
Eredeti közlemények

ARCFELDOLGOZÁSI FOLYAMATOK FEJLŐDÉSI DISZLEXIÁBAN

OLÁH ADRIENN RÉKA^{1*} – NÉMETH KORNÉL^{1*}

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Kognitív Tudományi Tanszék

E-mail: knemeth@cogsci.bme.hu

Beérkezett: 2018. június 30. – Elfogadva: 2018. december 17.

A fejlődési diszlexia újabb vizsgálatai az olvasási zavar mellett gyakran mutatnak ki teljesítménycsökkenést egyrészt a végrehajtó funkciókban (pl. munkamemória-feladatokban), másrészt vizuális tesztekben. Utóbbiak a vizuális feldolgozás ventrális útvonalának féltekei lateralizációt mutató, magasabbrendű, komplex információfeldolgozási zavarára utalnak, aminek az olvasási nehézség vélhetően csak a legszembetűnőbb megjelenési formája. Egy 2011-es metaanalízis alapján a bal fusiform arcfelismerő terület hipoaktivitása egyértelmű diszlexiában, a jobb oldali homológ terület – mely alapvető fontosságú az arcfelismerésben – érintettségével kapcsolatos vizsgálatok eredménye azonban vegyes. Ugyanígy, az arcfelismerés neurális modelljeiben a bal fusiform gyrusban található szóforma-felismerő terület szerepe tisztázatlan. Az összefoglalóban áttekintjük azokat az eredményeket, amelyek összefüggést mutatnak az arcfelismerés és az olvasás funkcionális agyi hálózatrendszere között, és bemutatjuk a fejlődési diszlexiában megjelenő vizuális deficitet.

Kulcsszavak: *fejlődési diszlexia, arcfelismerés, ventrális pálya, olvasási zavar*

* A szerző a tanulmány megírása alatt az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-4-I kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának ösztöndíjában részesült.

BEVEZETÉS

„A fejlődési diszlexia olyan zavar, amely az olvasás elsajátításának nehézségében nyilvánul meg, annak ellenére, hogy az olvasás tanítása az adott nyelven szokásos, elfogadott módszerrel történik, és a tanuló intelligenciája a normál tartományba sorolható, szociokulturális lehetőségei pedig nem térnek el lényegesen az átlagtól”, áll a Neurológusok Világszövetségének 1975-ös hivatalos állásfoglalásában (Illyés, 2000, 246), A DSM-IV a diszlexiát pedig már a tanulási zavarok körébe, mint olvasási zavar sorolja (DSM-IV; American Psychiatric Association, 2000). A DSM-5-ben (DSM-5; American Psychiatric Association, 2013) a fejlődési diszlexia terminusa már nincs használatban, az olvasási képesség sérülése a következőképp jelölendő: „specifikus tanulási zavar olvasási zavarral, az olvasás sebességének vagy folyékonyságának és az olvasott szöveg értésének a károsodásával” (DSM-5; American Psychiatric Association, 2013, 11). A tanulmányban mi – a kifejezés szakmai körökben széles körű ismertsége miatt, valamint a megértést elősegítő – mégis a fejlődési diszlexia kifejezést használjuk.

A fejlődési diszlexia előfordulási valószínűsége a maga 5–10%-os populációbeli arányával igen magas (Siegel, 2006). Hiába a magas arány, valamint a több évtizedes kutatás, a kialakulás lehetséges okai máig vitatottak (Sigurdardottir, Fridriksdottir, Gudjonsdottir és Kristjánsson, 2018). A zavar öröklődési mintázatát tanulmányozva poligénes öröklésmenet valószínűsíthető, mely szerint nem azonosítható egy felelős gén, mely a diszlexiával lenne összefüggésbe hozható (Dehaene, 2009). A nemi arányokban nagy az eltolódás, a fiúk négyszer-hatszor gyakrabban érintettek (Gósy, 2005).

Mivel a fonológiai károsodás gyakori tünet a diszlexiában (Vellutino, Fletcher, Snowling és Scanlon, 2004), nem meglepő, hogy a zavar kognitív hátterével kapcsolatban általánosan elfogadott elképzelés a *fonológiai deficit hipotézis*. A fonológiai feldolgozás az egyik legfontosabb tényező az olvasástanulásban és a betűzésben, így ennek problémája erős oksági szerepet játszik a diszlexiás gyerekek legnagyobb részénél az olvasási és írási zavar etiológiájában (Ramus, 2003). Fontos kiemelni, nem igaz azonban, hogy minden diszlexiásnak kizárólag fonológiai problémái vannak (Valdois, Bosse és Tainturier, 2004). Számos korábbi kutatás eredményei arra utalnak, hogy károsodás van más kognitív funkciók esetén is; ezek szerint a vizuális figyelmi terjedelem (Valdois, Peyrin és Baciú, 2008), a vizuális és auditoros feldolgozás (Clark és mtsai, 2014), a figyelem (Facoetti és mtsai, 2006) és a procedurális tanulás (Nicolson és Fawcett, 2007) is károsodott lehet diszlexiás személyeknél. Ezenkívül számos esetben szenzoros és motoros deficit is megfigyelhető, azonban ezek csak limitált szerepet játszanak a zavar kialakulásával kapcsolatos magyarázatokban (Ramus, 2003). Korábbi vizsgálatok eredménye alapján úgy tűnik, a fonológiai és vizuális feldolgozás deficite disszociálhat a diszlexiában (Valdois és mtsai, 2003). A sok megválaszolatlan kérdés és bizonytalanság ellenére kijelenthető, hogy a diszlexia kialakulásához egynél több faktor is hozzájárulhat, ezek jelentősége pedig nagy egyéni variabilitást mutathat (Sigurdardottir és mtsai, 2018). Az egyes tényezők hozzájárulásának kiderítése a jövőbeli, célzott vizsgálatok feladata lesz.

Az utóbbi években egyre gyakrabban felbukkanó elképzelés szerint a diszlexia alapja a szenzoros funkciók általános zavara lehet. Goswami (2015) szerint azonban ez fordítva van: a csökkent olvasási tapasztalat központi idegrendszerre gyakorolt hatásainak

a következménye a szenzoros deficit, ezért olyan longitudinális kutatási programokat javasol, melyek csecsemőkortól vizsgálják a szenzoros feldolgozást, és amelyekkel sikeresen azonosíthatóvá válna a diszlexia idegrendszeri háttere.

Ami az auditoros feldolgozást illeti, egy 2012-es vizsgálatban (Georgiou, Papadopoulos, Zarouna és Parrila, 2012) egyetlen diszlexiás gyereknél sem sikerült auditoros feldolgozási deficitet kimutatni, míg vizuálisat igen. Bastien-Toniazzo, Stroumza és Cavé (2009) vizsgálatában a diszlexiás gyerekek gyengébben olvastak szájról, mint a velük egykorú, nem diszlexiás társaik (azonban ugyanolyan jól olvastak szájról, mint a velük nem egykorú, de olvasási korban illesztett, nem diszlexiás társaik). Ez arra utalhat, hogy az olvasási készségek összefüggnek a szájról olvasott információ feldolgozásával, ami azért meglepő, mert a két funkciónak a klasszikus modellek szerint teljesen eltérő a neurális háttere. A vizsgálat további eredményei szerint míg az auditoros ingerek feldolgozásában nem volt különbség, addig inkongruens audiovizuális ingerek esetén a diszlexiásoknál kevésbé érvényesült a McGurk-hatás, mint a velük egyidős, nem diszlexiás társaiknál; nem különböztek azonban a fiatalabb, ugyanolyan olvasási korú kontrollgyerekektől. Az eredmények tehát nem sugallnak egységes képet a diszlexia szenzoros-kognitív teljesítményprofiljával kapcsolatban. Ebbe a sorba illeszkedik az a néhány, utóbbi pár évben megjelent kutatási beszámoló is, mely az olvasási zavar és az arcfelismerés kapcsolatát elemzi.

Egyre több vizsgálat talál vizuális információfeldolgozási deficitet a diszlexiában, az újabb eredmények pedig arra utalnak, hogy diszlexiában az agy két, részben elkülönülő, az occipitalis lebenyben található elsődleges látókéregből (V1) induló vizuális pályarendszere károsodást mutat. A vizuális zavarok megértése érdekében röviden bemutatjuk ezeket a pályarendszereket.

A dorzális rendszer – melyet „Hol?” rendszernek is nevezünk – a V1-ből kiindulva a parietalis lebeny irányába halad. Főként a tárgyak mozgásának és azok háromdimenziós jellemzőinek feldolgozásáért felelős (Mishkin, Ungerleider és Macko, 1983). A temporalis lebeny irányába futó pályát ventrális rendszernek nevezzük (ez a „Mi?” rendszer), mely a szín- és tárgylátási folyamatokban alapvető funkciók fő reprezentációs területe (Csépe, Györi és Ragó, 2007). A dorzális rendszer a V2, a V3, és a V5/MT területeken át tart az MST és a parietalis lebeny irányába. Utóbbi neuronjainak nagy a receptív mezeje, így a mintázatok mozgása az itt található sejtek egyik preferált ingere, nem véletlen, hogy a V5/MT sérülés esetén megfigyelhető a mozgásvakság (akinetopszia).

A ventrális rendszer – „Mi?” rendszer – egy többlépcsős hierarchikus rendszer: a kezdeti durva feldolgozást fokozatosan finomodó feldolgozás követi (Csépe és mtsai, 2007). A V1-ből indulva, a V2-n keresztül a V4-en át dolgozza fel a vizuális információk különböző aspektusait. E rendszer csúcán az inferior temporalis (IT) kéregben, ill. a temporalis lebeny anterior részében azok a neuronhálózatok vannak, melyek sejtjeinek a receptív mezeje a legkomplexebb, és amelyeknek az emberi és állati arcok, a tárgyak és a háromdimenziós ábrák a preferált ingerei. Az újabb kutatások számos esetben deficitet mutattak ki a fejlődési diszlexiában ezeken a területeken, egész pontosan a fusiform arcterület (FFA) feldolgozásában (pl. Gabay, Dundas, Plaut, és Behrmann, 2017; Richlan, Kronbichler, és Wimmer 2011; Sigurdardóttir, Ívarsson, Kristinsdóttir, és Kristjánsson, 2015; Tarkiainen, Helenius és Salmelin, 2003), melyre még részlete-

sen kitérünk. A kutatások szerint mindkét vizuális rendszer károsodott diszlexiában, a dorzális rendszer károsodásával kapcsolatos egyik elképzelés a *magnocelluláris deficit hipotézis* (ld. alább), míg a ventrális rendszerrel kapcsolatban számos vizsgálat abnormalitásokat talált (pl. Richlan és mtsai, 2011), ezek taglalására később visszatérünk.

A szóolvasás mellett embereknél az arcfelismerés az egyik legkomplexebb vizuális funkció (Albonico és Barton, 2017). Jelenlegi ismereteink arra utalnak, nincs még egy olyan vizuális kategória, amely olyan erős, specifikus választ vált ki a felnőtt agyban – jobb féltekei előnnyel –, mint az arcok feldolgozása (De Heering és Rossion, 2015). Több vizsgálat eredményei szerint a szavak és arcok feldolgozása kölcsönösen függ egymástól (pl. Dehaene és Cohen, 2011; Dundas, Plaut és Behrmann, 2013). Ebben a tekintetben különösen fontosak azok a vizsgálatok, melyek kimutatták, hogy 1) azok az agysérültek, akiknek olvasási nehézségeik voltak, az arcészlelési feladatokban szintén gyengébben teljesítettek; 2) a fusiform gyrusban és környékén elhelyezkedő asszociációs kérgi régiók, melyek a szavak és arcok feldolgozásával foglalkoznak, diszlexiában hipoaktívnak mutatkoznak (Sigurdardottir és mtsai, 2018). Ezek konklúziója szerint lehetséges, hogy diszlexiában egy általános, magasabb szintű vizuális deficit van jelen, mely az olvasás elsajátítására és működési zavarára is magyarázatot ad (Sigurdardottir és mtsai, 2015).

A következőkben áttekinjtük az olvasás, valamint az arcfelismerés neurális reprezentációjáról tudottakat, koncentrálna a mindkét funkcióban fontos területekre.

A NYELVI INGEREK VIZUÁLIS FELDOLGOZÁSÁNAK IDEGRENSZERI REPREZENTÁCIÓJA – A NEURÁLIS „ÚJRAHASZNOSÍTÁS”

Habár mára már az olvasásnak jelentős szerepe van a mindennapi életünkben, és teljesen automatikussá vált, az emberiség teljes történetét tekintve az olvasás mégis egy relatíve új képesség, hiszen csak néhány ezer éve olvasunk (Baker és mtsai, 2007), a babiloniakhoz köthető ékírás – amely az egyik legkorábbi ismert írásforma – pedig csupán körülbelül 5400 éves lehet (Jobard, Crivello és Tzourio-Mazoyer, 2003).

A legutóbbi időkig tehát csupán az emberek elenyésző hányada tudott olvasni (az UNESCO 2015-ben közölt adatai szerint (Global Age-specific Literacy Projections Model [GALP]; Lutz és Scherbov, [2006]) a 15 éves vagy annál idősebb népesség 86,3%-a írás-/olvasástudó, de ez a szám számos országban még ma is jóval alacsonyabb ennél – elsősorban Afrika és Ázsia egyes területein akár 15-20% körül – (Literacy Statistics Metadata Information Table. UNESCO Institute for Statistics. 2015), ennyi idő azonban az evolúciós folyamatok, a szelekció számára feltehetően nem elég hosszú ahhoz, hogy az agyban önálló területek „fejlődhessenek ki”, melyek az olvasás feldolgozására szakosodtak (Baker és mtsai, 2007). Annak ellenére, hogy az agyban nincs egy olyan terület, mely már a születésünktől kezdve az írott szavak feldolgozásával foglalkozik, meglepő módon a vizuális szóforma-felismerő terület – az írott szavak kérgi reprezentációja – (Visual Word Form Area, VWFA, Cohen és Dehaene, 2004; részletesen ld. alább) a világon az összes olvasó egyén agyában nagyjából ugyanott helyezkedik el (Dehaene és Cohen, 2011), tehát a nyelvi ingerek vizuális feldolgozásának agyi aktivitásmintázata nem mutat jelentős kultúraspecifikus eltérést (Dehaene és Cohen, 2007),

de ugyanez a kultúrákon átívelő mintázat, vagy ahogy Dehaene és Cohen (2007) hívják, „*kulturális térkép*” az írás esetén is megfigyelhető.

A *vizuális szóforma-felismerő terület* egy specifikus kérgi terület, mely az írott szavak feldolgozása esetén automatikusan aktiválódik, még hozzá írásrendszertől függetlenül, auditoros nyelvi ingerekre azonban nem mutat aktivitásfokozódást. A VWFA a bal fusiform gyrus területén helyezkedik el, aktivációja összefügg az olvasási teljesítménnyel (Cohen és Dehaene, 2004): az olvasási készség javulásával nő a VWFA aktivációja is. A terület hipoaktivitása diszlexiában egyértelmű (Dehaene és Cohen, 2011). A szakirodalomban azonban vitatott a terület szóolvasásban betöltött szerepének kizárólagossága. A viták nem arról szólnak, hogy a VWFA-hoz köthető-e a szavak reprezentációja, hanem sokkal inkább arról, hogy jogos-e a VWFA-t a hozzákapcsolt funkció alapján elnevezni (Csépe, 2014).

Az emberi agy architektúrája bizonyos mértékig genetikailag meghatározott, de vannak olyan hálózatok, amelyeket nagyobb plaszticitás jellemez a fejlődés egyes szakaszaiban. A vizuális rendszer egy része nyitott a környezet változásaira, nincs erősen „huzalozva”. Dehaene és Cohen (2007) szerint, amikor egy új készséget tanulunk, az megkeresi a maga neurális *niche*-ét, más szavakkal, olyan területeken alakítja ki saját reprezentációit, melyeknek komputációi hasonlítanak az új funkcióéhoz, ezáltal *újrahasznosítjuk* (recycle) a főemlősök evolúciója során korábban kialakult neuronhálózatokat. Az olvasás „feltalálásához” tehát a vizuális rendszer nagy fokú plaszticitása szolgáltatta az idegrendszeri infrastruktúrát (Dehaene, 2007). Egyes kérgi területek funkciója tehát a tanulás hatására megváltozhat, és az eredeti feladatától eltérő, kulturálisan újabb funkció(k)ban is kulcsszereplővé válhat. Ezt a folyamatot nevezte Dehaene (2005) „neuronal recycling”-nek, vagyis agyi újrahasznosításnak (Csépe, 2014). A folyamat során egy új feladat „betolakszik” egy agyterületre, melynek eredetileg evolúciósan régebbi – de az új funkcióhoz nagyon hasonló – funkciókban volt szerepe, és idővel elfoglalja azt. E kérgi területek elsődleges struktúrája azonban sosem törlődik ki teljesen, az új funkció örökli a hálózat infrastruktúráját, következésképpen annak kényszerűségeit is. Az újrahasznosítás olyan reprezentációk és funkciók kialakításakor kerül szóba, amikor az új képesség (jelen esetben az olvasás) még csak rövid ideje alakult ki – evolúciós léptékben mérve –, így a képesség agyi reprezentációja nem genetikai átszerveződés eredményeképpen jön létre, hanem az egyén élete során, a plaszticitásnak köszönhetően (Dehaene és Cohen, 2007).

Az elmélet szerint az olvasás elsajátítása kapcsolatban áll az arcfeldolgozás neurális reprezentációjának lateralizációs változásával; az olvasástanulás hatására újraszerveződik a bal fusiform gyrus válasza az arcokra és egyéb tárgyakra. Ezzel az elképzeléssel konzisztens az az eredmény, mely szerint a VWFA arcokra adott aktivációja csökken, ahogy az egyén egyre többet olvas. Ugyanezen terület sakktáblák és egyéb tárgyak (pl. házak és eszközök) látványa által kiváltott válasza kismértékben – szintén az olvasás hatására – csökken. Az elmélet szerint lehetséges, hogy az írni-olvasni tudás újrahasznosítja a fusiform gyruson belüli kérgi területet, mely terület korábban egyéb vizuális tárgyak feldolgozásával foglalkozott, az olvasás reprezentációjának megerősödésével a szavak feldolgozására áll át, a jobb félteke pedig bizonyos mértékig még jelentősebben vesz részt az arcok feldolgozásában, vagyis kialakul a vizuális felismerés féltelkei specializációja (Dehaene és mtsai, 2010). Ezen kooperatív és kompetitív dinamika

eredményeképpen normál, érett idegrendszerben a szavak és arcok is bilaterálisan dolgozódnak fel, azonban a szavak a bal féltekében reprezentáltak erősebben, míg az arcok a jobb féltekében. Diszlexiásoknál ennek a félteki lateralizációnak a csökkenése figyelhető meg szavakra és arcokra egyaránt (Gabay és mtsai, 2017). Vannak olyan eredmények is, amelyek szerint a diszlexiás gyerekek nagy részénél egyáltalán nem kimutatható a félteki lateralizáció (Gósy, 2005). Fontos megemlíteni, hogy számos eredmény szerint a funkcionális félteki lateralizáció neurotipikus személyek esetén jelentős varianciát mutat (Segalowitz, 1987). Egy korábbi vizsgálat szerint a nem és a kezesség interakciója figyelhető meg nyelvi feladatok során, vagyis nemtől függően a kezesség eltérő összefüggést mutat a félteki szerveződéssel, továbbá a balkezes személyeknél az interhemiszférikus kommunikáció flexibilitáscsökkenése is megfigyelhető (Eviatar, Hellige és Zaidel, 1997).

Felmerül a kérdés, vajon általában miért bal oldalra lateralizált a VWFA?

Olvasástanulás során az arcok és a szavak versengenek a kérgi reprezentációért – mindkét féltekében, az extrastriális kéreg területén (Levy, Hasson, Avidan, Hendler és Malach, 2001). Egy lehetséges elképzelés szerint annak érdekében, hogy az agy minimalizálja az összeköttetések hosszát és az axonok összterületét, a szavak reprezentációja a nyelvi/fonológiai feldolgozó központhoz közel alakul ki, amely a legtöbb ember esetében a bal féltekében található (Gabay és mtsai, 2017). Az is elképzelhető azonban, hogy az olvasás bal félteki domináns reprezentációja visszavezethető arra az általános elvre, miszerint az analitikus, finom feldolgozásban – amely a szófelismeréshez is szükséges – a bal féltekének jelentős előnye van a jobbal szemben (Kitterle és Selig, 1991).

A neurális újrahasonosítás hipotézis lényege tehát, hogy az agy ventrális vizuális ingerfeldolgozó hálózatrendszere a születés pillanatában funkcionálisan alapvető eltérést mutat a felnőttkori működésmódhoz képest, melyet az olvasási képesség megtanulása alakít ki, formál át. A fusiform gyrus az olvasástanulás előtti időszakban mindkét féltekében fokozott aktivitást mutat különböző vizuális kategóriájú tárgyakra, arcokra, mely az olvasástanulás folyamata során lateralizálódik. Habár valóban – a szerzők szerint is – egy erősen spekulatív hipotézisről van szó, mégis több olyan kutatás ismert, mely egybevág ennek feltételezéseivel. Dehaene és Cohen (2011) vizsgálatának tanulsága, hogy a VWFA aktivitása nem ingerspecifikus, mivel arcokra, eszközökre és sakk-táblák képeire is fokozott aktivitást mutat, különösen olvasni nem tudó felnőtteknél. Ez az aktiváció azonban az olvasási készség fejlődésével folyamatosan csökken, míg az írott szavakra jelentősen nő, még azoknál a személyeknél is, akik csak felnőttként tanultak meg olvasni. Az arc/szó közös reprezentáció létezésére utalnak a szavak és arcok aktivációjának átfedő mintázatai a vizuális kéreg magasabban szervezett occipito-temporalis területein (Nestor, Behrmann és Plaut, 2013).

Vannak azonban a hipotézisnek ellentmondó eredmények is. Adibpour, Dubois és Dehaene-Lambertz (2017) EEG-vel és MRI-vel végzett csecsemővizsgálatainak eredményei szerint az arcfeldolgozás lateralizáltsága nem csak a felnőtt agyra jellemző (köszönhetően kizárólag az olvasás „betolakodásának”), hanem már a születés utáni első hetektől kezdve megfigyelhető. A következő fejezetben áttekintjük az arcfelismerési képesség fiatalkori fejlődését.

AZ ARCFELISMERÉS FEJLŐDÉSE CSECSEMŐ- ÉS KISGYEREKKORBAN

Az arcok szinte már a születés pillanatától első és leggyakoribb vizuális ingerként rendkívül fontos szociális vonatkozással bírnak a csecsemő számára, így nem meglepő, hogy az arcfelismerés működése kritikus a szociális kötődés kialakulása szempontjából (Adibpour és mtsai, 2017).

Az újszülöttek úgy jönnek a világra, hogy már egy veleszületett perceptuális tudással rendelkeznek az arcokat illetően, számukra azonban az arcokról leolvasható információ még limitált (Morton és Johnson, 1991). Souther és Banks (1979; idézi Morton és Johnson, 1991) elképzelése szerint a csecsemők még kevés információt képesek leolvasni az arcokról: normál látótávolságban egy egy hónapos csecsemő csak elnagyoltan látja az arcokat, azonban számos eredmény alapján arra következtethetünk, hogy a csecsemők – megfelelő körülmények között (pl. kellő közelség esetén) – már születésüktől kezdve képesek az édesanyjukat megkülönböztetni másoktól, kezdetben pl. a fej külső vonalának kontúrja és a haj formája alapján (Pascalis, De Schonen, Morton, Deruelle és Fabre-Grenet, 1995). Ez, valamint az új arcok nézőpontfüggetlen felismerésére való képesség a születés utáni első néhány hónapban hirtelen, nagy mértékben fejlődik (Cohen és Strauss, 1979). A gyerekek arcfelismerési képességei tehát gyengébbek a felnőttekénél (Adams-Price, 1992), de van, aki szerint ennek hátterében az általánosan gyengébb kognitív, figyelmi és perceptuális rendszerek is állhatnak (Crookes és McKone, 2009). Az ismert eredmények szerint a felnőttek arcfeldolgozása jártassági mechanizmusokon alapul (tehát professzionális módon olvassák le az arcokról az információkat) (Farah, Wilson, Drain és Tanaka, 1998). Jelenleg is vita tárgya, hogy ez a jártasság mikor fejlődik ki. Egy elmélet szerint körülbelül 5 éves korban alakul ki (Want, Pascalis, Coleman és Blades, 2003), ezen elképzelés szerint az arcfelismerés fejlődésében megfigyelhető életkorfüggő változások annak köszönhetőek, hogy a gyerekeknek általánosan fejlődik a feladat követelményeire való fókuszálóképességük (Crookes és McKone, 2009). Egy alternatív elképzelés szerint azonban a jártassági feldolgozás csak 10 éves kor után alakul ki (Carey és Diamond, 1994), ami konzisztens azzal az elképzeléssel, mely szerint a perceptuális gyakorlottság számos formája csak 10 év „gyakorlás” után fejlődik ki (Pearson és Lane, 1991). Az erre irányuló kutatások nagy része azt mutatja, hogy a hozzáértő arcfelismerési képesség lassan fejlődik az életkor előrehaladtával (Bank, Rhodes Read, és Jeffery, 2014), – ez igaz mind az arcészlelés képességére és az arcokra való emlékezés képességére (Hills és Lewis, 2018) –, és ez a fejlődés gyerek- és kamaszkorban egyaránt tart (Betts, McKay, Maruff és Anderson, 2006). A jártasság egészen kamaszkorig nem éri el a felnőttekre jellemző szintet (Bank, Rhodes, Read és Jeffery, 2014). A hozzáértővé válás egyik jele az arcfelfordítási hatás megjelenése (De Heering, Rossion és Maurer, 2011). Arcfelfordítási hatás alatt azt a jelenséget értjük, amikor fejfelé fordított arc azonosítása esetén hosszabb a döntési idő, és maga a döntés kevésbé pontos, mint egyenes állású arcok esetén (Yin, 1969). Hills és Lewis (2018) eredményei szerint 9 éves kor előtt a gyerekek nem mutatnak arcfelfordítási hatást, csak 9-10 éves kor körül. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a gyakorlottá válás 10 éves kor körül következik be, hasonlóan a más területeken kialakuló jártassághoz.

Az agyféltekék szerepe az arcfelismerés fejlődésének korai szakaszában

Mi a neurális háttere annak a gyors és hatékony tanulásnak, ahogy egy újszülött alig pár hónap alatt – a többi készségéhez képest professzionális módon – képessé válik arc alapján azonosítani az őt körülvevőket? Mi a jobb és bal félteke szerepe az arcfeldolgozásban a különböző életkorokban, és hogyan fejlődik az arcfeldolgozás? Két hipotézist ismerünk ezzel kapcsolatban (Adibpour és mtsai, 2017), mindkettő mellett szólnak érvek, eredmények. Közös a két hipotézisben az, hogy szerepet tulajdonítanak az agyi konnektivitásnak, az érésnek és a környezeti ingereknek való kitettségnak, azonban a kezdeti agyi szerveződést illetően különbség van köztük (Adibpour és mtsai, 2017). Az első hipotézis szerint már a kezdetektől fogva strukturális különbségek vannak a féltekék között, melyeknek köszönhetően a jobb félteke hatékonyabban dolgozza fel az arcokat. Elképzelhető, hogy ezek a strukturális különbségek már a terhesség alatt jelen vannak (Racic, 1988). A hipotézist azon eredmények támogatják, melyek a nyelvfeldolgozással kapcsolatba hozható idegpályák esetében aszimmetriákat mutattak ki a kérgi érésben: Leroy és mtsai (2011) már néhány hónapos csecsemőknél kimutatták, hogy a superior temporalis sulcus (STS) érettebb a jobb oldalon – ez a terület egyébként az arcfeldolgozásban is szerepet játszik: a dinamikus arcmozgások, a mimika elemzéséért felelős (Haxby, Hoffmann és Gobbini, 2000). A második hipotézis szerint mindkét félteke ugyanolyan mértékben kompetens már a fejlődés kezdetekor, a jobb féltekének akkor lesz nagyobb szerepe az arcokra adott válaszok feldolgozásában, amikor a gyerekek újabb vizuális kategóriákat tanulnak meg, tehát a vizuális tapasztalataik sokrétűbbek lesznek (Johnson, 2001). A régiók végső szerveződését pedig a versengés határozza meg, attól függően, hogy hogyan előnyös az agyban a strukturális kapcsolatok kialakulása (Saygin és mtsai, 2016): például – ahogyan azt feljebb is említettük – a VWFA balra lateralizált, annak érdekében, hogy közelebb legyen az agy nyelvi központjához, ez pedig versengést eredményez a szó- és arcrepresentáció között, hiszen ugyanazon terület elfoglalása a cél a bal féltekén belül (Dundas és mtsai, 2013). Ezen elképzelés összhangban van a neuronális újrarahuzalozási hipotézissel, valamint azon vizsgálatokkal, melyek eredményei szerint neurotipikus olvasóknál az arcok feldolgozása inkább jobbra lateralizált, mint a diszlexiás személyeknél (Gabay és mtsai, 2017), vagy írni-olvasni nem tudó személyek esetén (Dehaene és mtsai, 2010). Tehát, míg az első hipotézis szerint a kezdeti idegi jellemzők korlátozzák a környezet vizuális feldolgozását, addig a második azt hangsúlyozza, hogy a környezetnek jelentős szerepe van az agy szerveződésének kialakításában. A következőkben bemutatjuk azon vizsgálatokat, melyek az első hipotézist támasztják alá.

Adibpour és mtsai (2017) eredményei szerint már csecsemőkorban megfigyelhető a jobb félteke-előny, míg a bal félteke nem képes diszkriminálni az arcok között. A kísérlet során a babák jobb és bal látóterébe felváltva mutattak be arcokat, így vizsgálva a féltekék szerepét az arcfeldolgozásban. Eredményeik azt mutatják, hogy a csecsemők jobb agyféltekéje képes az arcok diszkriminációjára, a bal félteke azonban nem: a kora előrehaladva egyre nagyobb és gyorsabb lesz az új arcra adott válasz a jobb féltekében, míg a bal félteke a kora előrehaladva sem tesz különbséget az arcok között. Mindez a jobb félteke feldolgozási képességének javulását mutatja az idő előrehaladtával (Adibpour és mtsai, 2017).

Elképzelhető, hogy a jobb és a bal félteke felépítése genetikailag meghatározott, ennek köszönhető a korai lateralizáció. De Heering és Rossion (2015) 4–6 hónapos csecsemők agyi aktivitását vizsgálta tárgyak és arcok feldolgozása során. Eredményeik arra utalnak, hogy az arcfeldolgozási folyamatok jobbra lateralizáltsága már jóval az olvasás elsajátítása előtt megjelenik, még csecsemőkorban. Mi lehet a magyarázata ennek a korai arcszelektív válasznak? Egyrészt az arcok vitathatatlanul a leggyakoribb és szociálisan leginkább releváns ingerek a csecsemő környezetében, ezen tulajdonságai miatt már igen korán arcszelektív válaszok alakulhatnak ki a fejlődés során (De Heering és Rossion, 2015). Néhány kutató úgy gondolja, hogy már a genomban jelen van egy arcfeldolgozási modul (Farah, Rabinowitz, Quinn és Liu, 2000). De Heering és Rossion elképzelhetőnek tartják, hogy a vizsgálatukban kimutatott csecsemőkori arcszelektív válaszok a biológiai meghatározottság és a sok vizuális tapasztalat együttes hatásának köszönhetően jelennek meg. Az agyi képpalkotó eljárások azt mutatják, hogy a fusiform arcterület hosszú fejlődésen megy keresztül, a térfogata 7 éves kor után jelentősen nő, továbbá az arcszelektív válaszok egészen serdülőkorig folyamatosan nőnek (Golarai, Liberman, Yoon és Grill-Spector, 2010), mindez arra utal, hogy az arcszelektivitás a fejlődés során egyre nő (De Heering és Rossion, 2015). Ezek az eredmények megcáfolják az elképzelést, miszerint a jobb féltekei lateralizáció az arcokra csak néhány év után jelenik meg, annak hatására, hogy az olvasás elsajátítása során kialakul a bal féltekei lateralizáció a szavakra (Dehaene, 2005). Összességében az mondható el, hogy a vizsgálatok inkonzisztensek a féltekék arcfeldolgozásban betöltött szerepét illetően. A különböző eredményeket okozhatja az is, hogy számos vizsgálatban a résztvevők igen különbözőek voltak, mind az életkorukat, mind az olvasási készségeiket illetően (Dehaene-Lambertz, Monzalvo és Dehaene, 2018).

Dehaene-Lambertz és mtsai (2018) longitudinális vizsgálata magyarázatot adhat a féltekék szerepével kapcsolatos inkonzisztens eredményekre. Úgy tudjuk, hogy ez az első olyan tanulmány, amely longitudinálisan vizsgálja a gyerekek arcfeldolgozási folyamatait abban az időszakban, amikor megtanulnak olvasni – mindezzel a neuronális újrarahuzalozási hipotézist tesztelve. A vizsgálatba kizárólag olyan gyerekek kerülhettek be, akik az iskolakezdés előtt még egyáltalán nem ismerték a betűket. Összesen tíz 6 éves gyerek vett részt a vizsgálatban, mindegyiküket hatszor vizsgálták fMRI-vel, az első tesztelés az iskolakezdés előtt történt, az utolsó pedig egy évvel az iskolakezdés után. Mindezzel lehetővé tették azt, hogy megvizsgálják, hogy az az agyterület, amely a vizsgálatsorozat közepén a szavak feldolgozásakor erősebb aktivációt mutatott (tehát a VWFA), a legelső vizsgálatban – amikor még nem tudtak olvasni a gyerekek – mely ingerekre aktiválódik. A szerzők az eredmények alapján a neuronális újrarahuzalozási hipotézis átdolgozását javasolják. Úgy tűnik, hogy nem a szóreprezentáció hatására lesz kizorítva az arcprezentáció a bal féltekéből, sokkal inkább arról van szó, hogy a szóreprezentáció legátolja az arcprezentáció további fejlődését a bal fusiform gyrusban, a jobb féltekében azonban ez a gátlás nem jelenik meg. Az írott szavak kérgi reprezentációja tehát nem olyan területeket foglal el, amelyek korábban arcszelektívek voltak, hanem olyanokat, amelyek korábban nem mutattak erős szelektivitást egyetlen ingerre sem, egyedül az eszközökre mutattak gyenge válaszkészséget. A szóreprezentáció kialakulása a korábban már stabilá váló kérgi válaszokra nincs befolyással, nem változtatja meg radikálisan a ventrális vizuális rendszer arcokra, házakra, eszközök-

re adott válaszát. A szóreprezentációval kapcsolatban az eredmények azt mutatják, hogy az iskolakezdés előtt a VWFA nem volt detektálható, tehát nem volt egy olyan terület az agyban, amely kifejezetten a szavak feldolgozásával foglalkozott. Az iskola első 2–4 hónapjában csoportszinten megjelent a felnőttkori, tehát végleges helyén (Dehaene-Lambertz és mtsai, 2018).

A VIZUÁLIS FELDOLGOZÁS ELTÉRÉSEI DISZLEXIÁBAN

Az olvasási zavart elsőként logikusan a vizuális rendszer zavarának tekintették (Hinshelwood, 1895), az azóta eltelt időben pedig több vizsgálat is kimutatta a mozgás- és kontrasztérzékelés deficitjét is (Stein, 2001). Van jó néhány eredmény, melyek arra utalnak, hogy ezek a problémák nem általánosak, és csak a diszlexiás személyek egy-egy alcsoportjában vannak jelen (Heim és mtsai, 2008). A vizuális észlelési deficit tehát az egyik legrégebben ismert eredmény a diszlexiában (Borel-Maisonny, 1951). Az elmúlt évtizedekben számos kutatás számolt be a diszlexiásoknál megfigyelhető – főként – vizuális funkciózavarokról, valamint strukturális agyi elváltozásokról. Ezeket sokáig úgy értelmezték, mint amik indikálják, hogy a diszlexia vizuális deficit eredménye lehet (Skottun, 2000). A fő kérdés az, hogy ez a vizuális felismerési deficit területspecifikus – azaz csak az írott betűk felismerését érinti –, vagy területáltalános, tehát az egyéb vizuális ingerek feldolgozására is kiterjed (Gabay és mtsai, 2017).

A következő részben először a diszlexiában megfigyelhető strukturális, illetve funkcionális agyi eltéréseket tekintjük át.

Strukturális eltérések

A strukturális vizsgálatok a legtöbb eltérést a bal temporalis lebenyben találták, Dehaene (2009) ezt a régiót a diszlexia biológiai eredetének nevezi. Ennek a területnek az anatómiája és a konnektivitása diszlexiás személyeknél eltér a normál populációétól, ez pedig problémát okoz az olvasásban, hiszen a temporalis lebeny laterális részének nagy szerepe van a fonológiai információ feldolgozásában (Dehaene, 2009). Seghier (2013) a dorsolateralis parietalis kéreg egy részén, a bal angularis gyrusban mutatta ki az axonok térfogatának csökkenését a diszlexiás személyeknél. Több vizsgálat eredményeit összegezve elmondható, hogy a temporo-parietalis kéreg elváltozásai alkotják a diszlexia neurális bázisát (Raschle, Zuk és Gaab, 2012).

Funkcionális eltérések

Az agyi aktiváció kimutatható mágneses rezonanciás képalkotás segítségével (magnetic resonance imaging, MRI), az eljárás során az MRI detektálja a vér térfogatának vagy oxigénkoncentrációjának a megváltozását. Az utóbbi jelenti a BOLD jelet (blood oxygen level dependent – vér oxigénszintjétől függő), mely jelenleg a kognitív idegtudomány egyik legfontosabb módszere (Logothetis, 2008). Az fMRI-vel (functional

magnetic resonance imaging, funkcionális mágneses rezonanciás vizsgálat) végzett vizsgálatok főként a BOLD-jelre, ennek feladatfüggő változásaira épülnek. Egy feladat elvégzése esetén az aktiválódó idegsejtcsoportok energiaigénye fokozódik, melyet glükóz formájában a vér szállít. A neuronális aktivitás tehát a vérátáramlás helyi fokozásával jár együtt, amely glükózon kívül oxigént is szállít a sejtekhez. A fokozott aktivitás hatására a hemoglobin (oxigént szállító fehérjemolekula) szerkezete megváltozik: az oxyhemoglobin koncentrációja – mely oxigént köt – nő; míg a deoxyhemoglobin – mely nem köt oxigént – csökken. Az fMRI a mágneses tér változásait használva képes követni az agyi aktivitást (Berényi, 2011), az oxigenizált és deoxigenizált hemoglobin pedig mágneses térben eltérően viselkedik (Arthurs és Boniface, 2002). Ezt a változást követik a képződés folyamán, a BOLD-jel nő az aktív területeken, ez a BOLD-kontraszt (Berényi, 2011). A módszer egyik legfőbb előnye, hogy noninvazív, relatíve magas téri-idői felbontással rendelkezik, valamint az agyterületek teljes hálózatát lehet vele vizsgálni. Hátránya – mint ahogy az összes többi hemodinamikus alapú módszernek –, hogy helyettesítő választ mér, mely fiziológiai és biológiai korlátoknak van kitéve. Az fMRI-eredmények értelmezésével kapcsolatban számos kérdés merül fel, ennek ellenére az ezen vizsgálatokból levont konklúziók gyakran hagyják figyelmen kívül a módszer limitációit (bővebb áttekintésért lásd: Logothetis, 2008).

A funkcionális eltéréseket vizsgálva többen is csökkent BOLD-választ találtak az extrastriális kéregben (pl. Langer, Benjamin, Minas és Gaab, 2015; Maisog, Einbinder, Flowers, Turkeltaub és Eden, 2008; Pugh és mtsai, 2000; Wandell, Rauschecker és Yeatman, 2012). A bal fusiform gyrus hipoaktivitását mutatták ki a vizsgálatok.

A bal fusiform gyrus a szavak és arcok vizuális észlelését és valószínűleg a vizuálisan homogén tárgyak diszkriminációját is segíti. Utóbbin a jártasságot/hozzaértőséget értjük; több kutató szerint az FFA egy vizuális jártasság modul, mely megkülönbözteti az egy kategórián belüli, egymáshoz nagyon hasonló tárgyakat (pl. madarak, autótípusok) (Gauthier, Skudlarski, Gore és Anderson, 2000). A diszlexiás gyerekeknél és a felnőtteknél ez a terület hipoaktív. Ezek alapján azt feltételezhetjük, hogy a diszlexiások abnormális arcfelismerési képességeket mutatnak, és a kategórián belüli tárgyakat eltérő módon dolgozzák fel (Sigurdardottir és mtsai, 2015).

Egy 2011-es metaanalízis a VWFA régiót funkcionálisan is abnormálisnak találta diszlexiás gyerekeknél és felnőtteknél egyaránt (Richlan és mtsai, 2011). A régió mindkét korcsoportban konzisztensen hipoaktívnak mutatkozott.

Egy 1996-os MEG-vizsgálat alacsonyabb amplitúdójú jelet mért a bal inferior occipito-temporalis kéregben (Salmelin, Service, Kiesila, Uutela és Salonen, 1996), melynek fiziológiás működése elengedhetetlen a betűk gyors, egymás utáni párhuzamos feldolgozásához, vagyis a hozzáértő, automatikus olvasáshoz.

Diszlexiásoknál megfigyelhető a vizuális figyelmi terjedelem zavara, mely együtt jár a parietalis kéreg – alapvetően a dorsolateralis része vesz részt a figyelem irányításában – abnormális aktivitásával (Valdois és mtsai, 2008). Nem csak hipoaktivációt találunk azonban diszlexiában, a hiperaktiváció szintén gyakori. A bal inferior frontális kéreg – mely a Broca-területnek is otthont ad – gyakran hiperaktív, amikor a diszlexiások egyének olvasnak vagy fonológiai feladatokat végeznek (Dehaene, 2009). Dehaene (2009) szerint ez kompenzációs stratégiaként értelmezhető, mely sajnos nem gyümölcsöző.

A bal ventrális occipito-temporalis lebeny eltérései diszlexiában konzisztensek a vizuális feldolgozás deficitével.

Széles körben elfogadott az az elmélet, miszerint a diszlexia vizuális károsodásait a magnocelluláris pálya deficitjével is magyarázni lehet (Skottun, 2000). Az elképzelés szerint a magnocelluláris rendszer károsodott fejlődése a felelős a diszlexiában megfigyelhető problémákért (Stein, 2001).

A MAGNOCELLULÁRIS ELMÉLET

A retinából a corpus geniculatum laterale (továbbiakban CGL) dorzális részébe tartó projekció két morfológiailag eltérő ganglionsejtből indul ki. A retina ganglionsejtjeit feloszthatjuk az alapján is, hogy a CGL mely rétegeihez projektálnak. Azon ganglionsejteket, melyek nagyobb receptív mezővel rendelkeznek, és a CGL magnocelluláris (nagysejtes) rétegeihez küldenek információt, M sejteknek hívjuk. A kisebb receptív mezejű ganglionsejteket P sejteknek hívjuk, ezek a CGL parvocelluláris (kissejtes) rétegeihez projektálnak (Silveira és Perry, 1991). Mivel az M sejtek válasza egy-egy vizuális ingerre rövidebb ideig marad fenn, mint a P sejtek válasza, az M sejtek a vizuális ingerek időbeli változásait jobban képesek követni (Csépe és mtsai, 2007), a mozgásra specializálódtak (Merigan és Maunsell, 1993). Az M és P sejtek a CGL különböző rétegeiben kapcsolódnak át a magnocelluláris és a parvocelluláris sejtekre. A corpus geniculatum laterale külső 4 rétegét parvocellulárisnak, míg a belső 2 réteget magnocelluláris rétegnek nevezzük (Csépe és mtsai, 2007). A magnocelluláris idegsejteknek szerepük van a figyelem és fixációk vizuális vezérlésében, továbbá az olvasás során hozzájárulnak a vizuális információk gyors integrálásához, tehát a betűk és sorrendjük gyors azonosításához (Stein, 2014) a szakkádikus szemmozgások szervezésével (Laycock és Crewther, 2008). A magnocelluláris deficit hipotézis szerint az alapvető vizuális probléma a diszlexiában az, hogy a magnocelluláris rendszer fejlődése károsodik (Stein, 2001), ez pedig számos, diszlexiában megfigyelhető probléma alapja. Ilyen például a szakkádok során látott kép elnyomásának nehézsége, az abnormális szemmozgások, valamint a betűk sorbarendezésének nehézsége (Stein, 2018).

Az olvasás folyamata számos szakkádból és fixációból áll. Neurotipikus személyeknél a vizuális rendszer a szakkádok során látott képet figyelmen kívül hagyja, ebben az M sejteknek nagy szerepük van. Azonban a diszlexiás személyek nagy részénél – az M sejtek csökkent szenzitivitása miatt – ez a folyamat kevésbé hatékony, ami miatt a látott kép elmosódik (Stein, 2018).

Habár a parvocelluláris ganglionsejtek részt vesznek a finom részletek feldolgozásában, így olvasáskor a fő bemenetet a VWFA-ba ők adják, a magnocelluláris rendszernek kritikus szerepe van abban, hogy irányítsa a figyelmet, és a szemeket a céltárgyon tartsa – ez elengedhetetlen az olvasáshoz –, így érthető, miért vezet a magnocelluláris rendszer deficitje a diszlexiában tapasztalt nehézségekhez (Stein, 2014). A szemmozgás kontrollja is nagymértékben függ az M sejtektől (Stein, 2018). A sikeres olvasáshoz fontos, hogy a fixáció stabil legyen, diszlexiában azonban a fixáció kontrollja sérült (Fischer és Hartnegg, 2000; Jainta és Kapoula, 2011). A stabilitás (egy szóra való fixáláskor) nagyban függ a magnocelluláris rendszertől, egészen pontosan attól, hogy

detektálja-e a nem szándékos szemmozgásokat, amelyek miatt az olvasó számára úgy tűnik, hogy a szöveg mozog. A mozgás tényének detektálása után visszajelez a szem motoros rendszerének, amely a célra irányítja a szemeket, megszüntetve ezzel a mozgást. A gyenge magnocelluláris rendszer kevésbé stabil vizuális fixációhoz vezet, aminek lehetséges eredménye, hogy a szavak és betűk úgy tűnnek, mintha mozognának (Stein, 2018). Erről a tünetről sok diszlexiás számol be (Harries és mtsai, 2015).

A sikeres olvasáshoz szintén kulcsfontosságú a két szem konvergálása, melyben a magnocelluláris rendszer kritikus szerepet játszik: a konvergens szemmozgások első lépését kontrollálja (Mowforth, Mayhew és Frisby, 1981). Mivel az összes típusú szemmozgás függ a magnocelluláris sejtek visszajelzésétől, ezek csökkent érzékenysége esetén minden típusú szemmozgás károsodik. Amikor diszlexiás személyek olyan feladatot kapnak, hogy egy mozgó tárgyat kell szemmel követni, hajlamosak folyamatosan lemaradni a követéssel, ezért periodikus szakkádokkal próbálják utolérni a céltárgyat (Eden, Stein, Wood és Wood, 1994). Ezen típusú vizsgálatok nem nyelvi ingerekkel dolgoztak, a magnocelluláris rendszer érintettsége azonban ekkor is kimutatható volt. A vizsgálatok alapján a gyenge szemmozgáskontroll a károsodott olvasás oka is lehet. Egy ellentétes nézet szerint a betűk dekódolásának nehézsége eredményezi az abnormális szemmozgásokat (Rayner, 1998). Nem kétséges, hogy a nagyszámú regresszív szakkád (amikor az egyén visszatér a már olvasott szavakra) és a meghosszabbodott fixáció részben a dekódolási sikertelenség oka lehet, ez azonban önmagában nem magyarázza meg, hogy ezek a fixációk miért olyan instabilak, és miért divergálnak a szemek, diplopiát okozva (Stein, 2018).

A magnocelluláris rendszer károsodása miatt a betűk sorbarendezése szintén komoly problémát okoz a személyeknek (Stein, 2018).

A magnocelluláris sejtek károsodása a vizuális rendszer minden szintjére hatással lehet: a retinára, nucleus geniculatum laterale-re, az elsődleges vizuális kéregre, a dorzális „Hol” pályarendszeren keresztül a vizuális kéregtől a posterior parietalis és prefrontális kéregig egyaránt. A deficit súlyossága korrelál az olvasási zavarral (Stein, 2014).

A hipotézist alátámasztják azok a vizsgálatok, melyek kimutatták, hogy diszlexiás személyeknél a CGL magnocelluláris rétegei dezorganizáltak, és 30%-kal kisebbek (Livingstone, Rosen, Drislane és Galaburda, 1991), továbbá a magnocelluláris rétegek szignifikánsan vékonyabbak diszlexiás személyeknél, mint az életkorban illesztett kontrollszemélyeknél (Giraldo-Chica, Hegarty és Schneider, 2015).

A DISZLEXIÁS SZEMÉLYEK ARCFELDOLGOZÁSI KÉPESSÉGEI

A legújabb elképzelések szerint az arc- és a szófelismerés neurális reprezentációi átfednek, az idegrendszer normál, érett állapotában pedig a szavak és arcok bilaterálisan elosztott hálózatokban dolgozódnak fel. A szavak a bal, míg az arcok a jobb féltekében reprezentáltak erősebben (Gabay és mtsai, 2017).

A diszlexiások arcfeldolgozását illetően kevés szakirodalom áll rendelkezésre, az eredmények inkonzisztensek. A következőkben bemutatunk néhány olyan vizsgálatot, amely arcfeldolgozási deficitet mutatott ki diszlexiában.

Gabay és mtsai (2017) nem csak a szavak, hanem az arcok károsodott feldolgozását mutatták ki diszlexiában. A diszlexiások lassabban párosították össze az arcokat, főleg akkor, ha különböző nézőpontból látták azokat, valamint rosszabb diszkriminációs és hasonlósági döntési teljesítményt mutattak, miközben – függetlenül a feladat nehézségi szintjétől – az autók megkülönböztetése nem okozott nehézséget nekik. Az arcfelfordítási hatás mértékében azonban nem találtak eltérést a kontrollszemélyekhez képest (Behrmann és Plaut, 2013; Gabay és mtsai, 2017).

Egy 2003-as magnetoenkefalográfiás vizsgálatban, mely az arcfeldolgozás perceptuális komponensét vizsgálta, a kontrollcsoporttal összevetve különbséget találtak a diszlexiások neurális és viselkedési profiljában. A fent említett eredményekkel összhangban a diszlexiások kevésbé voltak pontosak az arcfelismerési feladatban, és lassabban ítélték meg, hogy mennyire hasonlóak az egyes arcok. Ugyanezen személyeknél a jobb parieto-temporalis kéregben csökkent aktivitást mutattak ki az inger megjelenése után 250 ms-mal (Tarkiainen és mtsai, 2003).

Sigurdardottir és mtsai (2015) vizsgálatában a diszlexiások ugyancsak rosszabbul teljesítettek az arcok és tárgyak felismerése során, ami a vizuális deficit területátlalánosságára utal. Az arcok felidézésével kapcsolatos feladatban kevesebb helyes választ adtak, mint a normatív átlag, de csak normál állású arcok esetén, felfordított arcok esetén ez a különbség nem volt megfigyelhető. A Vanderbilt Tárgyfelismerési Teszt segítségével (Vanderbilt Expertise Test – VET) öt tárgykategóriát teszteltek: madarak, pillangók, autók, repülők és házak. A VET előnye, hogy képes az egyén kategórián belüli általános tárgyfelismerési képességét mérni. A diszlexiások teljesítménye átlagosan alacsonyabb volt, mint a kontrollszemélyké. Mindez rendkívül fontos tanulsággal bír, mivel azt sugallja, hogy a diszlexiások egyéb (arcokon kívüli) felismerési feladatokban is károsodást mutatnak, ha ugyanabba a kategóriába tartozó tárgyakat kell megkülönböztetni egymástól. A szerzők felvetik annak lehetőségét, hogy azok a nehézségek, melyeket a diszlexiások tapasztalnak olvasás közben, egy általános, magasabb szintű vizuális deficitnek csak a legszembetűnőbb megjelenési formái. A magas szintű vizuális kogníció – amely a fusiform gyrushoz és a ventrális vizuális pályához kapcsolható főként (DiCarlo és Cox, 2007) – deficitje nem azt jelenti, hogy az egyénnek a látással van problémája, hanem azzal, hogy *értelmet adjon* a látványnak (Sigurdardottir és mtsai, 2018). Elképzelhető, hogy a 'deficit' szó helytelen elnevezés, hiszen lehet, hogy a diszlexiások a tárgypercepciók készségei normál skálájának csupán alsó végén helyezkednek el, nem pedig a károsodott tartományban (Sigurdardottir és mtsai, 2015). A szavak felismerésénél ez problémát jelent, más tárgyaknál azonban nem feltétlenül; a mindennapokban feltehetőleg nem okoz olyan komoly problémát, ha egy diszlexiás nem tud tökéletesen megkülönböztetni nagyon hasonló arcokat, madarakat, autókat stb., miközben az alapos, finom feldolgozás hiánya olvasáskor komoly probléma lehet, hiszen ekkor nagyon gyorsan kell megkülönböztetni és felismerni vizuálisan nagyon hasonló „alakzatokat”, vagyis írott nyelvi szimbólumokat (Sigurdardottir és mtsai, 2015).

Sigurdardottir és mtsai (2017) egyik friss vizsgálatának eredményei szerint a diszlexiások nem tanulnak a vizuális tapasztalatból olyan mértékben, mint a tipikus olvasók, azaz a vizuális statisztikai tanulásal is problémáik vannak. A vizuális statisztikai tanulás alakítja az agyi régiók válaszait, amennyiben ez a típusú tanulás károsodott, az néhány

esetben meggátolhatja a ventrális vizuális rendszer válaszainak tapasztalat vezérelte formálódását. Ha a vizuális tapasztalat nem tudja sikeresen újraformálni a vizuális rendszert olyan mértékben, hogy a kategóriaspecifikus vonásokra – melyek fontosak a hasonló tárgyak megkülönböztetésében – szelektív legyen, akkor a diszkrimináció és a felismerés károsodott lesz ezen kategóriákban (Sigurdardottir és mtsai, 2018). Mindezek miatt fontos, hogy olyan tárgyak felismerését is vizsgáljuk diszlexiában, melyek még újak a vizsgálati személyek számára. Sigurdardottir és mtsai (2018) vizsgálatukban pontosan ezt tették; arra voltak kíváncsiak, hogy a perceptuális problémák diszlexiában specifikusak-e a való életben is előforduló tárgyra, melyekkel az emberek életük során számos tapasztalatot gyűjthettek (pl. arcok) vagy általánosak, tehát kiterjednek olyan más, homogén tárgykategóriákra is, melyekkel még nem találkoztak korábban. Vizsgálatukban új, számítógép generálta háromdimenziós, vizuálisan hasonló, de kategóriájukban eltérő tárgyakat (ún. YUFO-kat) alkalmaztak, melyeket Scott Yu alkotott. Innen ered a rövidítés, a ‘Yu’s Un-Facelike Objects’ angol kifejezés rövidítése a YUFO szó. Az egy kategóriából származó YUFO-knak ugyanaz volt az alapstruktúrája, csak apró jellemzőkben volt különbség köztük, pl. a fej és test alakjában (Gauthier, James, Curby és Tarr, 2003).

A YUFO-kon kívül számítógép generálta, háromdimenziós arcokról is döntést kellett hozniuk a személyeknek, tehát olyan ingerekről, melyekkel már korábban bőséges tapasztalatot szereztek. Habár nem volt csoportközi különbség a feladatok megoldásához szükséges időben, a diszlexiások sokkal kevésbé voltak pontosak az arcok párosításában, mint a kontrollcsoport, míg a YUFO-k párosításában ugyanolyan pontos volt a két csoport. Eszerint a diszlexiásoknak csak olyan „tárgyakkal” vannak perceptuális problémáik, melyekkel az életük során széles körű tapasztalatot szereztek (pl. arcok). A vizsgálat tanulsága szerint a diszlexiában jelen lévő perceptuális problémák csak olyan tárgykategóriára vonatkoznak, melyekkel életük során már tapasztalatot szerezhettek. Azokkal a tárgyakkal azonban nem voltak perceptuális problémáik, melyek számukra teljesen újak voltak. Mindezek miatt nem valószínű, hogy a vizuális problémák csakis kizárólag az alacsony szintű vizuális rendszer deficitjére utalnak. Az eredmények azt mutatják, hogy diszlexiában a vizuális problémák specifikusak, és nem egy általános tárgypercepció deficitéről van szó, hanem egy olyan vizuális problémáról, amelyben a vizuálisan homogén tárgyak (pl. arcok, szavak) azonosítási deficitje kifejezett. Ez arra utal, hogy a tapasztalat alakította vizuális rendszer magas szintű feldolgozást végző régiói – melyek közül néhány diszlexiában hipoaktív (Richlan és mtsai, 2011) – nagymértékben plasztikusak, és válaszaikat úgy optimalizálják, hogy hatékonyan tudják kategorizálni azokat az ingereket, melyekkel már korábban tapasztal-



1. ábra. YUFO-k (forrás: Sigurdardottir és mtsai, 2018)

talatot szereztek. Ahogy az emberek egyre több tapasztalatot szereznek a betűkről és a betűk megkülönböztetéséről, bizonyos régiók a ventrális pályán egyre inkább optimalizálódnak a szavak feldolgozására (lásd pl. Dehaene és Cohen, 2011). A diszlexiás olvasókban ez a tapasztalatfüggő specializáció feltételezhetően hiányzik (Wimmer és mtsai, 2010), náluk valamiért az olvasás nem képes megfelelően alakítani a vizuális rendszer magas szintű feldolgozást végző ventrális régióinak a válaszait. Elképzelhető, hogy ez a csökkent tapasztalatfüggőség generalizálódik egyéb tárgyakra is, nem csak a szavaknál mutatkozik meg (Sigurdardottir és mtsai, 2018). A fentebb említett vizuális statisztikai tanulási deficit (Sigurdardottir és mtsai, 2017) nehezíti a ventrális rendszer neurális válaszainak tapasztalatfüggő alakulását, ami végül akadályozza a szavak és tárgyak gyors, automatikus és sikeres felismerését. A szerzők hangsúlyozzák, hogy eredményeik nem feltétlenül mondanak ellent a diszlexiáról alkotott eddigi elméleteknek, hiszen egynél több tényező is hozzájárulhat a diszlexia kialakulásához, mely tényezők szerepe változó (Sigurdardottir és mtsai, 2018).

Míg a fentebb említett vizsgálatok mind arcfeldolgozási deficitet mutattak ki diszlexiában, nincs ez minden vizsgálattal így: Brachacki, Fawcett és Nicolson (1994) például nem talált különbséget az arcfeldolgozásban. Gabay és mtsai (2017) szerint több oka is lehet a vizsgálati eredmények közötti inkonzisztenciáknak. Az egyik, hogy néhány vizsgálat azért nem talált különbséget a csoportok között, mert a teljesítmény plafonhatást mutatott (pl. Brachacki és mtsai, 1994), vagyis a diszlexiások a normál olvasókhoz hasonlóan teljesítettek az egyszerű feladatokban, a különbség csak akkor jelent meg, ha a feladat nehézsége növekedett, pl. kettős terhelés, zaj hozzáadása esetén (Gabay, Schiff és Vakil, 2012). Érdeemes megjegyezni, hogy többnyire azokban a vizsgálatokban nem találtak különbséget, ahol lehetőség volt az arcok megfelelő kódolására – pl. nagy méretű arcok, hosszú bemutatási idő alkalmazása (Smith-Spark és Moore, 2009) –, illetve hogy ezekben inkább az arcérzékelés emlékezeti komponensét mérték, mintsem a perceptuális teljesítményt.

PROZOPAGNÓZIÁS ÉS ALEXIÁS SZEMÉLYEK ARC- ÉS SZÓFELDOLGOZÁSI KÉPESSÉGEI

Az újabb eredmények szerint – ahogy fentebb is említettük – a szó- és arcfelismerés neurális háttere részleges átfedésben van (Nestor és mtsai, 2013). A két funkció interdependenciáját illetően fontosak a prozopagnóziás (arcvak) és alexiás személyekkel végzett vizsgálatok. Ha a két funkció tényleg átfedésben van, akkor prozopagnóziában a szavak feldolgozása is károsodást mutat valamilyen mértékben, míg alexiában ez az arcok feldolgozása károsodik. Az eredmények meglehetősen inkonzisztensek, a következőkben ezen vizsgálatok bemutatására kerül sor.

Behrmann és Plaut (2012) prozopagnóziás és alexiás személyek teljesítményét hasonlították össze. Prozopagnóziás személyeknél jobb oldali ventrális lézió állt fenn (a károsodás a jobb inferior temporo-occipitalis lebenyben volt, ez megegyezik a korábbi vizsgálatok által kimutatott, prozopagnóziában károsodott agyterületekkel (Barton 2008), míg a bal félteke intakt volt. Az alexiás személyek esetében bal féltekei ventrális lézió volt kimutatható (a bal inferior temporo-occipitalis lebenytől unilaterálisan),

míg a jobb félteke intakt volt. A prozopagnóziások szófeldolgozása közepes mértékű károsodást mutatott, míg az alexiás személyeknél közepes arcfelismerési deficitet mértek. Ezekből az eredményekből arra következtethetünk, hogy mind a szavakat, mind az arcokat bilaterálisan dolgozza fel az agy (Behrmann és Plaut, 2012).

Egy 2017-es vizsgálatban olyan alexiás személyek vettek részt, akiknél a lézió a bal fusiform gyrust is érintette (Albonico és Barton, 2017), így meg tudták vizsgálni, hogy mi történik az arcfeldolgozással abban az esetben, ha a bal fusiform gyrus sérült, de az arcfelismerés klasszikus modelljei szerint domináns jobb oldali homológ területek érintetlenek. Az alexiások az arcpárosítási feladatban rosszabb teljesítményt mutattak, ami arra utal, hogy a bal oldali occipito-temporalis régiók az olvasáson túl szerepet játszanak az arc identitásfeldolgozásában is, még hozzá nem redundáns módon.

Starrfelt, Klargaard, Petersen és Gerlach (2018) arra voltak kíváncsiak, hogy fejlődési prozopagnóziában károsodott-e az olvasási képesség. Az általuk tesztelt prozopagnóziások ugyanolyan gyorsan és fluensen olvastak, mint a kontrollcsoport tagjai, a szerzők szerint azonban ez annak köszönhető, hogy az arc- és szófelismerés különböző követelményeket támaszt a perceptuális rendszer számára.

Hasonló eredményre jutott Susilo, Wright, Tree és Duchaine (2015): szerzett prozopagnóziásoknál nem találták nyomát szófelismerési zavarnak, ami ellentmond annak az elképzelésnek, mely szerint a szó- és arcfeldolgozást közös mechanizmusok végzik.

Az olvasási képesség szerzett és fejlődési prozopagnóziában lehet ép, míg az arcfelismerés a szerzett és fejlődési diszlexiánál szintén lehet ép, bár az utóbbira gyengébbek a bizonyítékok. Mindez alapján a szó- és arcfelismerés részben legalábbis független folyamatoknak tűnnek (Robotham és Starrfelt, 2017), de fontos szem előtt tartani, hogy mindkét probléma esetén inkább spektrális jellegű károsodásról beszélhetünk, a teljesítménycsökkenés nagy interindividuális különbségeket mutat olvasási zavarban és prozopagnóziában egyaránt.

ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunk célja az volt, hogy áttekintsük a fejlődési diszlexiás személyek arcfeldolgozási képességeit, mivel az újabb kutatások a vizuális információk feldolgozásának érintettségét mutatták ki számos esetben fejlődési diszlexiában (pl. Gabay és mtsai, 2017; Sigurdardottir és mtsai, 2015; Sigurdardottir és mtsai, 2018; Tarkiainen, Helenius és Salmelin, 2003), megerősítve azt a régebbi elképzelést, mely szerint az olvasási zavar a vizuális rendszer zavara (Hinshelwood, 1895). Ezzel kapcsolatban az egyik fő kérdés az, hogy a diszlexiában megjelenő vizuális deficit területspecifikus (tehát csak a szavak feldolgozására korlátozódik) vagy területáttalános, tehát más vizuális ingereket is érint, pl. az arcokat. Az áttekintett szakirodalom alapján úgy tűnik, hogy diszlexiában a fonológiai deficit és az arcészlelési deficit csak egy-egy aspektusa egy kiterjedt zavarnak, ami a nyelvi károsodásoktól egészen a vizuális kategorizáció károsodásáig terjed (Sigurdardottir és mtsai, 2018) és melynek hátterében – legalábbis részben – az egész vizuális rendszer érintettsége felmerül.

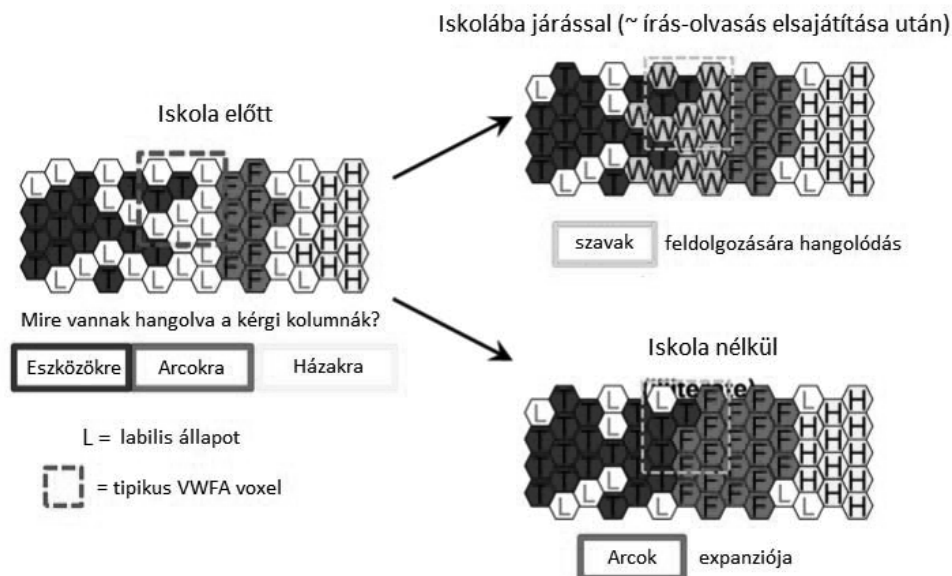
Az összefoglalóban bemutattuk az arcfeldolgozás fejlődését, valamint a diszlexiásokkal végzett nem túl nagy számú kutatás eredményeit, amelyek nem konzisztensek.

Egyes vizsgálatok szerint fejlődési diszlexiában sérült az arcok feldolgozása (Gabay és mtsai, 2017; Richlan és mtsai, 2011; Sigurdardottir és mtsai, 2015; Sigurdardottir és mtsai, 2018; Tarkiainen, Helenius és Salmelin, 2003), míg más vizsgálatok nem tudták ezt az eredményt kimutatni (pl. Brachacki és mtsai, 1994). A vizsgálatok közötti inkonzisztenciára több magyarázat is lehet; az egyik, hogy a különböző vizsgálatokban eltérő nehézségű feladatokat alkalmaznak (túl könnyű feladat esetén nem mutatható ki eltérés a kontroll- és kísérleti csoport között), valamint az is, hogy eltérő ingereket és bemutatási időt használnak az egyes vizsgálatokban, ami azért jelenthet többek között problémát, mert számos eredmény szerint a nagy méretű arcok, ill. hosszabb bemutatási idő mellett könnyebb az arcok kódolása, ez pedig könnyen plafonhatáshoz vezethet (Gabay és mtsai, 2017). Bemutattuk a diszlexiában megjelenő funkcionális és strukturális agyi eltéréseket, utóbbi leginkább a bal temporális lebenyt érinti (Dehaene, 2009).

Az agyi lateralizáció, valamint ennek az egyedfejlődés során végbemenő változásai nem tisztáztak teljes mértékig a vizuális kategorizációban, pl. az arcfeldolgozásban (Adibpour és mtsai, 2017), a vizsgálati eredmények e tekintetben is inkonzisztensek (De Heering és Rossion, 2015), a kérdések megválaszolásához fontos lenne az olvasástanulás előtti időszakban megvizsgálni az arcfeldolgozás folyamatainak lateralizáltságát (Dehaene-Lambertz és mtsai, 2018).

Egy friss longitudinális vizsgálat alapján Dehaene-Lambertz és mtsai (2018) a féltekék szerepét illetően a neuronális újrarahuzalozási hipotézis egy módosított verzióját javasolják. A 2. ábrán a bal féltekei ventrális vizuális rendszer fejlődéséről látható egy sematikus ábra. A hatszögek vagy olyan kérgi kolumnákat ábrázolnak, melyek specializáltak egy-egy kategóriára (eszközök, arcok, házak), vagy pedig olyan kolumnákat, melyek még labilis állapotban vannak, azaz egyetlen kategóriára sem specializáltak. A kép bal oldalán látható, hogy az iskoláskor előtt már vannak olyan kolumnák, melyek egy ingerkategóriára vannak hangolódva, sok olyan kolumna van még azonban, melyek labilis állapotban vannak. Amikor az iskola elkezdődik, néhány kolumna az írott szavakra hangolódik (jobb felül). Amennyiben a személy nem jár iskolába, ugyanezen kolumnák, melyek az előző esetben az írott szavakra hangolódtak, ebben az esetben az arcokra és eszközökre fognak hangolódni, tehát a szomszédos kérgi kolumnák fogják elfoglalni ezen labilis területeket (jobb alul). A modell alapján tehát az látszik, hogy az olvasási képesség elsajátítása megakadályozza a bal féltekében, hogy a labilis kolumnák az arcokra legyenek hangolva, ezáltal a jobb féltekére korlátozva az expanziót. A modell magyarázatot ad arra is, hogy az írni-olvasni nem tudó egyéneknél – összehasonlítva az írni-olvasni tudó emberekkel – az arcra adott válaszok miért nagyobbak a bal féltekében, tehát miért szimmetrikusabb a két félteke aktivációja (Dehaene-Lambertz és mtsai, 2018).

Noha a kutatási területen született tanulmányok száma kevés, és ezek között is több egymásnak ellentmondó eredmény van, mindent mérlegre téve az eddigi viselkedéses és agyi képpalkotó eljárásokkal végzett vizsgálatok alapján inkább az valószínűsíthető, hogy diszlexiában érintett az arcfeldolgozás. Ezt az elképzelést alátámasztják azon eredmények, melyek a fusiform arcterület hipoaktivitását mutatták ki diszlexiában (Sigurdardottir és mtsai, 2015), valamint csökkent BOLD-jelet találtak az extrastriatá-



2. ábra. A bal féltekei ventrális vizuális rendszer fejlődésének sematikus modellje (forrás: Dehaene-Lambertz és mtsai, 2018)

lis kéregben (pl. Langer, Benjamin, Minas és Gaab, 2015; Maisog és mtsai, 2008; Pugh és mtsai, 2000; Wandell, Rauschecker és Yeatman, 2012).

Alapvető igény van minden idegrendszeri, fejlődési probléma esetén, hogy minél korábbi életkorban észrevegyék, hogy a megfelelő intervenció – ha lehetséges – a lehető leghamarabb elkezdődhessen. Ez maradéktalanul igaz a diszlexiára is. Jelenleg azonban a diagnózis felállításához szükséges megfelelő eszközök csak idősebb gyerekek számára elérhetők, akiknek ekkorra már számos negatív tapasztalatuk van az iskolával és az olvasási teljesítményükkel kapcsolatban. Mindez gyakran vezet szociális és pszichológiai problémák sorához (Schulte-Körne és Bruder, 2010), melyet csak súlyosbítanak az egyéb vizuális felismerési, kategorizációs nehézségek, idesorolva az arcfelismerés különböző mértékű károsodását is. A jövő vizsgálatainak egyik gyakorlati célja lehet például az olvasástanulás előtti életkorban egy olyan szűrőteszt kidolgozása – amennyiben nagy mintán sikerül megbízhatóan igazolni pl. az arcfeldolgozási deficitet –, mely nyelvi ingerek nélkül ráterelheti a gyanút a veszélyeztetett gyerekekre, elősegítve ezzel a korai diagnózist.

Összegezve, a jelenleg rendelkezésre álló ismereteink mind arra utalnak, hogy az olvasási zavar hátterében egy magasabb szintű, területáltalános vizuális deficit feltételezhetünk, mely magyarázatot adhat a diszlexiában sérült arcfeldolgozási folyamatokra is (Sigurdardottir és mtsai, 2015).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány az Emberi Erőforrások Minisztériuma (OA: ÚNKP-18-2; NK: Bolyai+ Felsőoktatási Fialat Oktatói, Kutatói Ösztöndíj: ÚNKP-18-4 kódszámú) Új Nemzeti Kiválóság Programjának, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NK: PD18_128361) támogatásával készült.

IRODALOM

- Adams-Price, C. (1992). Eyewitness memory and aging: Predictors of accuracy in recall and person recognition. *Psychology and Aging*, 7(4), 602–608.
- Adibpour, P., Dubois, J., & Dehaene-Lambertz, G. (2017). Right but not left hemispheric discrimination of faces in infancy. *Nature Human Behaviour*, 2(1), 67–79.
- Albonico, A. & Barton, J. J. S. (2017). Face perception in pure alexia: Complementary contributions of the left fusiform gyrus to facial identity and facial speech processing. *Cortex*, 96, 59–72.
- American Psychiatric Association (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*. (4th ed., text rev.) Washington, DC.
- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*. (5th ed.) Washington, DC: Author.
- Arthurs, O. J., & Boniface, S. (2002). How well do we understand the neural origins of the fMRI BOLD signal? *Trends in Neurosciences*, 25, 27–31.
- Baker, C. I., Liu, J. Wald, L. L., Kwong, K. K., Benner, T., & Kanwisher, N. (2007). Visual word processing and experiential origins of functional selectivity in human extrastriate cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 9087–9092.
- Banaschewski, T., & Brandeis, D. (2007). Annotation: what electrical brain activity tells us about brain function that other techniques cannot tell us – a child psychiatric perspective. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(5), 415–435.
- Bank, S., Rhodes, G., Read, A., & Jeffrey, L. (2014). Face and body recognition show similar improvement during childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 137, 1–11.
- Barton, J. J. S. (2008). Structure and function in acquired prosopagnosia: lessons from a series of 10 patients with brain damage. *Journal of Neuropsychology*, 2(1), 197–225.
- Bastien-Toniazzo, M., Stroumza, A. & Cavé, C. (2009). Audio-Visual Perception and Integration in Developmental Dyslexia: An Exploratory Study Using the McGurk Effect. *Current Psychology Letters: Behaviour, Brain and Cognition*, 25(3), 1–15.
- Behrmann, M., & Plaut, D. C. (2012). Bilateral hemispheric processing of words and faces: evidence from word impairments in prosopagnosia and face impairments in pure alexia. *Cerebral Cortex*, 24(4), 1102–1118.
- Behrmann, M., & Plaut, D. C. (2013). Distributed circuits, not circumscribed centers, mediate visual cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(5), 210–219.
- Berényi, E. (2011). *MR képalkotás*. Debreceni Egyetem.
- Betts, J., McKay, J., Maruff, P., & Anderson, V. (2006). The development of sustained attention in children: The effect of age and task load. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 12(3), 205–221.
- Borel-Maisonny, S. (1951). Speech disorders in dyslexia and dysorthography. *Enfance*, 4(5), 400–444.

- Brachacki, G. W., Fawcett, A. J., & Nicolson, R. I. (1994). Adults with dyslexia have a deficit in voice recognition. *Perceptual and Motor Skills*, 78(1), 304–306.
- Carroll, J. M., & Iles, J. E. (2006). An assessment of anxiety levels in dyslexic students in higher education. *British Journal of Educational Psychology*, 76(3), 651–662.
- Carey, S., & Diamond, R. (1994). Are faces perceived as configurations more by adults than by children? *Visual Cognition*, 1, 253–274.
- Clark, K. A., Helland, T., Specht, K., Narr, K. L., Manis, F. R., Toga, A. W., et al. (2014). Neuroanatomical precursors of dyslexia identified from pre-reading through to age 11. *Brain*, 137(12), 3136–3141.
- Cohen, L. B., & Strauss, M. S. (1979). Concept acquisition in the human infant. *Child Development*, 50(2), 419–424.
- Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: The case for the visual word form area. *Neuroimage*, 22(1), 466–476.
- Crookes, K., & McKone, E. (2009). Early maturity of face recognition. No childhood development of holistic processing, novel face encoding, or face=space. *Cognition*, 111(2), 219–247.
- Csépe, V. (2014). Az olvasás rendszere, fejlődése és modelljei. In Cs. Pléh, & Á. Lukács (szerk.), *Pszicholingvisztika 1–2.: Magyar pszicholingvisztikai kézikönyv* (pp. 339–370). Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Csépe, V., Györi, M. & Ragó, A. (2007). *Általános pszichológia 1. Észlelés és figyelem*. Budapest: Osiris Kiadó.
- De Heering, A., Rossion, B., & Maurer, D. (2011). Developmental changes in face recognition during childhood: Evidence from upright and inverted faces. *Cognitive Development*, 27(1), 17–27.
- De Heering, A., & Rossion, B. (2015). Rapid categorization of natural face images in the infant right hemisphere. *eLife*, 4. DOI:10.7554/eLife.06564
- Dehaene, S. (2005). Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: the “neuronal recycling” hypothesis. In S. Dehaene, J. R. Duhamel, M. Hauser, & G. Rizzolatti (Eds), *From Monkey Brain to Human Brain* (pp. 133–157). Cambridge, MA: MIT Press.
- Dehaene, S. (2007). A Few Steps Toward a Science of Mental Life. *Mind, Brain and Education*, 1(1), 28–47.
- Dehaene, S. (2009). *Reading in the brain – The new science of how we read*. New York: Penguin Group.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural Recycling of Cortical Maps. *Neuron*, 56(2), 384–398.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(6), 254–262.
- Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Nunes Filho, G., Jobert, A., et al. (2010). How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science* 330, 1359–1364.
- Dehaene-Lambertz, G., Monzalvo, K., & Dehaene, S. (2018). The emergence of the visual word form: Longitudinal evolution of category-specific ventral visual areas during reading acquisition, *PLOS Biology*, 16(3). DOI: 10.1371/journal.pbio.2004103
- DiCarlo, J. J. & Cox, D. D. (2007). Untangling invariant object recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(8), 333–341.
- Dundas, E. M., Plaut, D. C., & Behrmann, M. (2013). The joint development of hemispheric lateralization for words and faces. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 348–358.
- Eden, G. F. F., Stein, J. F. F., Wood, H. M. M., & Wood, F. B. B. (1994). Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children. *Vision Research*, 34(10), 1345–1358.

- Enroth-Cugell, C., & Robson, J. G. (1966). The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. *The Journal of Physiology*, 187(3), 517–52.
- Eviatar, Z., Hellige, J. B., & Zaidel, E. (1997). Individual differences in lateralization: Effects of gender and handedness. *Neuropsychology*, 11(4), 562–576.
- Facoetti, A., Zorzi, M., Cestnick, L., Lorusso, M. L., Molteni, M., Paganoni, P., et al. (2006). The relationship between visuospatial attention and nonword reading in developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 23(6), 841–855.
- Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, M., & Tanaka, J. N. (1998). What is “special” about face perception? *Psychological Review*, 105(3), 482–498.
- Farah, M. J., Rabinowitz, C., Quinn, G. E., & Liu, G. T. (2000). Early commitment of neural substrates for face recognition. *Cognitive Neuropsychology*, 17(1), 117–123.
- Fischer, B., & Hartnegg, K. (2000). Stability of gaze control in dyslexia. *Strabismus*, 8(2), 119–122.
- Gabay, Y., Dundas, E., Plaut, D., & Behrmann, M. (2017). Atypical perceptual processing of faces in developmental dyslexia. *Brain Lang*, 173, 41–51.
- Gabay, Y., Schiff, R., & Vakil, E. (2012). Attentional requirements during acquisition and consolidation of a skill in normal readers and developmental dyslexics. *Neuropsychology*, 26(6), 744.
- Gauthier, I., James, T. W., Curby, K. M., & Tarr, M. J. (2003). The influence of conceptual knowledge on visual discrimination. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 507–523.
- Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature Neuroscience*, 3(2), 191–197.
- Georgiou, G. K., Papadopoulos, T. C., Zarouna E., & Parrila, R. (2012). Are Auditory and Visual Processing Deficits Related to Developmental Dyslexia? *Dyslexia*, 18(2), 110–129.
- Giraldo-Chica, M., Hegarty, J. P., & Schneider, K. A. (2015). Morphological differences in the lateral geniculate nucleus associated with dyslexia. *NeuroImage Clinical*, 20(7), 830–836.
- Golarai, G., Liberman, A., Yoon, J. M., & Grill-Spector, K. (2010). Differential development of the ventral visual cortex extends through adolescence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3, 1–19.
- Goswami, U. (2015). Sensory theories of developmental dyslexia: three challenges for research. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(1), 43–54.
- Gósy, M. (2005). *Pszicholingvisztika*. Budapest: Osiris Kiadó.
- Harries, P., Hall, R., Ray, N., Stein, J., Griffiths, P. G., Harries, P., et al. (2015). Using coloured filters to reduce the symptoms of visual stress in children with reading delay. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 22(2), 1–8.
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(6), 223–233.
- Heim, S., Tschierse, J., Amunts, K., Wilms, M., Vossel, S., Willmes, K., et al. (2008). Cognitive subtypes of dyslexia. *Acta Neurobiologiae Experimentalis (Wars)*, 68(1), 73–82.
- Hills, P. J., & Lewis, M. B. (2018). The development of face expertise: Evidence for a qualitative change in processing. *Cognitive Development*, 48, 1–18.
- Hinshelwood, J. (1895). Word-blindness and visual memory. *Lancet*, 146(3773), 1564–1570.
- Illyés, S. (2000). *Gyógypedagógiai alapismeretek*. Budapest: ELTE-BGGYFK, 241–258.
- Jainta, S., & Kapoula, Z. (2011). Dyslexic Children Are Confronted with Unstable Binocular Fixation while Reading. *PLoS ONE*, 6(4).
- Jobard, G., Crivello, F., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading: a meta-analysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage*, 20(2), 693–712.
- Johnson, M. H. (2001). Functional brain development in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(7), 475–483.

- Kitterle, F. L., & Selig, L. M. (1991). Visual field effects in the discrimination of sine-wave gratings. *Perception és PsychoPhysics*, 50(1), 15–18.
- Langer, N., Benjamin, C., Minas, J., & Gaab, N. (2015). The neural correlates of reading fluency deficits in children. *Cereb Cortex*, 25(6), 1441–1453.
- Laycock, R., & Crewther, S. G. (2008). Towards an understanding of the role of the ‘magnocellular advantage’ in fluent reading. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(8), 1494–1506.
- Leroy, F., Glasel, H., Dubois, J., Hertz-Pannier, L., Thirion, B., Mangin, J.-F., et al. (2011). Early Maturation of the Linguistic Dorsal Pathway in Human Infants. *Journal of Neuroscience*, 31(4), 1500–1506.
- Levy, I., Hasson, U., Avidan, G., Hendler, T., & Malach, R. (2001). Center-periphery organization of human object areas. *Nature Neuroscience*, 4(5), 533–539.
- Literacy Statistics Metadata Information Table*. UNESCO Institute for Statistics. September 2015.
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular deficit in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 88, 7943–7947.
- Logothetis, N. K. (2008). What we can do and what we cannot do with fMRI. *Nature*, 453(7197), 869–878.
- Lutz, W., & Scherbov, S. (2006). *Global Age-specific Literacy Projections Model (GALP): Rationale, Methodology and Software*. Programme and meeting document, Montréal: UNESCO Institute for Statistics.
- Maisog, J. M., Einbinder, E. R., Flowers, D. L., Turkeltaub, P. E., & Eden, G. F. (2008). A meta-analysis of functional neuroimaging studies of dyslexia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1145(1), 237–259.
- Maughan, B., Pickles, A., Hagell, A., Rutter, M., & Yule, W. (1996). Reading problems and antisocial behaviour: developmental trends in comorbidity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(4), 405–418.
- Merigan, W. H., & Maunsell, J. H. (1993). How parallel are the primate visual pathways? *Annual Review of Neuroscience*, 16, 369–402.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6(10), 414–417.
- Morton, J. & Johnson, M. H. (1991). CONSPEC and CONLERN: A Two-Process Theory of Infant Face Recognition. *Psychological Review*, 98(2), 164–181.
- Mowforth, P., Mayhew, J. E., & Frisby, J. P. (1981). Vergence eye movements made in response to spatial-frequency-filtered random-dot stereograms. *Perception*, 10(3), 299–304.
- Nestor, A., Behrmann, M., & Plaut, D. C. (2013). The neural basis of visual word form processing a multivariate investigation. *Cereb Cortex*, 23(7), 1673–1684.
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (2007). Procedural learning difficulties reuniting the developmental disorders. *Trends in Neurosciences*, 30(4), 135–141.
- Pascalis, O., De Schonen, S., Morton, J., Deruelle, C., & Fabre-Grenet, M. (1995). Mother’s face recognition by neonates: a replication and an extension. *Infant Behavior and Development*, 18(1), 79–85.
- Pearson, D. A., & Lane, D. M. (1991). Visual attention movements: A developmental study. *Child Development*, 61(6), 1779–1795.
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, et al. (2000). Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(3), 207–213.
- Rakic, P. (1988). Specification of cerebral cortical areas. *Science*, 241(4862), 170–176.
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 212–218.

- Raschle, N. M., Zuk, J., & Gaab, N. (2012). Functional characteristics of developmental dyslexia in left-hemispheric posterior brain regions predate reading onset. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(6), 2156–2161.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422.
- Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H. (2011). Meta-analyzing brain dysfunctions in dyslexic children and adults. *NeuroImage*, 56(3), 1735–1742.
- Robotham, R. J., & Starrfelt, R. (2017). Face and Word Recognition Can Be Selectively Affected by Brain Injury or Developmental Disorders. *Frontiers in Psychology*, 6, 1547.
- Salmelin, R., Service, E., Kiesila, P., Uutela, K., & Salonen, O. (1996). Impaired visual word processing in dyslexia revealed with magnetoencephalography. (Comparative Study) *Annals of Neurology*, 40(2), 157–162.
- Saygin, Z. M. et al. (2016). Connectivity precedes function in the development of the visual word form area. *Nature Neuroscience*, 19(9), 1250–1255.
- Schulte-Körne, G., & Bruder, J. (2010). Clinical neurophysiology of visual and auditory processing in dyslexia: A review. *Clinical Neurophysiology*, 121(11), 1794–1809.
- Segalowitz S. J. (1987). Individual Differences in Hemispheric Specialization: Sources and Measurement. In Glass A. (Ed.), *Individual Differences in Hemispheric Specialization*. NATO ASI Series (Series A: Life Sciences), vol. 130. Boston, MA: Springer. DOI: 10.1007/978-1-4684-7899-0_2
- Seghier, M. L. (2013). The Angular Gyrus: Multiple Functions and Multiple Subdivisions. *The Neuroscientist*, 19(1), 43–61.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K.R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., és mtsai, (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biol. Psychiatry*, 52(2), 101–110.
- Siegel, L. (2006). Perspectives on dyslexia. *Pediatrics & Child Health*, 11(9), 581–587.
- Sigurdardóttir, H. M., Danielsdóttir, H. B., Gudmundsdóttir, M., Hjartarson, K. H., Thorarinsdóttir, E. A., & Kristjánsson, Á. (2017). Problems with visual statistical learning in developmental dyslexia. *Scientific Reports*, 7(1), 606.
- Sigurdardóttir, H. M., Fridriksdóttir, L. E., Gudjonsdóttir, S., & Kristjánsson, Á. (2018). Specific problems in visual cognition of dyslexic readers: Face discrimination deficits predict dyslexia over and above discrimination of scrambled faces and novel objects. *Cognition*, 175, 157–168.
- Sigurdardóttir, H. M., Ívarsson, E., Kristinsdóttir, K., & Kristjánsson, Á. (2015). Impaired Recognition of Faces and Objects in Dyslexia: Evidence for Ventral Stream Dysfunction? *Neuropsychology*, 29(5), 739–750.
- Silveira, L. C. L. & Perry, V. H. (1991). The topography of magnocellular projecting ganglion cells (M-ganglion cells) in the primate retina. *Neuroscience*, 40(1), 217–237.
- Skottun, B. C. (2000). The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. *Vision Research*, 40(1), 111–127.
- Smith-Spark, J. H., & Moore, V. (2009). The representation and processing of familiar faces in dyslexia: differences in age of acquisition effects. *Dyslexia*, 15(2), 129–146.
- Souther, A., & Banks, M. (1979). The human face: A view from the infant's eye. *Paper presented at the meeting of the Society for Research in Child Development*, San Francisco.
- Starrfelt, R., Klargaard, A. K., Petersen A., & Gerlach, C. (2018). Reading in developmental prosopagnosia: Evidence for a dissociation between word and face recognition. *Neuropsychology*, 32(2), 138–147.
- Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 12–36.

- Stein, J. (2014). Dyslexia: the Role of Vision and Visual Attention. *Current Developmental Disorders Reports, 1*(4), 267–280.
- Stein, J. (2018). The current status of the magnocellular theory of developmental dyslexia. *Neuropsychologia*. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.022
- Susilo, T., Wright, V., Tree J. J., & Duchaine, B. (2015). Acquired prosopagnosia without word recognition deficits. *Cognitive Neuropsychology, 32*(6), 321–339.
- Tarkiainen, A., Helenius, P., & Salmelin, R. (2003). Category-specific occipitotemporal activation during face perception in dyslexic individuals: An MEG study. *Neuroimage, 19*(3), 1194–1204.
- Turkeltaub, P. E., Gareau, L., Flowers, D. L., Zeffiro, T.A., & Eden, G. F. (2003). Development of neural mechanisms for reading. *Nat. Neurosci, 6*(7), 767–773.
- Valdois, S., Bosse, M. L., Ans, B., Carbonnel, S., Zorman, M., David, D., et al. (2003). Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing, 16*(6), 541–572.
- Valdois, S., Bosse, M. L., & Tainturier, M. J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia, 10*(4), 339–363.
- Valdois, S., Peyrin, C., & Baciú, M. (2008). The neurobiological correlates of developmental dyslexia. In S. Fuchs, H. Loevenbruck & D. Pape: *Some aspects of speech and the brain*. Peter Lang Verlag.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 45*(1), 2–40.
- Wandell, B. A., Rauschecker, A. M., & Yeatman, J. D. (2012). Learning to see words. *Annual Review of Psychology, 63*, 31–53.
- Want, S. C., Pascalis, O., Coleman, M., & Blades, M. (2003). Facefacts: Is the development of face recognition in middle childhood really so special? In O. Pascalis (Ed.), *The development of face processing in infancy and early childhood: Current perspectives* (pp. 207–221). Hauppauge, NY: Nova Science Publishers,
- Wimmer, H., Schurz, M., Sturm, D., Richlan, F., Klackl, J., Kronbichler, M., et al. (2010). A dual-route perspective on poor reading in a regular orthography: an fMRI study. *Cortex, 46*(10), 1284–1298.
- Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology, 81*(1), 141–145.

FACE RECOGNITION PROCESSES IN DEVELOPMENTAL DYSLEXIA

OLÁH, ADRIENN RÉKA – NÉMETH, KORNÉL

In addition to the reading problems, results of recent studies regarding developmental dyslexia frequently show decreased performance in tasks that involve executive function, working memory, and normal visual processes. Aberration in visual domain suggests a complex, higher level neural deficit in perception which probably cannot relate exclusively to the left or the right hemisphere; and the dyslexia is presumably only the most salient feature of this visual malfunction. According to a meta-analysis published in 2011, the hypoactivity of the left fusiform gyrus is unequivocal in dyslexia, while the role of the right homologous area – which is the main center of the normal face recognition – is not clear. Similarly, the role of the left fusiform gyrus is not manifest in face recognition. In this review we will summarize the results of the studies that investigate the interconnection between neural networks of face recognition and reading.

Keywords: *developmental dyslexia, face recognition, ventral pathway, reading disorder*

A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID_1)