

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

A vizuális automatikus változás detekció elektrofiziológiai vizsgálata

Kecskés - Kovács Krisztina

Témavezető: Prof. Dr. Czigler István



DEBRECENI EGYETEM

Humán Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2015.

I. Az értekezés célkitűzése, a téma körülhatárolása

Az értekezés a vizuális automatikus változás detekció folyamatait vizsgálja az agyi eseményhez kötött potenciálok (EKP) módszer segítségével. Az értekezés központi témáját megjelenítő elektrofiziológiai komponens, a vizuális eltérési negativitás (vEN) hullám, melynek háttérében álló kognitív folyamatok érzékenységét vizsgáltuk komplex szerveződési formákra.

A hallás területén már jól körülírt eltérési negativitás komponens (Näätänen és mts., 1978-ban azonosították a komponens) regisztrálható olyan változásokra, melyek az ismételt akusztikus mintázatban következnek be. Az eltérési negativitás EKP komponens vizsgálatán keresztül célunk, hogy megértsük egy olyan szenzoros emlékezeti rendszernek a működését, amely képes automatikusan regisztrálni a vizuális környezet eseményeit, tudatos észleleti tapasztalás nélkül (lásd összefoglalás: Stefanics és mts., 2014). E „primitív intelligencia” (elnevezés akusztikus modalitásból: Näätänen és mts., 2001; vizuális modalításban: Czigler, 2010) képes a feladattól függetlenül is detektálni a beérkező események szabályosságait, illetve jelezni egy a szabályosságokat megszegő esemény beérkezését.

Fontos megemlíteni, hogy a vizuális világ egyes eseményei gyakran észrevétlenek maradnak számunkra, hiszen információban igen gazdag a környezetünk (pl.: változási vakság jelensége). Ugyanakkor a vEN kutatások eredményein keresztül láthatjuk, hogy gyakran tudatos élmény nélkül is feldolgozásra kerül a bennünket körülvevő világ információi. Jogosan merül fel a kérdés, hogy mi lehet a funkciója egy ilyen emlékezeti rendszernek, mely képes a szabályosságok regisztrálására, illetve az eltérések detektálására. Elképzelhető, hogy a vEN rendszer egyik funkcionális haszna az orientációs válasz előkészítése lehet, azaz általános éberségi szint emelése és a figyelmi működés megalapozása. Näätänen (1990) e jelenséget „figyelem kiváltó hipotézisnek” nevezte el. Az elképzelés lényege, hogy amennyiben a beérkező input az elvárt eseménnyel egyezik, úgy nincsen információ értéke, míg a különböző vizuális esemény hasznos lehet, új információt hordozhat a bennünket körülvevő világról. Ebben az értelemben a vEN haszna a figyelem irányítása lehetne, mellyel az új információ alaposabb feldolgozását készítené elő. Az elképzelés neurális alapját képezi, hogy a vEN komponens gyakran figyelemfüggő EKP hullámok követik (pl.: P3). Ezen elmélet kiegészítése a prediktív modell, mely az EN rendszer jelentőségét az előfeltevések frissítésében látja („modell frissítés hipotézis”, Winkler, 2007; Czigler, 2007; Kimura, 2012; Stefanics és mts., 2014), miképpen az elvárttal nem egyező vizuális input jelenléte a prediktív modell környezethez való igazodását igényli.

Az utóbbi évtized kutatásai alátámasztották, hogy a vizuális modalitásban is létezik egy olyan szenzoros tár, amely képes a vizuális események közötti változás detektálására. Más szóval az emberi látórendszer képes automatikusan reprezentálni a környezeti statisztikai valószínűségeket és regisztrálja az ettől eltérő, meglepő eseményeket. Vizuális eltérési negativitás regisztrálható több, a szabályosságokat megszegő ingerekre, mint például a színek változása (pl.: Czigler és mts., 2002), az orientáció- (pl.: Astikainen és mts., 2004) vagy a téri frekvencia változása (pl.: Sulykos és Czigler, 2011). Ugyanakkor magasabb kognitív szintek működése is bevonódhat az automatikus változás detekció feldolgozási folyamataiba, mint például a vizuális objektumok közötti szabálytalanság (Müller és mts., 2013) vagy a ritka lexikális információ megjelenése (Shtyrov és mts., 2013) (továbbá lásd a téma összefoglalását: Stefanics és mts., 2014). A vEN komponens az inger bemutatását követő 110-400 msec latenciával jelenik meg, negatív polaritású és poszterior eloszlás jellemzi.

Az értekezés tézis kérdéseinek megfogalmazását közvetlenül megalapozó tanulmányok a vEN kapcsolatát vizsgálták különböző természetes ingerekkel (pl.: kezek, Stefanics és Czigler, 2012; érzelmek, Astikainen és Hietanen, 2009). A tézis tanulmányok során feltételeztük, hogy ezen automatikus változásdetektor rendszer működése túlmutat az eddig feltárt feldolgozási folyamatokon és magasabb szintű észlelési folyamatok is érintettek lehetnek.

Az értekezés egyik fő kérdése, hogy az automatikus változást detektáló rendszer érzékeny-e egy komplex környezeti eseményekre, még abban az esetben is, ha azok a viselkedés szervezés szempontjából irrelevánsak. A másik fő kérdés, hogy vajon magasabb szintű perceptuális kategorizációs folyamatok is kapcsolódnak-e a vEN mögött álló memória folyamatokhoz.

Az értekezés tézis tanulmányaiban bemutatott vizuális események két fő dimenzió mentén különböztethetőek meg: az egyik esetben absztrakt, jelentés nélküli szerveződési formákat; míg a másik esetben jelentéshez köthető, természetes, hétköznapi ingereket mutattunk be, ekképpen tárva fel a kapcsolatot a vEN rendszere és az automatikus perceptuális kategorizáció folyamatai között. Utóbbiról ismeretes, hogy nagymértékben segíti a hétköznapi világban való tájékozódásunkat. Tehát a perceptuális kategorizáció adaptív funkció, lehetővé teszi számunkra, hogy eldöntsük, hogy az aktuális vizuális objektumhoz hasonlóval találkoztunk-e már vagy sem. Az azonosítás folyamatát meggyorsíthatja, ha képesek vagyunk a fizikailag eltérő objektumokat, eseményeket egy közös attribútum mentén halmazokba (kategóriákba) rendezni, valamint el is tudjuk e halmazokat különíteni egymástól. Ismeretes, hogy a központi idegrendszer egyik kiemelt feladata a beérkező események megkülönböztetése egymástól, a kategorizáció e működést teszi hatékonyabbá. Az informatív működéshez elengedhetetlen a fontos részletek kiemelése, illetve az irreleváns információktól való eltekintés. A kategorizáció

komplex folyamatának feladata a kategóriák megkülönböztetése egymástól, illetve a kategória tagok kezelése (lásd téma összefoglalását: Rosch, 1999; Pothos és Wills, 2011).

A tézis kérdések megfogalmazásakor feltételeztük, hogy a perceptuális kategorizáció és a változás detekció folyamatai között kapcsolat lehet. Ekképpen a vEN háttérében működő hierarchikusan szerveződő perceptuális memória folyamatai magasabb szintű kognitív folyamatokat is érinthet.

II. Az alkalmazott módszerek

A tézis tanulmányok közös módszertani alappal rendelkeznek, melyeket a tanulmányok ismertetése előtt bemutatunk. Alapvetően négy eseményhez kötött potenciál tanulmányt láthatunk, melyek adatfelvételei és adatfeldolgozási paraméterei nagyjából megegyeznek (pl.: 500 Hz mintavételi frekvencia, 64 elektróda, hasonló műtermék szűrők, átlagolási technika használata). Továbbá az kísérletben résztvevő egészséges személyek száma, kora, neme megegyezett.

A tézis tanulmányokban a vEN kísérletek hagyományos ingerbemutató elrendezését alkalmaztuk az ún. kakukktójtás kísérleti paradigmát, melyben a gyakori ingerek szekvenciájában beágyazva, kakukktójtás szerűen (általában az esetek 10-20%-ban) megjelennek eltérő vizuális ingerek. A szabályszerűségek mellett a bemutatott feladat jellege is mérvadó, pontosabban, hogy a vEN komponens kiváltó ingerek a feladat részét képezik-e. Az adatok elemzésekor a gyakori és ritka vizuális eseményekre regisztrált agyi válaszokat hasonlítjuk össze. A vEN komponens tulajdonképpen egy különbségi hullámon látható (ritka-mínusz- gyakori események EKP-i).

Az első tézis tanulmányban eddig nem vizsgált, absztrakt szerveződési formák szekvenciális bemutatását alkalmaztuk, melyek kívül estek a résztvevők figyelmi fókuszán (a felső látótérben bemutatott elsődleges feladatot egy videojáték képezte). A kísérletben bilaterális szimmetrikus és random rácsmintázatokat mutattunk be, melyek képről-képre fizikai megjelenésükben különböztek egymástól, ugyanakkor azonos perceptuális kategóriába tartoztak. A szimmetria kategóriáját azért választottuk, mert a természetes tárgyak jelentős része önmagában véve szimmetrikus, ekképpen a látórendszerünk gyorsan, automatikusan képes feldolgozni. Alapvető szerveződési elvként kitüntetett ingerkategóriaként lehet meghatározni (Treder, 2010). Ekképpen nem meglepő, hogy a látórendszer adaptív stratégiákat dolgozott ki a szimmetria észlelésére és felhasználására (Wagemans, 1995). A látórendszer a szimmetria észlelésekor közvetlenül elkülöníti a (szimmetrikus) figurát a háttértől, mely egy

akaratlan, nem-tudatos észlelési folyamat. Mach (1959; lásd összefoglaló: Machilsen és mts., 2009) volt az első, aki leírta a szimmetria három fajtáját: ismétléses-, tükör- és forgási szimmetria. Mach (1959; lásd összefoglaló: Machilsen és mts., 2009) szerint a tükörszimmetria észlelése során könnyebben, gyorsabban (elég 50 msec a felismeréshez) hozunk hasonlóságon alapuló döntéseket, ha az alakzatok vertikálisan és nem pedig horizontálisan vannak tükrözve, ekképpen az első tézis tanulmányban vertikálisan tükrözött alakzatokat jelenítettünk meg.

A **második és harmadik tézi tanulmányok** a nemi arcok automatikus feldolgozási folyamatainak idegi korrelátumait vizsgálták. A fő módszertani különbség a tanulmányok között az alkalmazott feladatban rejlik. A második tézis tanulmányban figyelt kísérleti feltételt (aktív kísérlet) alkalmaztunk, melyben az arcok neme képezte a feladat részét. Pontosabban a ritka (kakukktójas) arcokat célingerként definiáltuk, a kísérletben résztvevők előzetes instrukciók alapján, kötelező választással jelezték a célinger megjelenését (nemi diszkriminációs feladat). A harmadik tézis tanulmányban a nemi arcok feladatfüggetlen helyzetben jelentek meg (passzív kísérlet), a látómező periferiáján (az elsődleges feladatot, mely egy méretváltozás detekciós teszt volt, a képernyő közepén mutattuk be). A két kísérlet különbözőségének legfőbb oka, hogy tesztelni akartuk, az automatikus perceptuális kategorizációs folyamatokat, más szóval megmértük, hogy a sok különböző arcot (40 nő és 40 férfi) egy kontinuum mentén (nemi kategória) a feldolgozó rendszer képes-e egy közös halmazba rendezni, miközben a feladat részét képezi (aktív kísérlet), vagy éppen független a résztvevő céljától (passzív kísérlet). Az arcok kategóriájának használatát az ökológiai relevanciája adta, hogy a hétköznapi szociális interakcióinkban kiemelt, sokat látott ingerkategória, mely detektálásában szakértők vagyunk. Továbbá az arcfeldolgozás jól körülírható modelljének, (Bruce és Young, 1986) több idegi korrelátumát is leírták (pl.: Bentin és mts., 1996). Ugyanakkor az arcok nemi dimenziója kevésbé kutatott terület, szemben az arcokon megjelenő érzelmek vagy éppen az ismerőség aspektusával. Az arcok nemi identitásának azonosítására nincsen külön idegrendszeri modell, hogy hol, mikor történik a pontos azonosítása. Elképzelésünk szerint, a kísérleteink által differenciáltabb képet kaphatunk az arcfeldolgozás e szakaszáról, mely vélhetően egy igen korai, alapvető mechanizmus.

A **negyedik tézis tanulmányban** szintén absztrakt, komplex mintákat mutattunk be, melyek segítségével a vizuális keresési aszimmetria viselkedéses jelenség agyi megfelelőjét vizsgáltuk (jelenség röviden: a jobb viselkedéses teljesítményt regisztrálhatunk, amennyiben egy vizuális objektumon további inger tulajdonság jelenik meg, ellentétben azzal, ha egy ingersajátság hiányzik, lásd Wolfe, 2001). A kísérleti hipotézisünk szerint a e jelenség figyelmi működés hiányában is megjelenik, melyet pszichofiziológiai eredményekkel lehet alátámasztani, mely

feltételezéshez a vEN komponens mérése nyújt megfelelő lehetőséget. Ekképpen kísérleti elrendezések ingeranyagát absztrakt mintázatok alkották, melyek egymáshoz képest +/- egy ingertulajdonság mentén tértek el („O” és ’Q” homogén és heterogén mintázatok).

III. Az eredmények tézisszerű felsorolása

1. A perceptuális rendszer automatikusan, a résztvevő céljától függetlenül regisztrálja a szimmetriát, mint perceptuális kategóriát. Az eredményeink szerint negatív különbség hullám figyelhető meg, poszterior eloszlással két latencia sávban (112-120 msec és 284-292 msec). E két negativitást vEN komponenseknek tekintettük, pontosabban vélhetőleg a vEN két alkomponensét azonosítottuk, melyek lépcsőzetes, egymásra épülő automatikus hibajelként működhetnek. Eredményeink támogatják azon elképzelést, hogy a vEN komponens háttérben egy hierarchikusan szerveződő rendszer állhat, mely összetett hibajellel reagál az elvárttal nem egyező környezeti esemény megjelenésére (vEN komponens). Ekképpen megállapítható, hogy a bilaterális szimmetria kategóriája egy kiemelkedő (száliers) ingerkategória, melytől való eltérést a vizuális rendszer azonnal jelezi (vEN) még abban az esetben is, ha nem köthető az aktuális viselkedéshez.

2. Azonosítottuk az arcok feldolgozásának neurális korrelátumaként ismert N170 komponens, illetve a ritkán bemutatott eltérő nemű arcok negatívabb EKP-t váltottak ki (300 msec csúcslatenciával), mint a gyakori arcok. E negatív különbséget a nemi kategóriák közti váltás detekciójának agyi korrelátumaként azonosítottuk (vEN komponens). Az eredményeink demonstrálják, a vEN komponens megjelenésével, hogy az észlelő rendszer érzékeny az arcok nemi kategóriájának diszkriminációjára. Jelen tanulmány az arcok egy kevésbé vizsgált tulajdonságának automatikus feldolgozásával foglalkozott.

3. Eredményeink szerint az arcok strukturális feldolgozáshoz köthető N170 komponensre nincsen hatással az arcok nemi kategóriájának megkülönböztetése. A tanulmány legfontosabb eredménye azonban, hogy ritka, kakukktojás nemi kategóriájú arcok kiváltották a vEN komponens (350 msec csúcslatenciával). A vEN komponens későbbi latenciával jelentkezett, a második tanulmány komponenséhez képest, melynek oka az arc ingerek feladatfüggetlen bemutatásában keresendő. Fontos megjegyezni, hogy aktív figyelem nélkül a látórendszer képes volt a fizikailag különböző arcokat egy közös nemi kategória reprezentációba rendezni.

4. A tanulmány eredményei erőteljes bizonyítékot szolgáltatnak a vizuális keresési aszimmetria robosztus jelenségére, hiszen a figyelt viselkedéses eredmények mellett sikerült egy nem figyelt helyzetben hasonló eredményt felmutatni, azaz egy további tulajdonság megjelenése feltűnőbb

a vizuális rendszernek, mint egy tulajdonság hiánya (vEN komponens Exp.1.: 210 msec vs. 254 msec; Exp.2.: 254 msec vs. 286 msec lateciával jelent meg). Továbbá elmondható, hogy az automatikus változás detekciós rendszer nem csupán erőteljes változásokra érzékeny (első kísérlet homogén minták változása), hanem a mintázatkisebb eltéréseire is. Összegezve elmondható, hogy a vizuális rendszer bizonyos változásokra érzékenyebb, mely aszimmetria eddig csupán az aktív vizuális keresési feladatok teljesítményében jelent meg.

Összefoglalva elmondható, hogy az értekezés fókuszában a kategória-függő vizuális eltérési negativitás (vEN) komponenssel kapcsolatos folyamatok vizsgálata állt. A bemutatott tézis tanulmányok eredményei alapján elmondhatjuk, hogy a vEN háttérben álló szenzoros memória rendszer érzékeny a magasabb rendű struktúrák változásaira, képes komplex ingerkategóriák reprezentálására.

IV. A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények és egyéb közlemények



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/51/2015.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kecskés-Kovács Krisztina
Neptun kód: VHVSZB
Doktori Iskola: Humán Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10033263

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

- *1. **Kecskés-Kovács K.**, Czigler I.: Arcok nemi kategorizációs folyamatainak elektrofiziológiai korrelátumai.
Pszichológia. 34 (3), 207-224, 2014. ISSN: 0230-0508.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/Pszicho.34.2014.3.1>

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (3)

2. Czigler, I., Sulykos, I., **Kecskés-Kovács, K.**: Asymmetry of automatic change detection shown by the visual mismatch negativity: An additional feature is identified faster than missing features.
Cogn Affect Behav Neurosci. 14 (1), 278-285, 2014. ISSN: 1530-7026.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3758/s13415-013-0193-3>
IF:3.209 (2013)
3. **Kecskés-Kovács, K.**, Sulykos, I., Czigler, I.: Is it a face of a woman or a man? Visual mismatch negativity is sensitive to gender category.
Front. Hum. Neurosci. 7 (532), 1-11, 2013. ISSN: 1662-5161
DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2013.00532>
IF:2.895



* A közlemény affiliációjával kapcsolatosan a *Pszichológia* (2014) 34, 4, p. 457 számában 10.1556/Pszicho.34.2014.4.9 azonosítóval helyreigazítást közöltek.

Cím: 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. ☐ Postacím: 4010 Debrecen, Pf. 39. ☐ Tel.: (52) 410-443
E-mail: publikaciok@lib.unideb.hu ☐ Honlap: www.lib.unideb.hu



4. **Kecskés-Kovács, K.**, Sulykos, I., Czigler, I.: Visual mismatch negativity is sensitive to symmetry as a perceptual category.
Eur. J. Neurosci. 37 (4), 662-667, 2013. ISSN: 0953-816X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/ejn.12061>
IF:3.669

További Közlemények

Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (2)

5. Sulykos, I., **Kecskés-Kovács, K.**, Czigler, I.: Asymmetric effect of automatic deviant detection: The effect of familiarity in visual mismatch negativity.
Brain Res. Epub ahead of print (2015) ISSN: 0006-8993.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2015.02.035>
IF:2.828 (2013)
6. Sulykos, I., **Kecskés-Kovács, K.**, Czigler, I.: Mismatch negativity does not show evidence of memory reactivation in the visual modality.
J. Psychophysiol. 27 (1), 1-7, 2013. ISSN: 0269-8803.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1027/0269-8803/a000085>
IF:1.425

Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (1)

7. Török, Á., Sulykos, I., **Kecskés-Kovács, K.**, Persa, G., Galambos, P., Kóbor, A., Czigler, I., Csépe, V., Baranyi, P., Honbolygó, F.: Comparison between wireless and wired EEG recordings in a virtual reality lab: Case report.
Cognitive Infocommunications (CogInfoCom) 1 (1), 599-603, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CogInfoCom.2014.7020414>





Idegen nyelvű absztrakt kiadvány(ok) (2)

8. Czigler, I., Sulykos, I., **Kecskés-Kovács, K.**: Refractory issue and visual mismatch negativity: A skeleton in the cupboard.

Int. J. Psychophysiol. 94 (2), 155-, 2014. ISSN: 0167-8760.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.08.689>

9. **Kecskés-Kovács, K.**, Sulykos, I., Czigler, I.: The female is a real oddball between males: a vmrn study to automatic gender face category changing.

Psychophysiology. 50 (1), 25, 2013. ISSN: 0048-5772.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12120>

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 14,026

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 9,773

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2015.02.26.



V. Hivatkozások

Astikainen, P., Ruusuvirta, T., Wikgren, J. & Korhonen, T. (2004). The human brain processes visual changes that are not cued by attended auditory stimulation. *Neuroscience Letters*, 368(2), 231-234.

Astikainen, P. & Hietanen, J. K. (2009). Event-related potentials to task-irrelevant changes in facial expressions. *Behavioral and Brain Functions : BBF*, 5, 30

Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E. & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological Studies of Face Perception in Humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 551–565.

Bruce, V. & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77 (3), 305–327.

Czigler, I., Balázs, L. & Winkler, I. (2002). Memory-based detection of task-irrelevant visual changes. *Psychophysiology*, 39, 869-873.

Czigler, I. (2007). Visual Mismatch Negativity. *Journal of Psychophysiology*, 21(3), 224–230

Czigler, I. (2010). Representation of regularities in visual stimulation. In: Czigler, I. & Winkler, I. (szerk.), *Unconscious memory representations in perception: process and mechanisms in the brain*, (107-130), John Benjamins Publishing Company, Amsterdam, Netherlands.

Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E. & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological Studies of Face Perception in Humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 551–565

Bruce, V. & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77 (3), 305–327.

Kimura, M. (2012). Visual mismatch negativity and unintentional temporal-context-based prediction in vision. *International Journal of Psychophysiology*, 83(2), 144–155.

Machilsen, B., Pauwels, M. & Wagemans, J. (2009). The role of vertical mirror symmetry in visual shape detection. *Journal of Vision*, 9 (11), 1–11.

Müller, D., Widmann, A., & Schröger, E. (2013). Object-related regularities are processed automatically: evidence from the visual mismatch negativity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 259.

Näätänen, R., Gaillard, A.W.K. & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313–329.

Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences*, 13, 201–288.

Näätänen, R., Tervaniemi, M., Sussman, E., Paavilainen, P. & Winkler, I. (2001). “Primitive intelligence” in the auditory cortex. *Trends in Neurosciences*, 24(5), 283-288.

- Pothos, E.M. & Wills, A.J (szerk.)(2011). Formal approaches in categorization. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom.
- Rosch, E. (1999). Principles of categorization. In: Margolis, E. & Laurence, S. (szerk.). *Concepts: core reading* (189-205). MIT Press, Cambridge, Massachusetts (United States).
- Shtyrov, Y., Goryainova, G., Tugin, S., Ossadtchi, A., & Shestakova, A. (2013). Automatic processing of unattended lexical information in visual oddball presentation: neurophysiological evidence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 421.
- Stefanics, G. & Czigler, I. (2012). Automatic prediction error responses to hands with unexpected laterality: An electrophysiological study. *NeuroImage*, 63(1), 253–261
- Stefanics, G., Kremlacek, J. & Czigler, I. (2014). Visual mismatch negativity: a predictive coding view. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 666.
- Treder, M. S. (2010). Behind the looking-glass: A review on human symmetry perception. *Symmetry*, 2, 1510–1543.
- Wagemans, J. (1995). Detection of visual symmetries. *Spatial Vision*, 9(1), 9-32.
- Winkler, I. (2007). Interpreting the mismatch negativity. *Journal of Psychophysiology*, 21(3-4), 147-163.
- Wolfe, J. M. (2001). Asymmetries in visual search: an introduction. *Perception & Psychophysics*, 63(3), 381–389.