



# A szegregált látórendszer vizsgálata

---

Ph.D. Tézis

Dr. Csete Gergő

Neurológiai Klinika, Szent-Györgyi Albert Klinikai Központ,  
Szegedi Tudományegyetem

Szeged  
2016

# A szegregált látórendszer vizsgálata

---

PhD Tézis

Dr. Csete Gergő

Klinikai és Kísérletes Idegtudományi Program,  
Klinikai Orvostudományi Doktori Iskola,  
Általános Orvostudományi Kar, Szegedi Tudományegyetem

Témavezető: Dr. Kincses Zsigmond Tamás, PhD, Habil.  
Egyetemi docens  
Neurológiai Klinika, Szent-Györgyi Albert Klinikai Központ,  
Szegedi Tudományegyetem

Szeged  
2016

## **Publikációk**

### **A tézishez kapcsolódó cikkek**

- I. Kaposvari P , Csete G , Bognar A , Csibri P , Toth E , Szabo N , Vecsei L , Sary G , Tamas Kincses Z  
**Audio-visual integration through the parallel visual pathways.**  
 BRAIN RESEARCH 1624: pp. 71-77. (2015), IF: 2.561
- II. Csete G , Bognar A , Csibri P , Kaposvari P , Sary G  
**Aging alters visual processing of objects and shapes in inferotemporal cortex in monkeys.**  
 BRAIN RESEARCH BULLETIN 110C: pp. 76-83. (2015), IF: 2.572
- III. Csete G , Szabo N , Rokszin A , Toth E , Braunitzer G , Benedek G , Vecsei L , Tamas Kincses Z  
**An investigation of the white matter microstructure in motion detection using diffusion MRI.**  
 BRAIN RESEARCH 1570: pp. 35-42. (2014), IF: 2.843

### **A tézishez közvetlenül nem kapcsolódó cikkek**

- I. Kiraly A, Szabo N, Toth E, Csete G, Farago P, Kocsis K, Must A, Vecsei L, Kincses ZT.  
**Male brain ages faster: the age and gender dependence of subcortical volumes**  
 BRAIN IMAGING BEHAV. 2016 Sep;10(3):901-10, IF: 3.667
- II. Kincses ZT , Toth E , Banko N , Vereb D , Szabo N , Csete G , Farago P , Kiraly A , Bencsik K , Vecsei L  
**Grey matter atrophy in patients suffering from multiple sclerosis**  
 IDEGGYÓGYÁSZATI SZEMLE / CLINICAL NEUROSCIENCE 67:(9-10) pp. 293-300. (2014), IF: 0.386
- III. Kincses ZT , Horinek D , Szabo N , Toth E , Csete G , Stepan-Buksakowska I , Hort J , Vecsei L  
**The pattern of diffusion parameter changes in Alzheimer's disease, identified by means of linked independent component analysis.**  
 JOURNAL OF ALZHEIMERS DISEASE 36:(1) pp. 119-128. (2013), IF: 3.612
- IV. Szabo N , Kincses ZT , Pardutz A , Toth E , Szok D , Csete G , Vecsei L  
**White matter disintegration in cluster headache.**  
 JOURNAL OF HEADACHE AND PAIN 14:(1) Paper 64. 6 p. (2013), IF: 3.281
- V. Kaposvári P , Csibri P , Csete G , Tompa T , Sárý G  
**Auditory modulation of the inferior temporal cortex neurons in rhesus monkey**  
 PHYSIOLOGICAL RESEARCH 60:(Suppl. 1) pp. S93-S99. (2011), IF: 1.555

## **Bevezetés**

A külvilágról való ismereteink nagy részét látás útján szerezzük. Az ép látórendszer elengedhetetlen az élethez és az optimális megismeréshez. Betegségeihez köthető eltérések megértéséhez lényeges a rendszer alapos ismerete, mely hozzájárul az emberi fejlődés megértéséhez, a diagnosztikában és a terápia során alkalmazható biomarkerek azonosításához. Ennek elősegítése érdekében alapvető fontosságú a teljes rendszer tanulmányozása a neuronok szintjétől egészen a globális, hálózatos működés összességéig.

A tárgyról visszaverődő fény a szaruhártyán és a lencsén áthaladva érkezik meg a retinához, ahol a fototranszdukció megtörténik. Az elsődleges feldolgozás után a ganglionsejtek információja a corpus geniculatum laterale-ba (CGL) szállítódik, ahol három elkülönült funkcionális alrendszer, a magnocelluláris (M), a parvocelluláris (P) (és a koniocelluláris (K) <sup>1</sup>) rendszer található. Az M-sejtek jól válaszolnak mozgó stimulusokra, sebességre, térbeli elhelyezkedésre és nagy az érzékenyséjük az alacsony kontraszthoz. Ezzel szemben a P-sejtek inkább a szín, forma és magasabb téri frekvenciákat preferálják (Skottun, 2015). Az idegrostok a radiatio optica-n keresztül a sulcus calcarinus területére vetülnek. Az occipitális polúsnál a retinális információ pontról pontra leképződik. A retinából érkező rostok mindvégig megtartják egymáshoz való relatív pozíciójuk, megteremtve ezzel a retinotópikus organizációt. A magno- és parvocelluláris rendszer axonkötegei mindvégig elkülönülten kezelődnek és különböző mélységben érik el a primer vizuális kérget. Orientációs és okuláris dominancia oszlopok illetve „blob”-ok építik föl a V1-et. Mindezek együttesen egy virtuális neuron-kockát, az úgynevezett hyperkolumnát hozzák létre (Hubel and Wiesel, 1968), mely a látott kép alapvető építőelemeit, vonásait dolgozza fel (pl. vonalak, szín, orientáció). Az elsődleges látókéregből az információ két fő utvonalon, a parietális és temporális lebeny felé továbbítódik, a dorzális és ventrális úton, melyeket hagyományosan 'hol' és 'mi' pályaként emlegetünk (Haxby et al., 1991; Ungerleider and Haxby, 1994). A két végső feldolgozó állomás a mediális-temporális (MT) és az inferior-temporális kéreg (IT) lehet. Az MT régiója érzékeny mozgásra és mélységre illetve vizuo-spaciális feladatokban aktiválódik. A magasabb rendű észlelés, mint a globális mozgás érzékelés úgy tűnik, hogy az MT régióhoz, a superior temporalis cortex medialishoz (MST) és a superior

---

<sup>1</sup> A koniocelluláris rendszer nem képezte vizsgálatunk tárgyát, így további részletezésétől eltekintünk.

temporalis cortex fundusához (FST) köthető, mely hasonló tulajdonságokat hordoz mind majomban, mind emberben (Morrone et al., 2000), illetve úgy tűnik, hogy együttesen egy funkcionális komplexumot képeznek: V5/MT+ (Boussaoud et al., 1990; Morrone et al., 2000). Jelen terület direkt bementetet kap a V1 (Felleman and Van Essen, 1991; Maunsell and van Essen, 1983), a CGL (Sincich et al., 2004), és bizonyos extrastriális régiótól, mint például a V2 (Lewis and Van Essen, 2000) felől. Ezen neuronok főleg binocularis reprezentációval rendelkeznek, receptív mezejük relative nagy ( $\sim 15-20^\circ$ , (Angelucci et al., 2002), és lényeges szerepük van a mozgás és irányultság érzékelésében (Chawla et al., 1998).

Az IT jelen ismereteink szerint az utolsó unimodális állomása a ventrális látópályának (Ungerleider, 1982) mely bemenetét főleg a V4 és az inferiotemporalis kéreg hátsó része (TEO) (Baleydier and Morel, 1992; Merigan, 1996; Morel and Bullier, 1990) felől kapja. Ezen sejtek receptív mezeje  $50-60^\circ$  körüli és a látott világ binokuláris reprezentációját tartalmazza. Az itteni neuronok legjobban összetett, színes ingerekre válaszolnak (Desimone et al., 1984). Alakszelektivitást mutatnak, vagyis egyes alakzatokra erősebben, míg másokra gyengébben reagálnak (Desimone et al., 1984; Gross et al., 1972; Tanaka et al., 1991) illetve erős állandóságot mutatnak bizonyos módosításokkal szemben (Sáry et al., 1993). Szoros összefüggést mutat a percepcióval is. Elektromos mikrostimulációja befolyásolja az arc-nem arc kategorizációt (Afray et al., 2006), illetve a humán észlelés modellezése hasonló setjaktivitás mintázatot mutat (Allred et al., 2005). Továbbá binokuláris rivalizációs paradigmával (Leopold and Logothetis, 1996; Sheinberg and Logothetis, 1997) bizonyított, hogy a vizuális percepció és az IT aktivitása szorosan összefügg.

## **Célkitűzések**

Vizsgálataink során célul tűztük ki a látórendszer különböző szintjeinek vizsgálatát alternatív módszerek segítségével. A következő kérdésekre kerestük a választ:

- Hogyan változik a vizuális ingerek neuronális kódolása az öregedés kapcsán?
- Mi lehet a mozgásérzékelés fehérállományi háttere?
- Double-flash illúzió segítségével azonosíthatók-e a szétvált látópálya komponensei?

## **Az öregedés hatása a tárgy és alaklátás folyamatára a majom inferotemporalis kérgében**

Kognitív funkciók, beleértve a látást is, az öregedés folyamán romlanak. Pszichofizikai vizsgálatok tanúsága szerint csökken látásélességük, kontraszt érzékenységük és kontúr integrációjuk (Hutman and Sekuler, 1980; Roudaia et al., 2008; Sekuler et al., 1980). Hasonlóképpen rosszabb mozgásérzékenységet, beleértve a látszólagos mozgás megélését, valamint gyengébb orientáció megítélési képességet mutat (Bennett et al., 2007; Betts et al., 2007; Roudaia et al., 2010)(reviewért lásd: (Andersen, 2012). Tanulmányok emellett az alaklátás és a formák közti különbségtevés (Habak et al., 2009; McKendrick et al., 2010; Weymouth and McKendrick, 2012) és háttér-alakzat elkülönítés (Chee et al., 2006) érintettségét jelzik, azonban ezen eltérések mögötti mechanizmusok nem kellően tisztázottak. Sok tanulmány vizsgálta már a vizuális funkciók öregedéshez köthető változásait (Liang et al., 2010; Schmolesky et al., 2000; Spear, 1993; Wang et al., 2006; Wang, 2001; Yang et al., 2008; Yang et al., 2009; Yu et al., 2006), azonban az inferotemporalis kéreg tárgy- és alaklátásban betöltött funkciójának öregedéssel kapcsolatos elektrofiziológiai vizsgálata még várat magára.

### **Módszerek**

Majom egysejt-regisztrációból származó adatokat hasonlítottunk össze két csoport esetén: 7 éves és 27-33 éves egyedeknél (megfeleltetve 21 és 81-99 éves embereknek). Minden résztvevő (*Macaca mulatta*) a laboratórium korábbi vizuális vizsgálataiban vett részt. Az állatok hagyományos fixációs feladatot végeztek (stimulus-készletért lásd: (Sary et al., 2006). Az implicit tanulás okozta torzító hatás csökkentése érdekében a mintát az állatok 'túledzett'-nek nevezett időszakából vettük, minden állat > 90% feletti teljesítményt mutatott. A beválasztott 4 majom a vizsgálatok során 6 és 9 kg között volt. A fiatal csoportban 2 hím egyed, az öreg csoportba 2 nőstény majom volt. A kísérletek előtt mindegyikük aszeptikus műtéten ment keresztül, mely során rozsdamentes acél fejrögzítő csap illetve a conjunctiva alá rézhurok került beültetésre (Judge et al., 1980). Minden sejtaktivitás regisztrálása során 20 inger, geometriai és 3D-os színes valós világi alakzatok voltak felhasználva (Sáry et al., 2004). Minden inger esetén 10 sikeres trial került rögzítésre semi-random elrendezésben. A sejtaktivitás standard elektrofiziológiai

módszerekkel regisztráltuk, az adatokat offline elemeztük. Minden eljárás során a NIH útmutatása szerint jártunk el, a Szegedi Tudományegyetem Etikai Bizottságának jóváhagyásával.

## Eredmények

Négy állat 288 sejtjének aktivitását regisztráltuk. Két csoportot alakítottunk ki, egy fiatal egyedekből állót (2 darab 7 éves majom, sejtszám: 221) és öreget (27 és 33 éves állatok, sejtszám: 67). Az adatokat Mann-Whitney U teszt segítségével hasonnyítottuk össze.

Az alapaktivításban, a jel-zaj arányban, a Fano-faktorban, és a nettó tüzelési rátában nem találtunk lényeges különbséget. Azonban lényeges különbséget találtunk a latenciában, fiatal és öreg egyedek esetén 128.73 (96.88 - 161.86) ms és 147.20 (124.54 - 179.83) ms;  $U = 4101.00$ ;  $p_{corr} < 0.05$ . Szelektivitási indexnél (SI) hasonlóképpen ( $U = 4810.50$ ;  $p_{corr} < 0.001$ ) csoportonként : 0.89 (0.69 - 0.97) és 0.76 (0.47 - 0.90). Sparseness index (SP) esetén a fiatal és öreg csoportban (0.47 (0.28 - 0.73) és 0.75 (0.56 - 0.90)), lényeges különbséget találtunk ( $U = 4245.50$ ;  $p_{corr} < 0.001$ ). DSI szignifikáns eltérést mutatott (0.60 (0.44 - 0.79) vs. 0.46 (0.31 - 0.68);  $U = 5197.00$ ;  $p_{corr} < 0.01$ ).

Az egyenlőtlen elemszámok okozta torzító hatás kivédésére véletlenszerűen 22 sejtet választottunk ki, csoportonként 44-et, a továbbiakban ezen eseteket vizsgáltuk. A sejtválaszok megjelenésében így is releváns eltérést találtunk 124.85 (97.00 - 161.74) ms és 154.51 (129.33 - 178.64) ms, ( $U = 567.00$ ;  $p_{corr} < 0.01$ ). Hasonlóképp SI lényeges különbséget mutatott ( $U = 713.50$ ;  $p < 0.034$ ) azonban a Bonferroni korrekció ezen eredményt elfedte ( $p_{corr} < 0.27$ ). Ezen hatás kivédése érdekében nonparametrikus permutációs tesztet használtunk 5000 iterációval, így az eredményt a továbbiakban sem vetettük el ( $p_{permutation} < 0.027$ ), értékek: 0.90 (0.69 - 0.97) vs. 0.81 (0.51 - 0.92). A DSI paraméternél az előzővel megegyezően ( $U = 670.00$ ;  $p < 0.013$ ,  $p_{corr} < 0.10$ , mely a randomizáció után szignifikáns különbség adódott ( $< 0.02$ ). Az SP szignifikánsan különbözött ( $U = 587.00$ ;  $p_{corr} < 0.05$ ): 0.46 (0.29 - 0.73) vs. 0.75 (0.51 - 0.88) a fiatal és öreg csoport között.

## **A mozgás detekció fehérállományi mikrostrukturális vizsgálata diffúziós MRI segítségével**

A mozgásérzékelés alapjai a látórendszer különféle szintjein található. A retina ganglion-sejtjeinek alcsoportjai különbözőképpen reagálnak mozgó fényre, egyesek aktivitásfokozással, míg mások csökkentéssel válaszolnak (Sivyer et al., 2010). Hasonlóképp a CGL (Stanley et al., 2012), az occipitális kéreg (Beckett et al., 2012) és néhány peri- and parastriális terület (Larsson et al., 2010; Sary et al., 1995) neuronjai válaszolnak a receptív mezőjükben megjelenő mozgó ingerre. Magasabb rendű központja vélhetőleg a V5/hMT+ területe (Boussaoud et al., 1990; Morrone et al., 2000), mely lényeges szerepet játszik a mozgás és mélységérzékelésben, a szemmozgásokban, a sebesség érzékelésében, mozgásminták felismerésében és a mozgás irányultságának integrációjában (Born and Bradley, 2005), téri tulajdonságok feldolgozásában (Lui and Rosa, 2015) és a formák mozgásból való kiemelésében (Siegel and Andersen, 1988). V5/MT-ről való ismereteink nagy részét majom elektrofiziológiai vizsgálatokból, emberi fMRI és PET vizsgálatokból ismerjük. Ezen tudás nagyrésze funkcionális jellegű, azonban keveset tudunk a fehérállományi strukturális háttéréről.

### **Módszerek**

16 egészséges önkéntes vett részt a vizsgálatban (átlag életkor. 26.5 (21-40 év); 9 nő, 11 jobb kezes, átlagos BMI =  $22.05 \pm 4.22$ ). Egyikük sem szenvedett semmilyen neurológiai vagy pszichiátriai betegségben. Minden résztvevőnek normális, vagy normálisra korrigált látása volt (5/5). Vizsgálatainak a helyi Etikai Bizottság jóváhagyásával végeztük (Ref. no.: 87/2009).

Random-dot-kinematogram paradigma segítségével meghatároztuk az alanyok mozgásérzet küszöbértékét; azt a pontot, ahol a véletlenszerűnek tűnő mozgó pontoknál irányultságot sikerült felfedezni az alanyoknak. Szürke háttér előtt, tőlük 0.5 méter távolságra levő LCD kijelzőn 100 fekete, véletlenszerű mozgást produkáló 10 pixel (~3mm) átmérőjű pontok esetén kellett az alanyoknak észlelni jobbra vagy balra irányuló mozgást. Az abszolút küszöbérték meghatározásához adaptív QUEST algoritmust használtunk (Watson and Pelli, 1983). (A pszichofizikai feladat további részleteiért lásd: (Braunitzer et al., 2012)).



Minden alanyról 3D T1 súlyozott 1 mm-es szeletvastagságú, nagyfelbontású strukturális és 60 gradiens irányú diffúzió-súlyozott, 2.4 mm x 2.4 mm x 2.4 mm-es voxel nagyságú, kétszeres ismétléssel készült felvételt készítettünk a szegedi 1.5 Tesla térerejű General Electric gyártmányú (GE Signa Excite HDxt Scanner) MR készülék segítségével.

Az adatok feldolgozásához az oxfordi fejlesztésű FSL programcsomagot használtuk (<http://www.fmrib.ox.ac.uk/fsl>). A statisztikai elemzéshez pálya alapú térbeli statisztikát alkalmaztunk (TBSS algoritmus) (Smith et al., 2007), majd a kapott eredmények pályarendszerekkel való kapcsolatának vizsgálatához valószínűségi traktográfiát (Behrens et al., 2007) futtattunk. A TBSS algoritmus lényege, hogy a fehérállományi rostok 1 voxel vastagságú közepét összeregisztálva, jobb összehasonlítást lehetővé téve, vizsgálható a fehérállományi integráció. Ennek eredményeként a regisztráció során készült váz (skeleton) egyes voxeleinek diffúziós paramétereit korreláltatjuk a viselkedési adatokkal. A statisztikai analízist non-parametrikus permutációs teszttel végeztük (5000 permutáció). A szignifikáns korrelációt mutató voxelekből valószínűségi traktográfiát indítottunk.

## Eredmények

Az átlagos mozgásérzékelési küszöb  $18.87 \pm 5.79$  % volt. A mozgásérzet-küszöbértékek a jobb oldali gyrus frontalis superior hátsó részénél található kéreg alatti kötegek ( $p < 0.0032$ , nem korrigált) (véltetőleg a frontal eye field -FEF) és a bal parieto-occipito-temporalis határon levő mély agyi fehérállománnyal ( $p < 0.0032$ , nem korrigált) mutatott kapcsolatot. Emellett összefüggés mutatkozott a bal gyrus temporalis superior ( $p < 0.0026$ , nem korrigált) és a parietális lebeny felső részénél ( $p < 0.001$ , nem korrigált) a kortikális határon lévő voxeleknél illetve az occipitális pólus ( $p < 0.0036$ , nem korrigált) közelében.

Az eredményül kapott voxel-clusterekből futtatott pályajelölések a temporális, frontális és parietális lebenyek fehérállományi hálózatrendszerét tárta fel. A parietálisan indított analízisek a figyelmi hálózatok feltételezhető kapcsolatait mutatta meg. A temporális és parietális területek frontális kisugárzását a fasciculus arcuatus kirajzolódása sugallja. A fasciculus longitudinalis superior (FLS) a feltételezett FEF felé adott kapcsolatokat.

## **Az audio-vizuális integráció a párhuzamos látópályákon**

Egy rövid felvillanás egyidőben adott két rövid hanggal egy második felvillanás érzetét kelti, melyet double flash illúzióknak nevezünk. Ezen fenomén első leírása óta (Wilson, 1987) többen vizsgálták a lehetséges hátterét. Kiváltott válasz vizsgálatok felvetették a hangi információ vizuális kérgi modulációját (Shams et al., 2001; Teder-Salejari et al., 2002) és az illúzió felvillanásához köthető gamma oscillációt a primer látókéreg felett (Bhattacharya et al., 2002; Mishra et al., 2007). Funkcionális MRI tanulmányok a colliculus superior, a primer látókéreg, a jobb sulcus temporalis superior (STS) aktivitását mutatták (Watkins et al., 2006). Korábbi vizsgálatok felvetették az illúzió dorzális pályarendszerhez kötöttségét. Kérdéses, hogy mindkét pályarendszeren kiváltható-e az illúzió? A látórendszer alegységei közt különbség tehető a kontraszt mértéke szerint, magas kontrasztos és színes ingerek dominálón a ventrális pályán, alacsony kontrasztos stimulusok főleg a dorzális pályán integrálódnak (Brannan and Bodis-Wollner, 1991; Legge, 1978). Kérdéses a lehetséges fehérállományi háttér.

### **Módszerek**

16 egészséges önkéntes alany vett részt a vizsgálatban (átleg életkor 27.4; 10 nő). Egyikük sem szenvedett semmilyen neurológiai vagy pszichiátriai betegségben. Minden résztvevőnek normális, vagy normálisra korrigált látása (5/5), és jó színlátása volt. Vizsgálatainak a helyi Etikai Bizottság jóváhagyásával végeztük (Ref. no.: 87/2009). Képi, hangi és ezek kombinációjából álló stimulusok esetén az alanyoknak jeleznie kellett, hogy észlelik-e a double-flash illúziót, majd pedig ezen egyéni érzékenységből a szignál detekciós teória segítségével meghatározható, hogy adott kvalitás milyen mértékben járul hozzá az illúzió kialakításához. Vizuális stimulusként isolumináns (zöld háttér előtt piros kör) és alacsony kontrasztos (világosszürke kör sötétebb tónusú háttérrel) ingereket használtunk. A hangszórót a monitorral megegyező oldalon, az alanyokkal szemben helyeztük el. Hat szubkondíciót alkalmaztunk: kép és hang önállóan, egy és két felvillanás egy vagy két hanggal párosítva. A perceptuális érzékenység változásának mérésére szignál detekciós teóriából számítható értékeket hasonlítottuk össze.

Neuroimaging adatok regisztrálása és elemzése a fentebb már említett algoritmus alapján történt.

## **Eredmények**

A double flash illúzió mért pszichofizikai eredményei mind az M, mind a P pálya domináns stimulusai esetén szignifikáns pozitív korrelációt mutattak a fehérállományi mikrostrukturális rendezettséget jellemző diffúziós érték, a frakcionális anizotrópia esetén. A színes ingerek által meghajtott parvocelluláris rendszer esetén mindkét oldali insula és a jobb oldali infero-temporális juxtacorticalis fehérállomány összefüggése igazolódott. Alacsony kontrasztos kondícióban a mély kisagyi kötegek, a jobb oldali gyrus frontális superior alatti fehérállomány valamint a jobb oldali parieto-occipitális junctio határán lévő juxtacorticalis tractusok produkáltak lényeges kapcsolatot.

Az eredmények más struktúrákkal való viszonyának tisztázására valószínűségi traktográfiát futtatunk, a korrelációt mutató voxeleket kiindulási helyként használva. A P pálya specifikus stimulus esetén kiindulási helyként szolgáló infero-temporális elhelyezkedésű voxelek esetén a temporális lebeny csúcsa felé tartó kötegek rajzolódtak ki. Az alacsony kontrasztos ingerrel összefüggést mutató voxelek közül, a parieto-occipitális határon lévők kapcsolatainak vizsgálata, a parietális és frontális lebenyek felé haladó kötegeket találta érintettnek a feladat során.

## **Megbeszélés**

Munkánk során egysejt-regisztrációval vizsgáltuk a neuronális működést, valamint az agyi hálózatok működését elemeztük diffúziós tenzor képalkotással. Jelen tézis két fő témáról számol be. Egyfelől a neuronális válasz romlásáról az öregedés hatására, másfelől pedig a struktúra meghatározta viselkedésről.

A makákó az emberi látás és agyműködés széleskörűen alkalmazott modellje. Számos tanulmány vizsgálta az emberi homológiáját; ezért feltételezhető, hogy a majomban, az öregedéshez köthető alaklásban végbemenő változások vizsgálata hozzájárulhat az emberi látórendszer öregedésének megértéséhez. A vizsgálatban éber, viselkedő majmok esetén megnyúlt latenciát és romló stimulus szenzitivitást találtunk.

Vizsgálataink alapján elmondható, hogy a megfelelően megválasztott pszichofizikai paradigma viselkedéses adata TBSS analízissel együtt alkalmas struktúra - funkció

kapcsolat vizsgálatára. A mozgási percepció vizsgálata nem pusztán a szükséges látórendszeri elemeket találta lényegesnek az funkció kialakításában, hanem ennek többszintű figyelmi modulálásának anatómiai hátterére is felhívta a figyelmet.

Az audiovizuális integráció vizsgálat eredményei azt mutatják, hogy a double flash illúzió speciálisan M és P pálya érzékeny stimulusokkal kiváltható, valamint mindkét pályarendszer fehérállományi strukturális hátterével szoros összefüggést mutat.

## **Köszönetnyilvánítás**

Köszönetemet szeretném kifejezni mindazoknak, akik munkámat segítették, és akik jelen tézis létrejöttében közreműködtek. Köszönet Prof. Vécsei Lászlónak, aki lehetővé tette, hogy a Neurológiai Klinikán dolgozhassak. Szeretném kifejezni hálámát témavezetőmnek, Dr. Kincses Zsigmond Tamásnak az útmutatásáért és támogatásáért. Köszönetet szeretnék mondani Prof. Sály Gyulának, aki az élet és a kutatás terén jó tanácsokkal látott el. Külön köszönet illeti Szabó Nikolettát, Kaposvári Pétert, Tóth Esztert, Tuka Bernadettet, Török Ritát, Veres Gábort, Németh Viola Lucát, Csibri Pétert, Bognár Annát, Király Andrást, Faragó Pétert, Kocsis Krisztiánt és az összes munkatársát mind a Neuroimaging Kutatócsoportnak, mind a Látás Labornak. Külön köszönetemet szeretném kifejezni Tóth Juditnak a támogatásáért, szeretetért és türelméért, melyel a munkámat segítette. Hasonlóképp köszönet a családomnak és barátaimnak a bátorításért.

A kutatás a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. Csete Gergőt az Astellas Ifjú Tehetség Program (Asthellas Pharma Kft, Szeged, 2015) támogatta.