vizuális kategorizációs folyamatok idegrendszeri hátterének vizsgálata alacsony és magas térbeli frekvenciájú képek segítségével. In I. Csiszár, & P. M. Kőmíves (Eds.), *Tavaszi Szél 2014 / Spring Wind 2014 IV. kötet* (pp. 392-402). Debrecen: Doktoranduszok Országos Szövetsége.

Rokszin, A. A. (2013). A vizuális kategorizációs folyamatok érésének feltérképezése 7-15 éves egészséges gyermekek és felnőttek körében. *Iskolakultúra*, 23, 37-51.