

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Pszichológia Doktori Iskola  
Kognitív Tudomány

Nagy Krisztina

# Nem-ismerős arcok feldolgozásának neurális korrelátumai

PhD téziszfüzet

Témavezető: Prof. Kovács Gyula  
Budapest, 2013

## Tartalomjegyzék

Rövidítések	2
1. Bevezetés	3
2. Módszertan	4
3. Kutatási kérdések	5
4. Tézis I.	5
5. Tézis II.	6
6. Tézis III.	7
7. Tézis IV.	8
8. Diskusszió	9
Tézispontokhoz kapcsolódó publikációk jegyzéke	14
Irodalomjegyzék	14

## Rövidítések

<b>2AFC</b>	két alternatívás direkt választásos helyzet
<b>BOLD</b>	blood oxygenation level dependent
<b>DCM</b>	Dynamic Causal Modelling
<b>EEG</b>	electroencefalográfia
<b>ERP</b>	kiváltott potenciálok
<b>FFA</b>	fuziformis arcterület
<b>fMRI</b>	funkcionális mágneses rezonancia képalkotás
<b>LO</b>	ventrális-anterior LOC
<b>LOC</b>	lateralis occipitalis complex
<b>MFS</b>	több arcot tartalmazó elrendezés
<b>OFA</b>	okcipitalis arcterület
<b>RF</b>	receptív mező
<b>ROI</b>	region of interest
<b>V1</b>	elsődleges látókéreg

## 1. Bevezetés

Jelen tanulmányban a nem-ismerős arcok feldolgozásának neurális hátterét vizsgáltuk viselkedéses, elektrofiziológiai és képalkotó módszerekkel. Az arcészlelés a kognitív tudomány egyik legtöbbet kutatott témája, mivel az arcok különlegesen fontosak a szociális kapcsolatokban. Annak ellenére, hogy számos kísérlet vizsgálta már az arcok feldolgozását, legtöbbjük ökológiai validitása alacsony. A jelen munkában az arcészlelést ökológiailag valid körülmények között vizsgáltuk. A hétköznapiakban ritkán látunk arcokat izoláltan, tökéletes látási feltételek mellett. Azért, hogy ezen hatásokat modelláljuk a résztvevők két alternatívás direkt választásos helyzetben, (2AFC) döntöttek arcokról. Három különböző módszert alkalmaztunk az arcokkal kapcsolatos döntések nehezítésére és ökológiai validitásuk emelésére: először zajt adtunk az ingerekhez, másodsor morfolttuk őket<sup>1</sup>, harmadszorra pedig a célingereket más arcokkal együtt mutattuk be.

Az első tanulmányban Fourier-fázis randomizált és átfedő ingereket adtunk az arcokhoz, a második tanulmányban morfolással változtattuk meg az arcok nemi információtartalmát, a harmadik kísérletben pedig a célingereket más arc-ingerek között prezentáltuk. A negyedik kísérletben az arcok és tárgyak észlelésének neurális hátterét modelleztük effektív konnektivitással. A használt ingerek mind a négy kutatásban a laboratóriumunkban kidolgozott arc-adatbázisból származtak (ld. Kovács et al. (2005)), amely nem-ismerős (hétköznapi, a kísérleti személyek számára ismeretlen) arcokat tartalmazott. Mivel ökológiailag valid ingerkészlettel és paradigmákkal dolgoztunk, következtetéseket tudunk levonni a hétköznapi körülmények közötti arcészlelésről és eredményeink az egész populációra általánosíthatóak.

---

<sup>1</sup>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.

## 2. Módszertan

A jelen disszertációban négy kísérletsorozat található. Az összes kísérletben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és a Regensburgi Egyetem hallgatói vettek részt. A résztvevők látása normális vagy normálishoz korrigált volt és informált beleegyezésüket adták a kísérletben való részvételhez. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és a Regensburgi Egyetem etikai bizottsága hozzájárult a kísérletek elvégzéséhez. Összesen 93 egyetemi hallgató vett részt a vizsgálatokban (48 nő), az átlagéletkor 25.8 év volt (szórás = 6.1 év).

Viselkedéses, elektrofiziológiai és képalkotó eljárásokkal mértük az arcészlelés korrelátumait. A kiváltott válasz kísérletben kiváltott potenciálokat (ERP) regisztráltunk 64 Ag/AgCl skalp elektódán keresztül (BrainAmp, Brain Products GmbH). A kísérleteket egy hang- és elektromosan szigetelt szobában végeztük. Az EEG adatokat offline elemeztük Brain Vision Analyzer (1.05.0002; Brain Products GmbH) segítségével. A nagy átlagokat minden csatornára, kísérleti személyre és kondícióra külön-külön analizáltuk. Az okcipito-temporális csatornákat (P7, PO7, P8, PO8) elemeztük bilaterálisan, hogy latencia és amplitúdó értékeket rendeljünk az arc-releváns korai kiváltott válasz komponensekhez. A tipikus arc-válasz az ingereinkre, egy 100 milliszekundum körüli pozitív csúccsal kezdődik (P100), utána egy nagy negatív csúcs követi (N170), majd egy második pozitív komponens következik körülbelül 220 milliszekundummal (P220) az inger-prezentáció után.

Az fMRI kísérletekben egy 3 Teszlás Fej szkennelvel mértünk (Siemens Allegra, Erlangen, Németország). A funkcionális mérésekhez folyamatos képalkotást alkalmaztunk, míg a nagy felbontású strukturális felvételekhez magnetizációs EPI szekvenciát használtunk. A képfeldolgozást SPM5 és SPM8 segítségével Matlabban végeztük (Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, Egyesült Királyság). A region of interest (ROI) analízist a különálló funkcionális lokálizáló szkennel

alapján és MARSBAR 0.42 (Brett et al. (2002)) programcsomaggal végeztük. Az arc-releváns területeket egyénileg választottuk ki.

### 3. Kutatási kérdések

Jelen dolgozatban a nem-ismerős arcok feldolgozásának neurális korrelátumait mértük. Ökológiailag valid helyzetek megteremtéséhez a célingereket vagy zajosítottuk vagy más arcok társaságában mutattuk be.

Fő kérdéseink a következők voltak:

1. Hogyan befolyásolja a zaj minősége az arccal kapcsolatos döntéseket? Mik az elektrofiziológiai korrelátumai a különböző típusú zaj-ingereknek? (Nagy et al. (2009))
2. Létrejön-e arcutóhatás több arcot tartalmazó elrendezés (MFS) esetén? Mik az MFS esetén fellépő adaptáció neurális korrelátumai? (Nagy et al. (2012b))
3. Kivált-e versengést több arc együttes jelenléte? Mik a szenzoros kompetíció neurális korrelátumai? (Nagy et al. (2011))
4. Mely agyi területek vesznek részt a tárgyak és arcok feldolgozásában, és hogyan szerveződik ez a hálózat? (Nagy et al. (2012a))

### 4. Tézis I.

*Vizuális arcészlelés esetén a hozzáadott zaj típusa hatással van az észlelés idegi mechanizmusaira: a Fourier fázis randomizált zaj csökkenti az arc-releváns N170 komponenst, míg az átfedő ábra hozzáadása csak a későbbi 200 - 250 milliszekundum körüli feldolgozást érinti.*

A zajos ingerek feldolgozása extra kapacitást igényel az idegrendszertől. Számos elektrofiziológiai kutatás bizonyította, hogy a zaj feldolgozása körülbelül 150 - 200 milliszekundummal kezdődik az ingerbemutatás után. Erre utal az arc-érzékeny N170 komponens csökkent amplitúdója és megnőtt latenciája, ha Gauss-i zajt adunk az arc ingerekhez, míg a P100 komponens nem változik. A korábbi kutatások vizsgálták a zajos arc ingerek feldolgozásának elektrofiziológiai korrelátumait, de a zaj természetével még nem foglalkoztak. Kutatásunk célja az arc ingerhez adott fázis zaj és átfedő inger (autó) elektrofiziológiai korrelátumainak elkülönítése. A kísérleti személyek 2AFC-ben nemi diszkriminációs feladatot végeztek hét különböző nehézségi szinten, két kondícióval: fázis zajt és átfedő autót tartalmazó ingerek esetén. Az első komponens, ahol amplitúdó csökkenést mértünk az N170 volt fázis zajos ingerek esetén, de a hatást átfedő ingereknél nem találtuk meg. A későbbi pozitív komponens, a P220 amplitúdója viszont mindkét kondícióban növekedett. Eredményeink alapján a fázis zaj feldolgozása az N170 időablakában történik, míg az átfedő zajos inger és az arc interakciója csak a P220 komponensben mérhető (Nagy et al. (2009)).

## 5. Tézis II.

*Térben nem átfedő, több arcot tartalmazó elrendezések kiváltanak arcutóhatást és ez a hatás a fuziformis arcterületen (FFA) mérhető, míg a hierarchiában alárendelt szerepű okcipitalis arcterület (OFA) az adaptáció pozíció-specifikus komponenseiért felelős.*

Az arccal való adaptáció speciális, arcutóhatást eredményez. Az utóbbi időben számos kutatás vizsgálta ezt a jelenséget, mivel az adaptáció kimutatható a látórendszer magasabb szintjein is. Azonban a mindennapi életünkben ritkán látunk izolált arcokat, azok főleg más ingerek társaságában jelennek meg. Jelen kísérletben pszichofizikai és képalkotó eljárásokat használtunk annak vizsgálatára, hogy adaptálódnak-e

az emberek a több arcot tartalmazó elrendezés nemi jellemzőihez. Az adaptor nyolc egyéni arcból állt, melyek kör alakban helyezkedtek el az fixációs kereszt körül. Eredményeink szerint a közepen bemutatott célinger nemi diszkriminációját jelentősen befolyásolta az előzetes, férfi vagy női arcokkal történő hosszú idejű adaptáció. Hasonlóan az egy arccal való adaptációhoz (Kovács et al. (2008)), a képkötő eljárások a legerősebb blood oxygenation level dependent (BOLD) csökkenést bilaterálisan az fuziformis arcterület (FFA)-ban mutatták. Tehát eredményeink arra utalnak, hogy képesek vagyunk több arcot tartalmazó elrendezések statisztikai jellemzőit feldolgozni, és ez a folyamat az okcipito-temporális arcfeldolgozás szintjén történik (Nagy et al. (2012b)).

## 6. Tézis III.

*Az egyidejűleg bemutatott arcok kölcsönhatásba lépnek, ezt szenzoros kompetíciónak nevezzük. A szenzoros kompetíció neuronális szinten jelcsökkenésben jelentkezik és ez az aktiváció csökkenés függ az arcíngerek számától és aktuális pozíciójától. Ez a hatás a fuziformis arcterület (FFA) és a laterális occipitalis complex (LOC) aktivitásában mérhető.*

Több, egy időben bemutatott inger kölcsönhatásba lép egymással, és együttesen az aktivitás csökkenését érik el a ventrális látórendszer magasabb szintű vizuális területein. Jelen tanulmányban egy eseményfüggő fMRI kísérletben mértük a szenzoros kompetíció idegi hátterét, arc íngereket használva. Egy összetett elrendezésben arcok és fázis zaj íngerek arányát változtattuk úgy, hogy összességében az íngerek száma mindig azonos volt, így manipulálva az arcok közötti kompetíciót. Kontralaterálisan bemutatott íngerek esetében erős kompetíciót találtunk bilaterális FFA-ban és jobb oldali LOC-ben, de a hatás nem volt jelen az OFA-ban; ami a területeknek a kompetícióban betöltött eltérő szerepére utal. Az arcpárok közötti távolság növekedésével



a kompetíció mértéke csökkent az FFA-ban. Meglepő módon a kompetíció nagysága függ attól, hogy melyik látótérfélben mutatjuk be az ingereket: az ipszilaterális ingerbemutató csökkentette a kompetíciót a jobb oldali LOC-ben míg növelte a bal oldaliban. Ez a bal látótérfél dominanciájára utal. Eredményeink alátámasztják, hogy létezik kompetíció arcok között, és ez a hatás mindkét féltékében több kérgi területen is megjelenik (Nagy et al. (2011)).

## 7. Tézis IV.

*Az effektív konnektivitás modellezésével bebizonyítottuk, hogy a ventrális-anterior LOC (LO) része az alap arcfeldolgozó hálózatnak. Ez a terület kétirányú, közvetlen kapcsolatokkal kapcsolódik mind az FFA-hoz mind az OFA-hoz. Az arc és tárgy bemenet nem különül el az arcészlelés alacsony szintjén.*

Az arcészlelés az emberi agykérgi területek kiterjedt hálózatát foglalja magába. Számos kutatás vizsgálta ezt a hálózatot, mégis a tárgyészlelésben érintett ventrális-anterior LOC (LO) szerepe nagyrészt ismeretlen maradt. funkcionális mágneses rezonancia képalkotás (fMRI) és Dynamic Causal Modelling (DCM) segítségével teszteltük az arcészlelés főbb területei és az LO közötti effektív konnektivitást. Konkrétabban azt vizsgáltuk, hogy az LO hogyan kapcsolódik az FFA-hoz és OFA-hoz és melyik terület szolgál a hálózat arc/tárgy bemeneti területeként. Eredményeink szerint az LO kétirányú kapcsolatokkal kapcsolódik az FFA-hoz és OFA-hoz, ami egy háromszög modellt eredményez. Ezen felül, kutatásaink arra utalnak, hogy az arc- és tárgy bemenetek nem különülnek teljesen el az arcfeldolgozás ezen alacsony szintjén és a hálózatba az LO-n keresztül lépnek be. Ez arra utal, hogy az LO-nak szerepe van az arcészlelésben, legalábbis az arc - nem arc elkülönítés szintjén (Nagy et al. (2012a)).

## 8. Diszkusszió

Összefoglalva a főbb eredményeket, az *első kísérletben* (Nagy et al. (2009)) megmutattuk, hogy az arcokhoz hozzáadott zaj típusa befolyásolja az arcfeldolgozást. Viselkedésesen a fázis zaj és az átfedő inger hozzáadása egyformán rontja a viselkedéses teljesítményt, de az idegi háttér eltérő a két kondícióban. A fázis zaj már az ingerbemutatás után 160 - 200 milliszekundummal feldolgozódik, ezért a hozzáadott zaj mennyiségét az N170 latenciájának és amplitúdójának változásában láthatjuk. Átfedő ábra esetén, a nem-figyelt ábra és az arc interakciója nem kezdődik el a P220 komponens előtti időintervallumban. Tehát a Fourier-fázis zaj és az átfedő irreleváns inger eltérően befolyásolja az arc-érzékeny N170 és P220 komponenseket.

A *második tanulmányban* (Nagy et al. (2012b)) azt vizsgáltuk, hogy több arcot tartalmazó elrendezés (MFS) kivált-e arcutóhatást és hol mérhető a hatás neurális korrelátumai. Elővizsgálatokkal bizonyítottuk, hogy a résztvevők képesek megosztani figyelmüket a több arcot tartalmazó elrendezés (MFS) esetén, és fel tudják azt globálisan dolgozni. Ez lehetővé tette a MFS kiváltott arcutóhatások vizsgálatát. Ha az arcok egy multidimenzionális arctérben reprezentálódnak (Webster and MacLin (1999), Leopold et al. (2001), Anderson and Wilson (2005)) és a személyek képesek a MFS statisztikai jellemzőinek reprezentációjára, akkor a MFS-szel való adaptáció szisztematikusan eltolja az arctér középpontját és arcutóhatáshoz vezet. Főbb eredményeink a következők: (1) MFS-ek kiváltanak arcutóhatást, tehát eltolják a célinger nemére vonatkozó döntést, (2) a hatás idegi korrelátumai az FFA-ban mérhetőek, ahol BOLD szignál csökkenést találtunk, míg ez a hatás nem jelent meg az okcipitalis arcterület (OFA)-ban.

Ezen hatás megjelenése bizonyítja, hogy az emberi agy képes információt átlagolni különböző téri helyekről és ez az átlag eltolja az észlelést. Más arcadaptációs kísérletekhez hasonlóan (ld. Rhodes et al. (2003); Fox et al. (2009); Xu et al. (2009);

Afraz and Cavanagh (2009); Cziraki et al. (2010)) jel csökkenést találtunk az arc-releváns FFA-ban. Emellett a jól dokumentált hatás mellett, nem találtunk adaptációs hatást az OFA-ban, amit számos korábbi tanulmány megtalált (Dricot et al. (2008); Fox et al. (2009); Xu and Biederman (2010)). Mivel térben nem átfedő ingereket használtunk, a pozícióra érzékeny OFA nem aktiválódott. Ezen tanulmányban sikerült elkülönítenünk az arc-érzékeny területeket az adaptációban játszott szerepük alapján: az OFA csak akkor játszik szerepet az adaptációban, ha az ingerek térben átfedőek. Ez az eredmény az OFA alárendelt szerepére utal az FFA-val szemben, mely utóbbi terület már nem pozíció-szenzitív (ld. Haxby et al. (2000) és Ishai (2008)).

A *harmadik kísérletben* (Nagy et al. (2011)) feladatfüggő aktivitást mértünk az FFA-ban, OFA-ban és LOC-ben egyidejűleg bemutatott arcok esetén. Főbb eredményeink a következők: (1) az arcok arányának emelése a négy helyet tartalmazó elendezésen belül csökkenti a BOLD jelet bilaterálisan az FFA-ban és a jobb oldali LO-ban; (2) az arcok közötti távolság növelése csökkenti a versengő interakciókat az FFA-ban; (3) a kompetíció nagysága függ attól, hogy melyik látóterében mutatjuk be az ingert: ipszilaterális ingerprezentáció esetén a kompetíció csökken a jobb oldali LOC-ben és nő a bal oldali azonos területen.

A *negyedik tanulmányban* (Nagy et al. (2012a)), az FFA, OFA, LO közötti kapcsolatokat modelleztük funkcionális képalkotó eljárásokkal mért adatok alapján (Nagy et al. (2012a)). Főbb eredményeink a következők: (1) az LO direkt összeköttetésben áll az OFA - FFA egységgel, kétirányú kapcsolatokon keresztül; (2) az arc- és nem arc bemenetek nem különülnek el az okcipito-temporális kérgi feldolgozás szintjén és az LO-n keresztül érik el a hálózatot; (3) az arc bemenet az LO - FFA kapcsolatot, míg a tárgy bemenet az LO - OFA kapcsolatot modulálja. Jelen tanulmány az LO szerepét hangsúlyozza az alap arcészlelésben. Feltehetően létezik egy pályarendszer, amin keresztül az információ az LO-ból közvetlenül az FFA-ba jut. Az arcészlelés

még akkor is megvalósul egy bizonyos szintig, ha a vizuális információ elkerüli az OFA-t. Az LO feltehetően az OFA-hoz hasonlóan az arcok strukturális kódolásában vesz részt. Egy másik fontos következtetés az, hogy a vizuális információ nem különül el teljesen az arcészlelés ezen alacsony szintjén, mivel az arcok és tárgyak is az LO-n keresztül lépnek be a rendszerbe.

Összességében, a jelen disszertáció új tényekkel gazdagította az arc-szenzitív agyi területek funkcionális specifikációját. Az FFA adaptációs hatást mutatott MFS-ek esetén; és az arcokkal kapcsolatos kompetíció is e területhez köthető. Tehát ez a terület a kérgi hierarchia legfelső szintjén helyezkedik el. Ezzel szemben, egy másik az arcok feldolgozásában érintett terület, az OFA nem adaptálódik több arcot tartalmazó elrendezések esetén, és az arcokkal kapcsolatos szenzoros kompetícióban sem vesz részt. Ez az eredmény OFA-t a kérgi hierarchiában az FFA alá helyezi.

A szenzoros kompetíció tanulmányunkban (Nagy et al. (2011)) egy nem várt aktivitás-csökkenést találtunk az LO-ban és effektív konnektivitással modelleztük ezen terület szerepét az arcészlelésben. Ezek alapján az LO direkt bemenetet ad az FFA-ba, tehát bizonyos mértékig az OFA nélkül is feldolgozódnak az arc ingerek (hasonló következtetésekért ld. Dricot és munkatársainak esettanulmányát (Dricot et al. (2008))). Az LO belehelyezése az arcfeldolgozó hálózatban arra utal, hogy az arcfeldolgozás agyi háttere még nem ismert teljes mértékben és további kutatások szükségesek az arc-szenzitív kérgi területek feltárására.

## Tézispontokhoz kapcsolódó publikációk jegyzéke

Kovács, G., Nagy, K., and Greenlee, M. W. (2011). Sensory competition in the face processing areas of the human brain. In *Perception supplement*, page 40.

Nagy, K., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2011a). Sensory competition in the face processing areas of the human brain. *PloS One*, 6(9):e24450. PMID: 21912694.

Nagy, K., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2012a). The lateral occipital cortex in the face perception network: an effective connectivity study. *Frontiers in Psychology*, 3:141. PMID: 22593748.

Nagy, K., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2012b). The lateral occipital cortex in the face perception network: An effective connectivity study. *Poster at: 8th FENS Forum, Barcelona*.

Nagy, K., Zimmer, M., Cziraki, C., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2009a). fmri and eeg correlates of decision biases induced by high-level adaptation. *Poster at: Conference of the Hungarian Neuroscience Society, Szeged*.

Nagy, K., Zimmer, M., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2009b). The fmri correlates of multi-face adaptation. In *Perception supplement*, page 38.

Nagy, K., Zimmer, M., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2010). Sensory competition in the face processing areas of the human brain. *Poster at: Person Perception 25 years after Bruce and Young (1986), Jena*.

Nagy, K., Zimmer, M., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2011b). Sensory competition in the face processing areas of the human brain. *Poster at: Conference of the Hungarian Neuroscience Society, Budapest*.

Nagy, K., Zimmer, M., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2012c). Neural correlates

of after-effects caused by adaptation to multiple face displays. *Experimental Brain Research*. PMID: 22673875.

Nagy, K., Zimmer, M., Wenrui, L., and Kovács, G. (2009c). The sensitivity of face specific erp components to the nature of stimulus noise. *Learning and Perception*, 1(2):183–197.

## Irodalomjegyzék

- Afraz, A. and Cavanagh, P. (2009). The gender-specific face aftereffect is based in retinotopic not spatiotopic coordinates across several natural image transformations. *Journal of Vision*, 9(10):10.1–17. PMID: 19810791.
- Anderson, N. D. and Wilson, H. R. (2005). The nature of synthetic face adaptation. *Vision Research*, 45(14):1815–1828. PMID: 15797771.
- Brett, M., Johnsrude, I. S., and Owen, A. M. (2002). The problem of functional localization in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3):243–249.
- Cziraki, C., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2010). Neural correlates of high-level adaptation-related aftereffects. *Journal of Neurophysiology*, 103(3):1410–1417. PMID: 20071633.
- Dricot, L., Sorger, B., Schiltz, C., Goebel, R., and Rossion, B. (2008). The roles of "face" and "non-face" areas during individual face perception: evidence by fMRI adaptation in a brain-damaged prosopagnosic patient. *NeuroImage*, 40(1):318–332. PMID: 18164628.
- Fox, C. J., Iaria, G., and Barton, J. J. S. (2009). Defining the face processing network: optimization of the functional localizer in fMRI. *Human Brain Mapping*, 30(5):1637–1651. PMID: 18661501.
- Haxby, Hoffman, and Gobbini (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(6):223–233. PMID: 10827445.
- Ishai, A. (2008). Let's face it: it's a cortical network. *NeuroImage*, 40(2):415–419. PMID: 18063389.
- Kovács, G., Cziraki, C., Vidnyánszky, Z., Schweinberger, S. R., and Greenlee, M. W.

- (2008). Position-specific and position-invariant face aftereffects reflect the adaptation of different cortical areas. *NeuroImage*, 43(1):156–164. PMID: 18672076.
- Kovács, G., Zimmer, M., Harza, I., Antal, A., and Vidnyánszky, Z. (2005). Position-specificity of facial adaptation. *Neuroreport*, 16(17):1945–1949. PMID: 16272884.
- Leopold, D. A., O’Toole, A. J., Vetter, T., and Blanz, V. (2001). Prototype-referenced shape encoding revealed by high-level aftereffects. *Nature Neuroscience*, 4(1):89–94. PMID: 11135650.
- Nagy, K., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2011). Sensory competition in the face processing areas of the human brain. *PloS One*, 6(9):e24450. PMID: 21912694.
- Nagy, K., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2012a). The lateral occipital cortex in the face perception network: an effective connectivity study. *Frontiers in Psychology*, 3:141. PMID: 22593748.
- Nagy, K., Zimmer, M., Greenlee, M. W., and Kovács, G. (2012b). Neural correlates of after-effects caused by adaptation to multiple face displays. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation Cerebrale*. PMID: 22673875.
- Nagy, K., Zimmer, M., Wenrui, L., and Kovács, G. (2009). The sensitivity of face specific erp components to the nature of stimulus noise. *Learning and Perception*, 1(2):183–197.
- Rhodes, G., Jeffery, L., Watson, T. L., Clifford, C. W. G., and Nakayama, K. (2003). Fitting the mind to the world: face adaptation and attractiveness aftereffects. *Psychological Science*, 14(6):558–566. PMID: 14629686.
- Webster, M. A. and MacLin, O. H. (1999). Figural aftereffects in the perception of faces. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(4):647–653. PMID: 10682208.



Xu, X. and Biederman, I. (2010). Loci of the release from fMRI adaptation for changes in facial expression, identity, and viewpoint. *Journal of Vision*, 10(14). PMID: 21196514.

Xu, X., Yue, X., Lescroart, M. D., Biederman, I., and Kim, J. G. (2009). Adaptation in the fusiform face area (FFA): image or person? *Vision Research*, 49(23):2800–2807. PMID: 19712692.