

Részletes zárójelentés

A vizuális arcfelismerés és az olfaktoros információ feldolgozásának cross-modális szenzoros interakciója című és 49467 azonosítójú

OTKA pályázatról.

-Kovács Gyula-

Bevezetés. Pályázatunk célja az volt, hogy adatokat szolgáltatson az emberi arcok kódolásáról és feltárja a vizuális és az olfaktoros percepció integrációját. Az arcfeldolgozás kérgi mechanizmusait magas-szintű utóhatások által kiváltott adaptációs folyamatok segítségével tanulmányoztuk. A vizuális utóhatások igen hasznosnak bizonyultak az elmúlt évtizedekben az emberi látórendszer vizsgálata során és nemritkán, mint a „pszichológusok mikroelektrodáját” is emlegetik (Frisby, 1979) őket, mivel megfelelő módon használva azokat és mérve a neuronális szenzitivitás adaptáció alatti változásait lehetővé teszik, hogy többet tudjunk meg a vizuális feldolgozó-mechanizmusokról (Blaser et al, 2005). Ezek mögött a vizsgálatok mögött mindig az a feltételezés húzódik meg, hogy ha egy specifikus inger tulajdonságra ki lehet mutatni adaptációt, akkor kell, hogy legyenek a központi idegrendszerben azt a tulajdonságot szelektíven kódoló neuronok. Ezt a logikát követve aztán, ha az adaptáció feltételeit befolyásoljuk, akkor az adaptált tulajdonságot kódoló neuronok tulajdonságaira is fényt deríthetünk.

A sokat vizsgált mozgási és dőlési utóhatások mellett igen kevés vizsgálat született csak a bonyolultabb ingerek esetén tapasztalható utóhatásokról. Mivel maga az emberi arc igen komplex inger, esetében utóhatásokat több eltérő aspektusra is ki lehet mutatni (Webster és MacLin, 1999). Mi kísérleteinkben az arcok nemi jellegének diszkriminációjára vizsgáltuk az utóhatásokat és neuronális korrelátumukat. Ha egy adott arc képén kijelöljük azokat a fontos pontokat, melyek az arc egyedi tulajdonságait (identikumát, nemét, rassz-beli tulajdonságait, érzelmi állapotát ill. korát) meghatározzák, majd ezeket a pontokat alapul véve a kép minden pontjának a megfelelőjét leképezzük egy másik arcra, akkor fokozatosan át tudjuk az egyik arcot a másikba transzformálni, létrehozva a két arc közötti fokozatosan változó képeket. Ezt a technikát morfolásnak nevezik (Glasbey és Mardia, 1998) és általa utóhatások kimutathatóak természetes kategóriákra is. Női és férfi arcokat egymásba transzformálva létre tudunk hozni nemükben különböző arc-párokat, melyek minden egyes tagját eltérő valószínűséggel fognak a kísérleti személyek férfi ill. nő kategóriákba sorolni. Ezután pl. egy tipikus női arcot mutatva a kísérleti személyeknek, azt tapasztaljuk, hogy a nemi kategória határ (tehát az az arc, mely kb. egyforma mértékben tartalmaz férfi és női tulajdonságokat és melyet a személyek véletlenszerűen ítélnék egyik vagy másik kategóriába tartozónak) eltolódik női, vagyis az adaptor nemének irányába, és az eddig kétértelműnek látott arcokat egyértelműen férfinak ítélik a kísérleti személyek (Kovács és mtsai, 2006b). Hasonló technikával emberi kezekre is kialakítható inger-tér.

Jelen vizuális vizsgálatainkban emberi arcok és kezek esetében vizsgáltuk az utóhatásokat viselkedési, eseményfüggő kiváltott válasz (EKP) és mágneses rezonancia képalkotás (fMRI) segítségével, míg a kemoszenzoros rendszerrel kapcsolatban férfi nemi hormonokéhoz hasonló szerkezetű anyagok keresztmodális interakcióját vizsgáltuk arcpercepció feladatok során.

Legfontosabb eredményeinket a következő pontokban tudjuk összefoglalni.

- Párhuzamosan a nemi döntést férfi irányba eltorzító hatásával egy női archoz illetve kézhez való adaptáció csökkenti az N170 EKP komponens amplitúdóját és növeli annak latenciáját.
- Az adaptációs hatás kategória-specifikus: sem perceptuálisan, sem az EKP-ban nem találtunk kategóriakon átívelő adaptációs hatásokat.
- Az arcokra kapott perceptuális és elektrofiziológiai adaptációs hatásnak pozíció függő és független komponense is van.
- Az adaptációs idő lecsökkentésével izolálható a pozíció független komponens.
- A pozíció független komponens a fuziformis arc területre (FFA), míg a pozíció specifikus komponens az occipitális arc területre (OFA) lokalizálható fMRI-vel.
- Ismert arcok torzítása is létrehoz adaptációs hatást és ez a hatás is az N170 amplitúdójának és latenciájának megváltozásával jár.
- Nemi-hormon szerű anyagok passzív inhalációja befolyásolja arcok és emberi kezek nemi kategorizációját és nemi diszkriminációját.
- A férfi nemi hormon-szerű anyagok nem hatnak az arcok felismerésére, sem a nem-specifikus arc-adaptációra.
- fMRI vizsgálatunk eredményei szerint arc-kéz diszkriminációs feladatban kialakuló utóhatásokért a kategória-szelektív okcipito-temporális területek (az FFA és az extrastriális test-terület (EBA)) relatív aktivitása a felelős.
- Egyszerre több arcot bemutatva is létre tudunk hozni nem-specifikus adaptációt és ez a hatás az fMRI eredmények szerint kizárólag az FFA aktivitás-csökkenésével jár együtt.
-

Felhasznált módszerek. Mindösszesen mintegy 220 egészséges, fiatal, naív felnőtt szolgált kísérleti személyként a dolgozat humán pszichofizikai, elektrofiziológiai és fMRI vizsgálatainál.

Vizuális ingerként egészséges, heteroszexuális fiatal férfiak és nők maszkolt és sztenderdizált arcát és kezét valamint huszonhét híres személy arcát használtuk. Az ingereket Winmorph program segítségével egymásba alakítottuk (morfoltuk) illetve saját készítésű MATLAB toolbox segítségével „arc-teret” alakítottunk ki. Az adaptációs kísérletek logikája végig azonos volt: először mindig az adaptor ingert (arcot illetve kezét) mutattuk be (500-5000 ms ideig az egyes kísérletekben) házilag készített programok segítségével majd egy rövid (200 ms) szünet után a célingereket prezentáltuk (200-500 ms). Adaptáció hatására a következőnek bemutatott inger percepciója a kontroll helyzethez képest eltolódik az adattorral ellenkező irányba (vagyis pld. női arc adaptációja után egy semleges arc inkább férfiasnak tűnik). Viselkedési mutatóink az adaptáció hatására bekövetkező eltolódást mérték két alternatívás nemi és érzelmi döntések illetve tipikusság-döntés alatt. A kísérleti személyek fixációját szemmozgás regisztráló berendezéssel regisztráltuk.

Szagingerként a férfi nemi-hormon szerű 5-alfa-androgenst-16-en-3-one és a női nemi hormon szerű ösztro-1,3,5,(10)16-tetraen-3-ol anyagokat valamint kontroll anyagként közönséges csapvizet használtunk. Az alanyok vizuális feladata nemi döntés volt interaktív kategorizációs illetve két alternatívás erőltetett választásos feladatban, egymásba-morfolt férfi-női arcokra. A kategorizációs feladatban a kategória határ, míg a két-alternatívás feladatban a pszichometriai görbe eltolódását mértük.

Eseményfüggő kiváltott potenciálokat (EKP) szokásos módon, 23 hajás fejbőrre helyezett elektródán regisztráltunk miközben az alanyok az arc illetve kéz adaptációs feladatokat hajtották végre. Az adatokat off-line analizáltuk. Dolgozatunkban elsősorban az EKP-k korai fő pozitív komponenseit (O1 és O2 elektródák) és az emberi arcokra kiváltott N170 hullámot vizsgáltuk (P7-8, PO7- 8 és TP7- 8 elektródák). Az EKP-kat a célinger megjelenésére szinkronizáltuk.

Az eredmények részletezve Humán pszichofizikai és elektrofiziológiai kísérletsorozatunkban az ún. magas-szintű konfigurális utóhatások által kiváltott adaptációs folyamatokat tanulmányoztuk. Emberi arcok és kezek esetében erős utóhatásokat találtunk melyek a párhuzamosan regisztrált EKP-ok korai, arc-specifikus (Rossion és mtsai, 1999) N170 komponens amplitúdójának csökkenésével és latenciájának növekedésével jártak együtt. Mind a tapasztalt viselkedési utóhatás, mind az elektrofiziológiai adaptációs hatás is kategória specifikus volt: emberi arcok nem okoztak adaptációs hatásokat emberi kéz ingerekre és fordítva (Kovács és mtsai, 2006a).

Egy további kísérletünkben a nemi jellegre kialakuló utóhatás pozícionális invarianciáját teszteltük. Az adaptor és a teszt arc megjelenhetett a fixációs ponttól jobbra és balra is, vagy egymással átfedő helyzetben azonos látótérben vagy ellentétes látótérben. Jelentős utóhatást találtunk nemcsak

akkor, ha az adaptor és a teszt arc átfedő pozícióban, azonos látótérfélben jelent meg, hanem akkor is amikor ellentétes látótérfélben prezentáltuk az adaptor és cél ingereket. Ugyanakkor a kialakult utóhatás mértéke lényegesen kisebb volt nem-átfedő ingerek esetében. Ez az eredmény arra utal, hogy az arc-adaptációs hatásoknak van egy pozíció függő és egy pozíció invariáns komponense is (Kovács és mtsai, 2005a és 2005b).

A viselkedési eredményeknek megfelelően az N170 komponens amplitúdó és latencia változása is nagyobb volt ha az adaptor és a teszt-ingeret azonos látótérbe vetítettük mint amikor ellentétes látótérben voltak. Ez arra utal, hogy az utóhatások háttérében lévő pozíció független és pozíció-specifikus neuronok együttes adaptációja határozza meg az N170 EKP komponens adaptációs változásait. Ebben az esetben azonban felmerül, hogy az N170 komponens generálásáért több agykérgi terület együttesen felelős.

Ha az adaptációs időt az előzőekben használt 5000 ms-ról 500 ms-ra rövidítettük, akkor a viselkedési és az N170-en tapasztalt utóhatás is teljesen pozíció független lett. Ez tehát arra utal, hogy az adaptáció idejének változtatása szelektíven befolyásolja a magasabb és alacsonyabb szintű arcfeldolgozás folyamatait. Ez az eredmény arra is utal, hogy a rövid idejű adaptáció inkább a magasabb-szintű, már pozíció invariáns neuronokra hat, míg a hosszabb idejű adaptáció az alacsonyabb-szintű, kisebb receptív mezővel rendelkező hely-érzékeny neuronok válaszát is csökkenti (Kovács és mtsai, 2006b, Kovács és mtsai, 2007, Kovács és mtsai, 2008a).

Ezt a feltételezést fMRI kísérletünkben igazolni is tudtuk: a hosszú idejű hely-specifikus adaptáció hatott az alacsonyabb feldolgozási szintet képviselő OFA is, míg a rövid távú adaptáció csak a magasabb szinten lévő FFA területre hatott, de ott hely specifikus és invariáns módon is (Kovács et al, 2008b)

Egy transzkraniális egyenáramú ingerlést (tDCS) használó kísérlet segítségével tovább tanulmányoztuk, hogy mely agykérgi területek fontosak az arc-utóhatások kialakulásában. Az ingerlő elektródát a P6-8 pozícióba, az okcipito-temporális kéreg fölé helyezve (ahol az arc-specifikus N170 EKP amplitúdója és a tapasztalt adaptációs hatás is szokásosan a legnagyobb) az arcokra kiváltott utóhatás mértékét a katódális ingerlés csökkentette. A V1/V2 területek ingerlése nem volt a vizsgált utóhatásokra hatással. Ezek az eredmények szintén arra utalnak, hogy a magasabb szintű temporális területek azok, melyek az arc-adaptációkban szerepet játszanak (Varga és mtsai, 2007).

Egy további kísérletünkben érzelmi arckifejezések esetén jelentős féltekei lateralizációt találtunk az adaptációs folyamatokban: míg a pozitív érzelmi arcok inkább a bal féltekében, addig a negatív érzelmi arcok inkább a jobb féltekében okoztak adaptációs hatást (Bankó és mtsai, 2005).

Ismert arcok torzításával létrehozott utóhatásokkal kapcsolatos kísérletünkben azt találtuk, hogy az N170 komponensen kialakuló adaptációs valóban a torzításra specifikus: nemcsak a Fourier fázisukban randomizált képekhez képest, de a nem torzított arcokhoz való adaptációhoz képest is kisebb és későbbi N170 komponens volt tapasztalható a torzított arcokhoz való adaptáció után. Ez a hatás ugyanakkor csak a jobb féltekén volt

szignifikáns, ami támogatja az arc-percepció jobb féltekei laterizáltságának elméletét (Zimmer és Kovács, in rev).

A kísérletsorozat eredményei bizonyítják, hogy az adaptációs folyamatok nem kizárólag az alacsonyabb feldolgozó-szintekre jellemzőek, hanem megtalálhatóak a tárgyfeldolgozó vizuális rendszer legmagasabb szintjein is.

A kemoszenzoros rendszer, bár evolúciósan a legősibb szenzoros rendszer, emberben alárendelt szerepet játszik és kutatása is relatíve elhanyagolt terület. Mi olyan anyagok keresztmodális interakcióját vizsgáltuk, melyek kémiai szerkezete igen hasonló bizonyos nemi hormonokéhoz (5-alfa-androgenst-16-en-3-one és ösztro-1,3,5,(10)16-tetraen-3-ol) és melyekről feltételezik, hogy kemoszenzoros nemi jelzőként működnek emberben (Gower et al., 1985). Kísérleteink kimutatták, hogy ezen anyagok képesek befolyásolni emberi arcok és kezek nemi diszkriminációját és kategorizációját: ugyanazon arcokat illetve kezeket a kísérleti személyek gyakrabban ítélték férfiasnak androgén-szerű anyag passzív belélegzése mellett (Zsadányi-Nagy és Kovács, 2007). Kontroll kísérleteink eredményei szerint ugyanakkor az arcok felismerésére nincs hatással az olfaktoros ingerlés. Ez arra utal, hogy a tapasztalt kereszt-modális hatás specifikus a nemi jellegre. Végül megvizsgáltuk, hogy az androgén-szerű anyagok szaglása befolyásolja-e a nemi jellegre adaptáció során kialakuló utóhatásokat, de úgy találtuk, hogy a szaglás nem hat az adaptáció mértékére. Ez arra utal, hogy az keresztmodális interakció agykérgi korrelátuma nem azonos az arcfeldolgozásban fontos, arc-utóhatások alatt adaptációt mutató és az N170 EKP-t is generáló területekkel (Zsadányi-Nagy, 2008).

Végezetül két további fMRI vizsgálatunkban a kategória-specifikus adaptációs utóhatások neurális korrelátumait vizsgáltuk. Egyik eredményünk szerint emberi arcok és kezekből kialakított átfedő kétértelmű ingerek esetén az arcokhoz illetve kezekhez való adaptáció az FFA és az EBA területén viselkedési válasz-függő módon okoz adaptációt: a terület preferált ingeréhez való adaptáció nagyobb fMRI válasz csökkenést okozott azokban az ismétlésekben, amikor az adaptor eltolta az inger felismerését az adattorral ellentétes kategória felé, mint amikor ez nem történt meg. Ez az eredmény arra utal, hogy az adaptációs utóhatás ebben az esetben egyértelműen magyarázható az FFA és EBA területek relatív aktivitás-változásával (Cziráki és mtsai, in rev, Nagy és mtsai, 2009b).

Másik fMRI vizsgálatunkban egyszerre több arcot mutattunk be a periférián mint adaptor ingert és a megjelenő centrális arcra az alanyok feladata nemi döntés volt. Eredményeink szerint az ilyen összetett adaptor inger statisztikája (az arcok átlagos távolsága az androgén arctól) meghatározza a létrejövő utóhatás mértékét. Ez arra utal, hogy az adaptor inger statisztikai jellemzőit gyorsan és flexibilis módon tudjuk kielemezni. Az fMRI vizsgálatok szerint ez a hatás egyedül az FFA aktivitás-csökkenésével korrelál, ami a terület statisztikus adaptációs folyamatokban betöltött szerepére utal (Nagy és mtsai, 2009a).

Összefoglalás

Hogyan lehet magyarázni az arc-utóhatásokat? Az arcfelismerés elméletei egyetértenek abban, hogy az ismerős arcok reprezentációját agyunk valamilyen módon elkódolja és tárolja. A fenti kísérletek mind arra utalnak, hogy ennek a reprezentációnak (arc kategória térnek) a középpontjában egy sosem látott, nem létező prototipikus (vagy átlagos) arc áll, melyet a végtelen számú, környezetünkben valaha is látott arc összeátlagolása révén hozunk létre. Minden, újonnan látott arcot ehhez a prototípushoz hasonlítunk, és a szerint ismerjük fel, azonosítjuk be nemét, korát stb. hogy mennyire különbözik attól. Ez a prototípus azonban folyamatosan változik életünk során. Ennek a változásnak rövid távú megnyilvánulása az adaptáció, melynek során az arc kategória tér eltorzul és mindig az adott adaptor arc tulajdonságaira centrálódik. Ezáltal az átlagosnak ítélt arc közelebb kerül az adaptor arc tulajdonságaihoz. Eredményeink szerint az EKP N170 komponense valamint az okcipito-temporális kéreg kategória-szelektív területeinek tulajdonságai jól tükrözik az adaptációs utóhatásokat.

Irodalmi hivatkozások

- Blaser, E., Papathomas, T.V. & Vidnyánszky, Z. (2005). Binding of motion and color is early and automatic. *Eur. J. Neurosci.* 21(7), 2040-2044.
- Frisby, J.P. *Seeing: Illusion, Bruin and Mind* (1979), Oxford University Press, Oxford,.
- Glasbey C.A. és Mardia K.V. (1998). A review of image warping methods *Journal of Applied Statistics*, 25, 155-171.
- Gower DB, Bird S, Sharma P, House FR (1985) Axillary 5 alpha-androst-16-en-3-one in men and women: relationships with olfactory acuity to odorous 16-androstenes. *Experientia* 41:1134-1136.
- Rossion B, Campanella S, Gomez CM, Delinte A, Debatisse D et al. (1999) The modulation of brain activity related to familiar and unfamiliar face processing: an fMRI study. *Clin. Neurophys.* 110:449-462.
- Webster MA, MacLin OH (1999) Figural aftereffects in the perception of faces. *Psychonomic Bulletin Reviews* 6:647-53.