

**Budapesti Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetem
Kognitív Tudományi Tanszék
Pszichológia Doktori Iskola**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**Az arcfeldolgozási idői kontextusának viselkedéses és
elektrofiziológiai aspektusai**

Zimmer Márta

Budapest, 2009

I. A kutatások előzménye, célkitűzések

Matematikai nézőpontból a körülöttünk lévő világot tekinthetjük egy hatalmas méretű információ-halmaznak (tárgyak/események összességének). Ezen információk legnagyobb része az adott pillanatban számunkra lényegtelen, míg más, lényegesen kisebb részük valamilyen okból fontos. Annak érdekében, hogy a számunkra lényeges információt hatékonyan tudjuk használni, speciális érzékelő rendszerekkel vagyunk ellátva, melyek egyrészt felveszik (kinyerik) ezeket a lényeges információkat, másrészt lefordítják azokat az idegrendszer nyelvére [Sekuler és Blake, 2002].

A mindennapi életben ritkán fordul elő, hogy egy tárgyat (vagy más vizuális ingert) teljesen elkülönülve, környezetétől függetlenül lássunk; a tárgyakat általában az őket körülvevő kontextusban észleljük. Ez a kontextus lehet térbeli vagy időbeli, és elmondható, hogy mindkettő jelentős hatással lehet az észlelt tárgy feldolgozására. Számos irodalmi adatot ismerünk a *térbeli kontextus* hatására vonatkozóan mind főemlős, mind humán viselkedéses és elektrofiziológiai oldalról – idegrendszeri oldalról közelítve itt a ventrális vizuális pályarendszer egyik állomását, az ún. inferior-temporális (IT) kérget kell külön kiemelni [Logothetis és munkatársai, 1996; Rolls és munkatársai, 2003].

Disszertációmban az *időbeli kontextus* hatására fogok fókuszálni - egy a vizuális észlelésnek különös tekintettel az utóbbi évtizedben sokak által tanulmányozott területére, az arcészlelésre. Időbeli kontextus alatt azt értem, hogy a látott inger (célingert vagy tesztingert) feldolgozására hat egy időben őt megelőző vagy egy a célingert követő inger. A kísérleti nomenklatúrában az előbbi jelenségek körébe tartozik az előre ható maszkolási hatás (ún. *forward masking*), az előfeszítés (*priming*) illetve az *adaptáció* (disszertációmban ez utóbbi jelenséggel foglalkozom), míg az utóbbit visszafelé ható maszkolási hatásnak, azaz *backward masking*nak nevezik.

Adaptációs hatást a vizuális rendszer számos állomásán tapasztalhatunk (dőlési utóhatás [Gibson és Radner, 1937], mozgási utóhatás [Mather és munkatársai, 1998]) – ezen jelenségek vizsgálatokor különböző komplexitású ingereket használtak az egészen egyszerűtől (pl. egy bizonyos orientációjú vonal) kezdve az egészen bonyolultakig. Talán a legbonyolultabb vizuális inger, ahol kimutattak adaptációs hatást, az emberi arc [Webster és MacLin, 1999; Leopold és munkatársai, 2001]. A hatás mind viselkedéses szinten (utóhatás formájában), mind a neuronok aktivitásának megváltozásában (adaptáció) jelentkezik. Viselkedéses szinten azt tapasztaljuk, hogy egy inger hosszabb idejű (néhány másodperces) bemutatása eltorzítja annak későbbi felismerését (utóhatást hoz létre) – ennek megnyilvánulása a pszichometriai görbe eltolódása, a küszöbértékek megváltozása. Ezen utóhatások háttérében az idegsejtek/neuronpouáció szenzoros adaptációja áll; ismételt ingerprezentáció esetén csökkent aktivitást kapunk mind elektrofiziológiai módszerek, mind képalkotó eljárások alkalmazása során [Li és mtsai, 1993; Gruber és Müller, 2005; Sayres és Grill-Spector, 2006].

Egy áttekintő elméleti összefoglaló után (1. fejezet) a disszertáció második fejezetében adaptációs kísérleteink viselkedéses és eseményhez kötött kiváltott potenciál (EKP) eredményeit foglaljuk össze. Emellett egy speciális technikát, az ún. transzkraniális egyenáram ingerlést (tDCS) alkalmaztunk, melynek segítségével lokálisan, nem invazívan, reverzibilisen tudjuk megváltoztatni egy agykérgi terület aktivitását. Külön kísérletben vizsgáltuk a fenti technika hatását az arcadaptációra.

Eredményeink azt az elképzelést támasztják alá, mely szerint a környezetünkben lévő tárgyak idegi (agyi) reprezentációja nem eleve rögzített, hanem pillanatról pillanatra újrakalibrálódik; egy inger percepciójakor észlelőrendszerünk az adott ingert tekinti prototípusnak (norma), és az attól való eltérést detektálja [Valentine, 1991; Rhodes és munkatársai, 2003]. A kapott eredmények továbbá arra utalnak, hogy az adaptáció nem csupán az alacsonyabb szintű vizuális területeken, hanem a magasabbszintű, komplexebb ingereket kódoló vizuális területeken is megjelenik.

Érdekes módon, egy adott *célinger után* bemutatott újabb inger is képes megváltoztatni az adott inger percepcióját. Például egy (vizuális) célinger detektálását és azonosítását befolyásolhatja egy másik inger (egy maszk) bemutatása. Köztudott, hogy a maszkolás nem csupán akkor jelenik meg, ha a maszk az inger előtt, hanem akkor is, ha az inger után jelenik meg. Ezt a jelenséget nevezik visszafelé irányuló maszkolásnak (backward

masking – bwm), melynek számos fajtája létezik a használt inger típusának, a célinger és a maszk térbeli átfedésének függvényében, illetve az alapján, hogy mennyi idő telik el a célinger és az azt követő maszk bemutatása között (ez utóbbit nevezik stimulus onset asynchrony-nak – SOA). A disszertációmban utolsóként egy olyan kísérletet írok le, melyben ezt a jelenséget vizsgáltuk az arcfeldolgozás egy speciális területén, az arckifejezések diszkriminációja során. Viselkedéses és kiváltott válasz eredményeink azt sugallják, hogy a maszkolás mind a maszkinger típusa, mind az SOA függvényében specifikusan tükröződik az alanyok teljesítményében és az arcspecifikus korai és kései EKP komponenseken.

Fő kérdéseink a következők:

- 1. Vajon az alak-szelektív utóhatások a vizuális feldolgozás mely szintjéhez köthetők?**
- 2. Mutatkozik-e kategória-specifitás az adaptációban?**
- 3. Vannak-e féltekei aszimmetriák az adaptációs hatás erősségében (mind viselkedéses, mind elektrofiziológiai értelemben)?**
- 4. Milyen szerepet játszik az adaptáció időtartama az alak-szelektív utóhatásokban?**
- 5. Az arcfeldolgozás mely szintjén tükröződik az arcok tudatosulása?**

II. Vizsgálati módszerek

Kísérleti alanyok

A disszertációban ismertetett pszichofizikai, elektrofiziológiai és transzkraniális egyenáram ingerléses kísérletekben mindösszesen 77 egészséges, naív, 10/10-es látásélességű alany vett részt (34 nő, 43 férfi; átlagéletkoruk 21.47 év).

Adaptációs vizsgálatok

Ingerekként a laborunk által létrehozott nagyobb, humán arc- illetve kézzatbázisból választott női és férfi arcok morfol¹ verzióit használtuk. A kísérleti metodika ezekben az adaptációs kísérletekben nagyon hasonló volt: egy rövid, randomizált fixációs periódust követően (ennek időtartama 500 – 700 ms között változott) először az adaptációs ingert mutattuk be (hosszú adaptáció esetén 5000 ms - 1. - 6. tudományos közlemény; rövid adaptáció esetén 500 ms – 4. tudományos közlemény), majd rövid szünet után (kezdetben 200 ms, a későbbi kísérletekben 500 ms) következett a 200 ms-ig látható tesztinger, melyről az alanyok egy kétalternatívás direkt választásos helyzetben kellett a számítógép egerének bal, illetve jobb gombjával döntést hozniuk (nemi döntés – 1. – 5. tudományos közlemény, torzítás iránya – 6. tudományos közlemény). Centrális ingerprezentációs kísérleteinkben (1., 3., 5. és 6. tudományos közlemény) egyetlen adaptor és egyetlen tesztinger volt bemutatva a képernyő közepén. Perifériás adaptációs kísérleteinkben (2. és 4. tudományos közlemény) mind az adaptor, mind a célinger egy közepén megjelenő fixációs keresztől 5 fokra jobbra és balra bemutatott ingerpárt láthattak az alanyok. Ezen kísérletekben az alanyok középre fixálását szemmozgást regisztráló berendezéssel (infravörös kamera - iView X Red, SMI) kontrolláltuk. Az ingerprezentáció minden kísérlet esetében saját készítésű programokkal történt (MATLAB6.5, PsychToolbox2.45, [Pelli, 1997]). Viselkedéses szinten adaptációs hatás a pszichometriai görbe eltolódásában mutatkozik meg; nemi döntés esetén például ez azt jelenti, hogy egy női adaptor inger

¹ Morfolás alatt egy adott ingernek egy másik ingerbe való animált transzformációját értjük, mely a kiindulási inger bizonyos, előre kijelölt pontjait lépésenként változtatva (esetleg torzítva), azokat a nekik a második ingeren megfeleltetett pontokba mozgatja át.

bemutatása után egy köztes nemi jelleggel rendelkező arcot férfiasabbnak ítélünk, mint eredetileg tettük (kontroll helyzet – Fourier fázis-randomizált inger², mint adaptor).

Visszafelé irányuló maszkolási vizsgálatok

Ingereként emocionális arcokat használtunk (félelemmel teli illetve semleges arckifejezésű tesztingerek). A kísérleti metodika ebben az esetben a következő volt: egy rövid, randomizált fixációs periódust követően (ennek időtartama 500 – 700 ms között változott) jelent meg a tesztinger mindösszesen 23.5 ms-ra, majd azt követően egy maszkinger 500 ms-ra. A teszt láthatóságát szisztematikusan változtattuk a teszt és az azt követő maszk bemutatása között eltelt idő (az ún. stimulus onset asynchrony – SOA) manipulálásával. Emellett vizsgáltuk a különböző típusú maszkok (Fourier ábra, normál állású neutrális arc, fejjel lefelé fordított neutrális arc) hatását is. Mind a legrövidebb SOA esetén a különböző maszkok hatása, mind a normál állású neutrális arc-maszk hatása a különböző SOA-k esetén jelentős változást eredményezett viselkedéses és neuronális szinten is.

Elektrofiziológiai mérések

A viselkedéses adatok mérésével párhuzamosan eseményhez kötött kiváltott potenciálokat (EKP) regisztráltunk a szokásos módon 23, a hajás fejbőrre helyezett elektródán keresztül (nemzetközi 10/20-as rendszer). A regisztrált adatokat off-line analizáltuk Brain VisionAnalyzer program segítségével (Brain Products GmbH, München, Németország). A disszertációban szereplő kísérletekben elsősorban az arcészlelésben érintett régiókra (poszterior-occipito-temporalis területek) fókuszáltunk, különös tekintettel a korai, arc-specifikusnak tartott komponensekre, mint a P100 (O1 és O2 elektródák), illetve az N170 (P7/P8, PO7/PO8, TP7/TP8, valamint PO9/PO10 elektródák). Miután statisztikai úton vetettük össze a fent említett komponensek amplitúdó- és latenciaértékeit, mindkét komponens jelentős eltérést mutatott adaptált versus nem adaptált helyzetben.

Transzkraniális egyenáram ingerlés (tDCS) kísérletünkben egy akkumulátorral működő ingerlő (Schneider Electronic, Gleichen, Németország) segítségével időlegesen, nem invazívan, reverzibilisen változtattuk meg egy adott kérgi terület ingerelhetőségét. Két kb. 12 cm² nagyságú, nedves szivacs párnába helyezett gumielektroda (egyikük aktív elektróda, másikuk referencia) között folyó 1mA nagyságú árammal ingereltük 10 – 15

² Egy függvénytranszformáció alapuló algoritmus [Nasanen, 1999] segítségével, mely a fázis-spektrumot random értékekkel helyettesíti, ezáltal az adott kép amplitúdó spektrumát nem változtatja, miközben a képben lévő alaki információ eltűnik.

percen keresztül a jobb oldali poszterior-occipito-temporális területet (anódos ingerlés depolarizál, katódos ingerlés hiperpolarizál). A DC ingerlés hatására az utóhatások mértéke megváltozott.

III. Új tudományos eredmények

Rövid összefoglalás

Eredményeink egyértelműen azt támasztják alá, hogy egy adott vizuális inger észlelése és feldolgozása nagy mértékben függ annak idői kontextusától. Ez a hatás mind viselkedéses szinten - a küszöbértékek eltolódásában, mind neuronális szinten – az eseményhez kötött kiváltott potenciálok amplitúdó- és latenciabeli változásaiban tükröződik. Utóbbi eredmények mindemellett arra is utalnak, hogy az utóhatásokért valamint az arcinger vizuális tudatosulásáért felelős neuronok a poszterior-occipito-temporális területekre lokalizálhatók.

Eredményeinket a következő pontokban lehet összefoglalni:

- Elektrofiziológiai és transzkraniális egyenáram ingerléses kísérleti eredményeink azt sugallják, hogy az alak-szelektív utóhatások főként magasabb szintű adaptációs feldolgozások eredményei és nem az ingerelemek lokális adaptációjának következményei.
- Ezek a hatások specifikusak egy adott kategóriára – kategóriák közötti hatást nem találtunk.
- Az adaptációs hatás mértékében erős jobb féltekei aszimmetriákat tapasztaltunk, ezt mind a viselkedéses, mind az elektrofiziológiai adatok alátámasztják.
- Az adaptáció időtartama fontos tényező az alak-szelektív utóhatásoknál, rövid idejű adaptációs paradigma esetén nem találtunk pozíció-specifikus adaptációs hatást.
- A korai arcspecifikus EKP komponensek függetlenek az inger láthatóságától, azonban kb. 200 ms-mal az inger megjelenése után az inger feldolgozása erősen függ annak láthatóságától és együttjárást mutat az arcok tudatos percepciójával.

Részletes összefoglalás

1. Alacsony versus magasabbszintű adaptációs mechanizmusok az alak-szelektív utóhatásokban

Eredményeink azt sugallják, hogy az általunk vizsgált arc-, illetve kézadaptációs hatások háttérben magasabbszintű feldolgozás áll (3. tudományos közlemény). Mind arc-, mind kézingerek esetén méret- és orientáció-invarianciát kaptunk, mely megerősíti azt az elképzelést, hogy a hatás nem egyszerűen alacsonyszintű vonások adaptációjának összegződése, hanem a tárgykódolás magasabbszintű, nem retionotopikus alak-specifikus mechanizmusainak adaptációjából adódó utóhatás. Egy következő kísérletünkben azt is kimutattuk (2. tudományos közlemény), hogy mind a normál-, mind a fejfelé fordított arcokkal való perifériás adaptációnak van pozíció-specifikus és pozíció-invariáns komponense is. A legerősebb adaptációs hatást akkor tapasztaltuk, amikor az adaptáló- és a tesztinger átfedő volt pozícióját tekintve, de nem átfedő esetben is szignifikáns eltérést kaptunk az adaptált és a kontrollhelyzetek között. Ezek az adaptációs hatások a korai, arc-specifikus EKP komponenseken [Rossion és mtsai, 1999] is tükröződtek – a P100-on és az N170-en. Előbbi komponens amplitúdó növekedést, utóbbi igen jelentős amplitúdó csökkenést mutatott mind arc-, mind kézadaptáció esetén (3. tudományos közlemény). A hatás azonban nagyobb volt ha az adaptor és a tesztinger ugyanabba a látótérbe esett (2. tudományos közlemény). Szintén az utóhatás mögött húzódó magasabbszintű feldolgozást támasztja alá egyenáram ingerléses arcadaptációs kísérletünk (5. tudományos közlemény) eredménye, mely szerint a jobb oldali poszterior-occipito-temporális kérgi területek katodális ingerlése csökkentette az arcadaptáció erősségét, míg az elsődleges látókéreg transzkraniális ingerlése nem eredményezett semmiféle hatást. Eredményeinket több arcadaptációs pszichofizikai kísérlet is megerősítik, melyek szintén kimutatták, hogy az adaptációs hatás méret- [Zhao és Chubb, 2001], pozíció- [Leopold és mtsai, 2001] valamint orientáció-invariáns [Rhodes és mtsai, 2003]. Ezen eredmények is azt sugallják, hogy a mechanizmus mögött meghúzódó neurális adaptáció az arcfeldolgozás magasabb szintjeihez kötött.

2. Az alak-szelektív utóhatások kategória-specifitása

Humán kéz/arcadaptor alkalmazásakor az ellenkező kategóriába tartozó (tehát arc/kézinger) képről alkotott nemi döntés nem tolódott el a kontroll helyzethez képest (3. tudományos közlemény). A viselkedéses adatokat alátámasztva az általunk vizsgált N170 komponens sem amplitúdójában, sem latenciájában nem mutatott adaptációs hatást, amennyiben az adaptor és a tesztinger különböző kategóriába tartozott. Jelen eredményeinket alátámasztja egy korábbi előkísérletünk is, ahol egy épület képét használtuk adaptorként, miközben az alanyok arcokról hoztak nemi döntést (1. tudományos közlemény). Hasonló eredményeket kapott Fang és He [Fang és He, 2005] egy nézőpont utóhatás kísérletben, ahol azt találták, hogy különböző tárgykategóriák *között* (arcok, autók, gemkapocs-szerű tárgyak) nem volt kimutatható keresztadaptációs hatás.

3. Féltekei aszimmetriák alak-szelektív utóhatásokban

Ismert, hogy az arcok feldolgozásában jelentősebb szerepet játszik a jobb félteke [Rossion és mtsai, 2003a,b]. Arc-torzítási utóhatás kísérletünkben (6. tudományos közlemény) azt kaptuk, hogy az N170-en tükröződő adaptációs hatás csupán a jobb oldalon volt nagyobb torzított adaptor használata esetén (DIST), mint ha az eredeti, nem torzított arcot használtuk adaptorként (VERID). Ugyancsak jobb oldali féltekei aszimmetriára utalnak azon kísérleti eredményeink, melyek szerint az N170 amplitúdóján tapasztalt adaptációs hatás akkor tér el leginkább a pozícióban átfedő és nem-átfedő esetek között, amikor a bal oldalon bemutatott célinger megjelenésével ellentétes (kontralaterális) jobb féltekén regisztrálunk (2. és 4. tudományos közlemény).

4. Az arcadaptációs hatás idői dinamikája

Kimutattuk, hogy a hosszabb idejű (5000 ms - os) arcadaptáció rendelkezik egy pozíció-invariáns és egy pozíció-specifikus komponenssel is (2. tudományos

közlemény). Női arcadaptort használva a köztes nemi jelleggel rendelkező célingereket férfiasabbnak ítélték az alanyok abban az esetben, amikor az adaptor és a tesztinger ugyanazon a helyen jelent meg, mint amikor a két inger pozíciója nem fedett át. Az adaptáló inger rövid idejű prezentációja (500 ms) esetén azonban mindkét esetben (átfedő versus nem-átfedő) pozíció-invarianciát kaptunk. A viselkedéses adatokkal egybecsengően az N170-es kiváltott válasz komponens amplitúdóján vizsgálva az adaptációs hatást azt kaptuk, hogy csupán a hosszú idejű adaptáció esetén rendelkezik ez a komponens pozíció-specifikus komponenssel, rövid idejű után nem. Ezek az eredmények azt sugallják, hogy mind a rövid-, mind a hosszú idejű arcadaptáció pozíció-invariáns arc-szelektív feldolgozások adaptációjához vezet, míg az arcfeldolgozás pozíció-specifikus idegi mechanizmusainak adaptációja megkívánja a hosszú idejű adaptációt. A kapott eredmények azt implikálják, hogy az adaptálás időtartamának változtatása egy eszköz arra, hogy specifikusan adaptáljuk az alak-specifikus kódolás különböző neuronális feldolgozásait és vizsgálhassuk ezek ingerszelektivitását.

5. Az arcok tudatosulásának korrelátumai

Visszafelé irányuló maszkolási kísérletünk eredményei azt sugallják, hogy az emocionális arckifejezések feldolgozásának két különböző állomása különíthető el (7. tudományos közlemény). A feldolgozás első része – mely körülbelül az inger megjelenése utáni első 200 ms-ot foglalja magában – független az inger láthatóságától. 200 ms után azonban az ingerfeldolgozást nagymértékben befolyásolja az inger tudatosulása, az inger megjelenése után 220 ms-mal megjelenő, az arcfeldolgozásban érintett területekről regisztrált negatív EKP komponens (az ún. N2) amplitúdója korrelál az inger tudatos észlelésével.

IV. Irodalmi hivatkozások listája

- FANG, F. & HE, S. (2005) Viewer-Centered Object Representation in the Human Visual System Revealed by Viewpoint Aftereffects. *Neuron* 45:793-800.
- GIBSON, J. & RADNER, M. (1937) Adaptation, after-effect and contrast in the perception of tilted lines: I. quantitative studies. *Journal of Experimental Psychology* 20:453-467.
- GRUBER, T. & MULLER, MM. (2005) Oscillatory brain activity dissociates between associative stimulus content in a repetition priming task in the human EEG. *Cerebral Cortex* 15:109-116.
- LEOPOLD, DA., O'TOOLE, AJ., VETTER, T., BLANZ, V. (2001) Prototype-referenced shape encoding revealed by high-level aftereffects. *Nature Neuroscience* 4(1):89-94.
- LI, L., MILLER, E.K., DESIMONE, R. (1993) The representation of stimulus familiarity in anterior inferior temporal cortex . *Journal of Neurophysiology* 69:1918–1929.
- LOGOTHETIS, NK. & SHEINBERG, DL. (1996) Visual object recognition. *Annu Rev Neurosci* 19:577-621.
- MATHER, G., VERSTRATEN, F., ANSTIS, S. (eds) (1998) *The Motion Aftereffect: A Modern Perspective*. (Cambridge, Mass: MIT Press).
- NASANEN, R. (1999) Spatial frequency bandwidth used in the recognition of facial images. *Vision Research* 39:3824-3833.
- PELLI, DG. (1997) The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming numbers into movies. *Spatial Vision* 10:437-442.
- RHODES, G., JEFFERY, L., WATSON, TL., CLIFFORD, CWG., NAKAYAMA, K. (2003) Fitting the mind to the world: Face adaptation and attractiveness aftereffects. *Psychol Sci* 14:558-566.
- ROLLS, ET., AGGELOPOULOS, NC., ZHENG, F. (2003) The receptive fields of inferior temporal cortex neurons in natural scenes. *Journal of Neuroscience* 23:339-348.
- ROSSION, B., DELVENNE, JF., DEBATISSE, D., GOFFAUX, V., BRUYER, R., CROMMELINCK, M., GUERIT, JM. (1999) Spatio-temporal localization of the face inversion effect: an event-related potentials study. *Biological Psychology* 50:173–189.
- ROSSION, B., CALDARA, R., SEGHER, M., SCHULLER, AM., LAZEYRAS, F., MAYER, E. (2003A) A network of occipito-temporal face-selective areas besides the right middle fusiform gyrus is necessary for normal face processing. *Brain* 126:2381-2395.

- ROSSION, B., JOYCE, CA., COTTRELL, GW., TARR, MJ. (2003B) Early lateralization and orientation tuning for face, word, and object processing in the visual cortex. *NeuroImage* 20:1609– 1624.
- SAYRES, R. & GRILL-SPECTOR, K. (2006) Object-Selective Cortex Exhibits Performance-Independent Repetition Suppression. *Journal of Neurophysiology* 95:995-1007.
- SEKULER, R. & BLAKE R (eds) (2002) *Perception (4th Edition)*. (McGraw-Hill Companies).
- VALENTINE, T. (1991) A unified account of the effects of distinctiveness, inversion, and race in face recognition. *The Quarterly Journal of Psychology* 43A(2):161-204.
- WEBSTER, MA. & MACLIN, O. (1999) Figural aftereffects in the perception of faces. *Psychonomic Bulletin & Review* 6(4):647-653.
- ZHAO, L. & CHUBB, C. (2001) The size-tuning of the face-distortion after-effect. *Vision Research* 41(23):2979-2994.

V. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

1. *Zimmer, M., Bankó, É., Harza, I., Antal, A., Vidnyánszky, Z., Kovács, G.:* Arcadaptáció. In: Megismerésünk korlátai (Gondolat Kiadó, 2006).
2. Kovács, G., *Zimmer, M., Harza, I., Antal, A., Vidnyánszky, Z.:* Position-specificity of facial adaptation. *NeuroReport*, 2005 Nov 28; 16(17):1945-9.
3. Kovács, G., *Zimmer, M., Bankó, É., Harza, I., Antal, A., Vidnyánszky, Z.:* Electrophysiological correlates of visual adaptation to faces and body parts in humans. *Cerebral Cortex*. 2006 May;16(5):742-53.
4. Kovács, G., *Zimmer, M., Harza, I., Vidnyánszky, Z.:* Adaptation duration affects the spatial selectivity of facial aftereffects. *Vision Research* 2007 Nov; 47(25):3141-9. Epub 2007 Nov 1.
5. Varga, E., Kaya, E., Antal, A., *Zimmer, M., Harza, I., Paulus, W., Kovács, G.:* Cathodal transcranial direct current stimulation over the parietal cortex modifies facial gender adaptation. *Clinical Neuroscience (Ideggyógyászati Szemle)* 2007 Nov 30;60 (11-12):474-9.
6. *Zimmer, M., Kovács, G.:* Electrophysiological correlates of face distortion after-effects. 2009. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (under revision).
7. *Zimmer, M., Kovács, G.:* Early correlates of face visibility. 2009. (in prep)