

A vizuális automatikus változás detekció elektrofiziológiai vizsgálata

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében, pszichológia tudományágban

Írta: **Kecskés - Kovács Krisztina** okl. pszichológus

Készült: Debreceni Egyetem Humán Tudományok Doktori Iskola,

Pszichológia Program

Témavezető: Prof. Dr. Czigler István

Doktori szigorlati bizottság

Elnök: Dr. Habil. Polonyi Tünde

Tagok: Dr. Kondé Zoltán

Dr. Balázs László

Doktori szigorlat időpontja

Az értekezés bírálói

Dr. Balázs László

Dr. Háden Gábor

A bíráló bizottság

Elnök: Dr.

Tagok: Dr.

Dr.

Dr.

A nyilvános vita időpontja: 20... ..

„Én, Kecskés - Kovács Krisztina, teljes felelősségem tudatában kijelentem, hogy a benyújtott értekezés önálló munka, a szerzői jog nemzetközi normáinak tiszteletben tartásával készült, a benne található irodalmi hivatkozások egyértelműek és teljesek. Nem állok doktori fokozat visszavonására irányuló eljárás alatt, illetve 5 éven belül nem vontak vissza tőlem odaítélt doktori fokozatot. Jelen értekezést korábban más intézményben nem nyújtottam be és azt nem utasították el.”

.....

Köszönetnyilvánítás

Az értekezés alapjául szolgáló kutatásokat az MTA TTK, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézetében, a Kognitív Idegtudományi Kutatócsoport tagjaként végeztem. Szeretnék köszönetet mondani a csoport és az intézet minden tagjának, akik szakmai tudásukkal hozzájárultak a kutatásaim sikerességéhez.

Külön köszöntet szeretnék mondani témavezetőmnek, Czigler Istvánnak a közös munka lehetőségéért. Tanár Úr mentorálása által indultam el a tudományos pályán, szakmai elhivatottsága, megértő, önzetlen természete hozzájárult ahhoz, hogy kutató váljak belőlem. Tőle tanultam meg, hogy merjek megkérdőjelezni és igyekezzek jó kérdéseket megfogalmazni a világ működésével kapcsolatban. Fanyar humora mindig felderítette a munkamegbeszéléseket.

Szeretnék köszönetet mondani Sulykos Istvánnak is, akivel együtt töltöttük a doktori képzés „gyermek éveit”. Mindig precíz, megbízható munkája, tudományos lelkesedése hozzájárult a közös munka sikerességéhez.

Hálával tartozom D’Albini Zsuzsának és Kovács Zsannának a megbízható asszisztensi segítségért. Mosolyogva gondolok a vizuális labor hangulatára is, mely üdítő pillanatokat Bodnár Flóra és File Domonkos egyénisége jelentette nekem, még egy kevésbé jó napon is.

Szeretnék köszönetet mondani a Debreceni Egyetem Pszichológia Intézetének a támogatásért. Külön hálával tartozom Zeke Klárinak, aki mindig segített eligazodni az ügyes-bajos adminisztrációs feladatok intézésében.

Végül szeretném megköszönni családomnak a tanuló évek támogatását és szeretetét. Külön köszöntet szeretnék mondani férjemnek, aki bizalommal, lelkesedve tekintett a munkámra, valamint türelemmel, megértéssel viselte az értekezés megírását.

Tartalomjegyzék

Elméleti bevezető	7
Eseményhez kötött potenciálok módszere.....	7
Az értekezés szempontjából hangsúlyos vizuális modalitáshoz köthető komponensek áttekintése	9
Eltérési negativitás agyi válasz.....	15
Az értekezés szempontjából releváns vizuális figyelmi folyamatok.....	18
Változási vakság (change blindness).....	19
Figyelmi pislogás (attentional blink).....	25
Vizuális keresés	28
Vizuális eltérési negativitás (vEN) korai vizsgálata.....	32
A vEN tanulmányok: egyszerű ingerek, különböző ingersajátságok együttese, komplex szabályszerűségek.....	37
Az eltérési negativitás komponens háttérében működő folyamatok lehetséges magyarázatai	41
A vEN lehetséges forrásai, bevonódó neurális területek; vEN rendszer funkciója; nem humán adatok.....	46
Perceptuális Kategorizáció	48
A tükörszimmetrikus mintázatok feldolgozásának mechanizmusai, modellje, anatómiai és pszichofiziológiai háttere	51

Az arc ingerek feldolgozásának mechanizmusai, modellje, anatómiai és pszichofiziológiai háttere.....	53
Tézis tanulmányok.....	58
Az értekezés kérdéseit megalapozó gondolatok.....	58
Tézis kérdések tényszerű felsorolása.....	59
A vizuális eltérési negativitás érzékenysége a szimmetriára, mint perceptuális kategóriára (Visual mismatch negativity is sensitive to symmetry as a perceptual category)	60
Arcok nemi kategorizációs folyamatainak elektrofiziológiai korrelátumai (Event-related potentials correlates of gender face discrimination processes)	63
Nő vagy férfi? Vizuális eltérési negativitás érzékenysége a nemi kategóriára (Is it a face of woman or a man? Visual mismatch negativity is sensitive to gender category)	65
Az automatikus változás detekciós folyamatok (vEN) aszimmetriája: egy hozzáadott vizuális tulajdonság azonosítása gyorsabb, mint a hiányzó sajátosságoké (Asymmetry of automatic change detection show by the visual mismatch negativity: An additional feature is identified faster than missing features).....	67
Összefoglalás	69
Az első tézis tanulmány eredményeivel kapcsolatos megjegyzések	70
A második és harmadik tézis tanulmány eredményeivel kapcsolatos megjegyzések ...	71
A negyedik tézis tanulmány eredményeivel kapcsolatos megjegyzések.....	72
Kritikai tanulságok, felvetendő kérdések, további kutatási irányok.....	72
Az (vizuális) eltérési negativitás vizsgálatának gyakorlati jelentősége.....	74

Irodalomjegyzék	76
Ábrajegyzék	97
Táblázatok jegyzéke	99
Mellékletek	100
Publikációs lista.....	100
Videó illusztráció:	102
Az értekezés magyar nyelvű összefoglalója.....	103
Az értekezés angol nyelvű összefoglalója	105
Az értekezésben szereplő tanulmányok eredeti formátumban	107

Elméleti bevezető

Doktori értekezésem téziseit a pszichofiziológia tudományterület keretein belül fogalmazom meg. Ádám György nyomán ismeretes, hogy a pszichofiziológia egy „interdiszciplináris ágazat, mezsgye az idegélettan és a kísérleti lélektan határán” (Ádám, 6. oldal, 1972). Tulajdonképpen pszichológiai jelenségeket vizsgálunk biológiai, élettani, orvosi módszerekkel. Az értekezés fókuszában az eseményhez kötött potenciál (továbbiakban EKP) módszerével vizsgált kognitív jelenségek állnak. Ahhoz, hogy megértsük e tanulmányok eredményeit, szükséges az EKP módszer, illetve a téma szempontjából releváns EKP komponensek rövid áttekintése.

Eseményhez kötött potenciálok módszere

Az első emberi EKP felvételeket Pauline és Hallowell Davis készítették 1935-1936 között (Luck, 2005), az első számítógépes technikával rögzített EKP hullámokat Galamos és Sheatz (Luck, 2005) publikálták. A módszer népszerűségének töretlenségét mutatja, hogy a Science Direct tudományos adatbázis keresője több mint 100.000 találatot hoz az EKP (angolul: event-related potential) kifejezésre.

Az emberi agy igen komplex struktúra, melyből adódik, hogy az agyból eredő elektromos jelek jellege is komplex. Az idegrendszer elemei kommunikálnak egymással, mely elektromos jelet eredményez, e folyamatos, multidimenzionális jelet méri az EEG (elektroenkefalogram) mérőeljárás. Az EKP az elektrofiziológiai mérések egyik fajtája, melyet a fejbőről elvezett EEG jel grafikus megjelenítéséből kapunk. A vizsgálni kívánt folyamatokhoz kapcsolódó ingerek többszöri bemutatása közben rögzített EEG szakaszok átlagolásával kapjuk az EKP hullámokat (Donchin és mts.1978; lásd még: Luck, 2005). Az ingerlések által kiváltott néhány mikrovoltos (μV) nagyságrendű feszültség változások beágyazódnak egyéb agyi elektromos (többszörös nagyságrendű) működésekbe, mely háttértevékenységben elveszne az események által kiváltott válasz, így az alacsony jel-zaj arány javítása szükséges. A disszertáció tézis tanulmányaiban az átlagolási technikát használtunk az arány javítására, melynek a lényege, hogy a vizuális eseményt körülbelül 150-500 alkalommal bemutatjuk be, majd az események által kiváltott jelet átlagoljuk. Ekképpen az időben ugyanakkor regisztrálható, vizsgálni kívánt jel kiemelkedik, míg a random háttér zaj kiátlagolódik. A feldolgozás további szakaszában szűrőket alkalmazunk,

mellyel kizárjuk a különböző műtermékeket (pl.: 0,1 Hz és 30 Hz szűrés, a tartományon kívüli frekvenciákat szűri ki, lásd még: Luck, 2005).

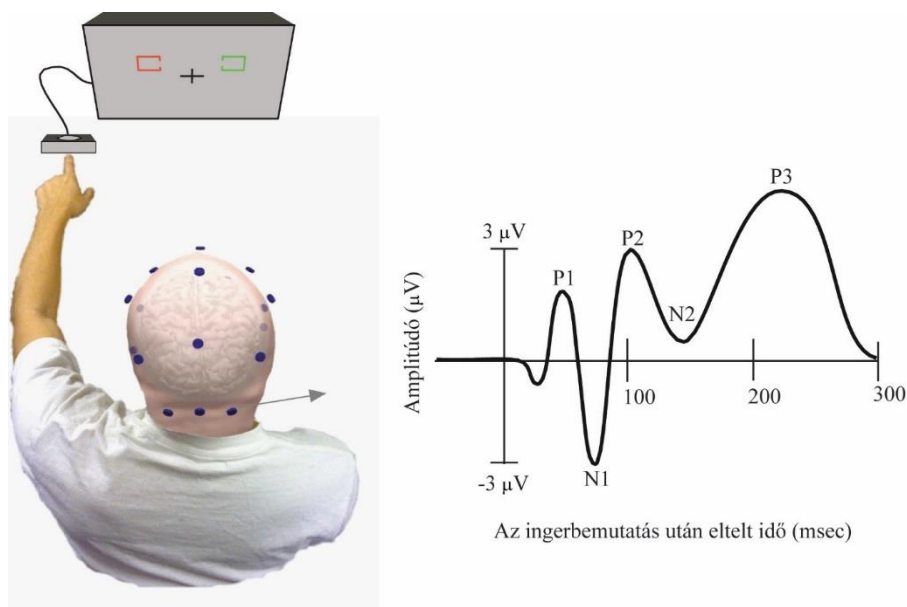
Az EKP módszere alapvetően a perceptuális, figyelmi, emlékezeti és elemi affektív jelenségekkel kapcsolatos időbeli kérdések megválaszolása alkalmas, azaz az EKP hullámok az agyi elektromos aktivitás időbeli eloszlását fejezik ki. Az EKP megközelítő becslés arra vonatkozóan, hogy az agynak mely területe aktiválódik az előidézett esemény előtt/alatt/ után. A különböző kísérleti manipulációk különböző morfológiájú és eloszlású hullámokat eredményeznek. A kísérletekben bemutatott ingerekkel kiváltott események észlelési tapasztalata nem csak az ingerek fizikai tulajdonságaitól függhet, hanem az észlelő pillanatnyi mentális állapotát is tükrözhetik, mint például: éberségi szint, figyelem iránya, releváns múltbeli tapasztalatok, elvárások és motivációk (Hillyard és mts., 1978). Összességében elmondható, hogy az EKP egy általános elnevezés, amely valamennyi hullámtípust magába foglalja. Ezen hullámokat megkülönböztethetjük aszerint, hogy milyen ingerlés váltja ki pl.: egy szenzoros esemény vagy valamilyen kognitív feladat (Goff és mts., 1978; lásd még Luck, 2005). Az EKP jelek komponens szemléletű felosztása központi jelentőségű e módszerrel foglalkozó tanulmányokban, hiszen a független változók hatását, kapcsolatát vizsgáljuk a különböző komponensekkel (Donchin és mts., 1978; Luck, 2005). Az ismételt ingerlés során a komponensek megjelenését már röviddel az ingerbemutatását követően láthatjuk (onset time) és akár negyed másodperc elteltével is azonosíthatunk pszichológiai szempontból releváns komponenseket. A bemutatott eseményhez kötött potenciál komponensek jellemző amplitúdóval (mikrovolt= μV), latenciával (milisecundum=msec) és skalp eloszlással definiálhatók. A komponensek nevét polaritása és a csúcslatenciája adja. A bemutatott ingerek fizikai paramétereitől, illetve a kísérleti személy mentális állapotától jelentősen függhet a megjelenő komponensek amplitúdója és latenciája. A komponensek skalp eloszlása elsősorban az inger modalitásától függ. A hagyományos felosztás szerint két nagy csoportot különböztetünk meg: exogén és endogén komponensek. Előbbi a válaszokat kiváltó ingerek fizikai sajátosságaitól függnék, azaz leginkább a szenzoros modalitáshoz köthető válaszok. Utóbbi komponensek leginkább a személy belső kognitív folyamataitól, tapasztalataitól, elvárásaitól, döntéseitől függ, illetve az elvégzendő feladat paraméterei, valamint a kísérleti instrukciók is befolyásolhatják.

Az EKP kísérletek fontos lépcsője a különböző komponensek azonosítása, illetve az eredmények leírásaként a funkcionális kapcsolat azonosítása a komponensek és a kísérlet

független változói között. Ekképpen az EKP módszere hasznos mérőeszköz az agy kognitív funkcióinak tanulmányozására.

Az értekezés szempontjából hangsúlyos vizuális modalitáshoz köthető komponensek áttekintése.

Az első vizuális EKP kísérletek során az ún. „flash” ingerlés által kiváltott válaszokat vizsgálták. A kísérleti ingerekként például különböző intenzitású mintákat használtak vagy éppen a vizuális térben elfoglalt pozíció hatását vizsgálták a vizuális EKP-ra. A vizsgált kiváltott válaszok igen rövid latenciával rendelkeztek pl.: N20, P50, P65 stb., illetve a szubkortikális vizuális agyi struktúrák aktivitását tükrözték (Proverbio és Zani, 2002). A kísérletek során konzisztensen megjelenő vizuális kiváltott válaszokat figyeltek meg, melyek P1 és N1 komponensként váltak széles körben ismertté (Starr és mts. 1978). A korai komponensek vizsgálatával az alapkutatáson túl a klinikai gyakorlat is foglalkozik. Utóbbi terület a vizuális rendszer ép működését vizsgálja e komponensek segítségével. Az **N1** vagy N100 (lásd 1. ábra) az egyik legtöbbet elemzett vizuális komponens, mely felvillanó mintázatok (pl.: sakktábla mintázat) észleléséhez kapcsolódik, az ingerbemutatás után 100-180 milisekundumos (msec) latenciával, negatív polaritással megjelenő hullám. Az N1 hátulsó parieto-okcipitális középvonali agyi területek mindkét féltekei oldalán regisztrálható.



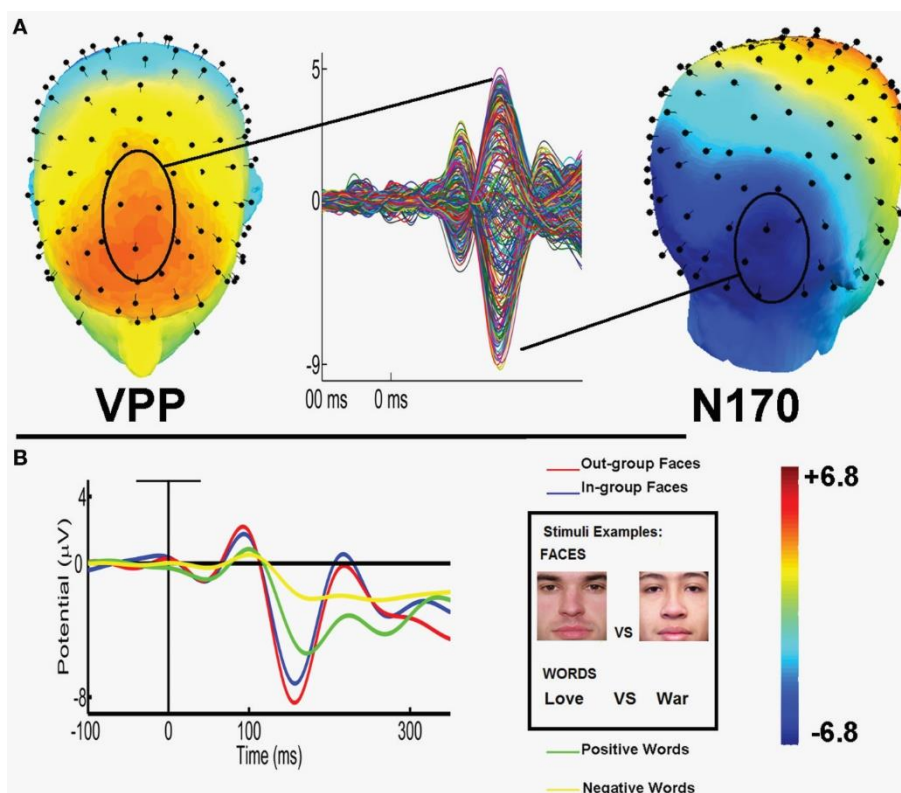
1. Ábra: Idealizált EKP hullámok megjelenítése egy kísérleti feladat végzése közben. Az ingerbemutatástól eltelt időt (msec), valamint a komponensek töltését (μV) is láthatjuk. A kép Woodman elméleti összefoglaló munkája alapján készült (Az eredeti ábrát módosítottuk. Forrás: Woodman, 2010, lásd ábrajegyzék).

Az N1 komponens latenciája és amplitúdója nagyban függ a bemutatott ingerek fizikai megjelenésétől, továbbá egy vizuális objektum megjelenésekor, eltűnésekor, illetve az objektumok közötti változáskor is regisztrálható. A fizikai sajátágok mellett a szelektív figyelmi folyamatok is befolyásolják (pl.: Hillyard és Anllo-Vento, 1998, kimutatta, hogy a figyelem mértékével egyenesen arányos az N1 komponens nagysága).

Vogel és Luck (2000) vizuális diszkriminációs feladatban tesztelték az N1 hullám változásait. Eredményeik szerint a N1 amplitúdója nagyobb a diszkriminációs feladathelyzetben, mint az egyszerű detekciós vizsgálatban, ekképpen megállapítható, hogy a vizuális események közti differenciálás folyamatához is kapcsolódhat az N1 aktivitás. A N1 háttérfolyamatainak elengedhetetlen szerepe van a megbízható téri reprezentációk kialakításában, melyek szükségesek a világ eseményeinek hatékony és pontos megértéhez (Wascher és mts., 2009). Wascher és munkatársai (2009) szerint az N1 komponens háttérben működő feldolgozási folyamatoknak a téri-vizuális információ abszolút (fixációs alapú) koordinátákon alapuló, illetve a relatív (a többi tereptárgyhoz viszonyítva) koordinátákon alapú kódolásának tekintetében is fontos szerepük van. Feltételezhető, hogy a kétféle kódolás különböző kérgi hálózatokat érinthet, különböző céllal. Tágabb értelemben véve az abszolút kódok a célirányos viselkedésben fontos (hol találjuk meg az adott tárgyat), míg a relatív kódolás a külvilág tudatos észlelésében (téri és időbeli kapcsolatok kódolása) vehet részt. Úgy tűnik, hogy az N1 háttérben működő vizuális rendszer kódolja ezen információkat, ekképpen viszonylag komplex tartalmak is szerepet kaphatnak a korai szelekciós vizuális folyamatokban (N1 komponens háttérben álló rendszer).

Az értekezésben bemutatott tanulmányok szempontjából fontos röviden jellemezni az **N170** komponenst is (lásd 2. ábra), mely az arcészlelés elektrofiziológiai korrelátumaként vált ismeretessé (Bentin és mts., 1996, lásd összefoglaló: Eimer (2011)). Emberi arcok és arc-szerű mintázatok bemutatásakor regisztrálható nagy negatív hullám az okcipito-temporális területeken, melynek neve a 170 msec csúcslatenciából ered (magyarul: Kovács, 2008). Úgy tűnik, az arcok azonosításáért a vizuális rendszer egy speciális egysége felelős, mely elkülönül az általános alak- és tárgyfelismerő rendszertől (lásd összefoglaló: Tsao és Livingstone, 2008). Hagyományosan két nézet létezik az arcfeldolgozásról (N170 komponenst is beleértve): az egyik egy kizárólagosan az arcészleléssel foglalkozó rendszert feltételez (pl.: Kanwisher, 2000), a másik pedig egy általános észlelő rendszer részfunkciójaként képzei el az arcfeldolgozásban résztvevő folyamatokat, ugyanakkor

más objektumok észlelésekor is aktív lehet (pl.: Tarr és Gauthier, 2000). Intrakraniális és extrakraniális elvezetések egyaránt bizonyították, hogy az N170 komponens az arcfeldolgozás specifikus, korai szakaszát tükrözi (Bentin és mts., 1996; Allison és mts., 1999; McCarthy és mts., 1999; Puce és mts., 1999; lásd összefoglaló: Eimer, 2011). Érdekes eredmény, hogy az állatok arca (Rousselet és mts., 2004), valamint izolált szemek is kiváltják e speciális komponenst, illetve az ún. inverziós hatás is érvényesül az arcok észlelésre során (Rossion és mts., 2000) (inverziós hatásnak nevezik a fejtetőre állított arcképek által kiváltott későbbi, kisebb N170 hullámot, mely hatás más típusú ingereknél, nem arcingereknél nem jelenik meg). Ugyanakkor az ismerősségnek (familiaritás) nincsen hatása (pl.: Eimer, 2000), mely eredmény a komponens ingervezérelt jellegére utal. Az N170 komponens mögött húzódó neurális folyamatok speciális voltát klinikai bizonyítékok is alátámasztják, nevezetesen a prozopagnóziás zavarban szenvedő páciensek az arcfelismerés szelektív zavarával párhuzamosan a komponens teljes hiányát mutatják (Eimer és McCarthy, 1999; összefoglaló: Tsao és Livingstone, 2008; Eimer, 2011).



2. Ábra: Általában jobb oldali maximummal regisztrálható N170 komponens ábrázolása, mely az arcészlelés első szakaszának idegi korrelátuma (A tanulmány eredeti ábráját láthatjuk. Forrás: Ibáñez és mts., 2010, lásd ábrajegyzék).

Nincs szakirodalmi konszenzus a kérgi generátor tekintetében: szóba jöhető területek az FFA (fusiformis-face area) (Kanwisher, 2000), illetve a STS (sulcus temporalis superior) (Schweinberger és mts., 2002; Itier és Taylor., 2004). Elmondhatjuk, hogy az N170 komponensre a teljes arcfeldolgozás bonyolult folyamatának belépőjeként tekinthetünk (strukturális kódolás szakasza, lásd később: Bruce - Young modell, 1986). Az arcokról készült reprezentációkat, leírásokat, részleteket konfigurálja egészé a vizuális rendszer, mely folyamatok az N170 EKP megjelenésében nyilvánulnak meg. Az arcfeldolgozás hagyományos modelljét, valamint egy újabb megközelítést a bevezető egy későbbi fejezetében a perceptuális kategorizáció témánál részletezzük.

A tanulmány szempontjából lényeges lehet az **N2** komponens szerepének tisztázása is. A komponens latenciája és téri eloszlása jelentős mértékben függ az bemutatott inger modalitásától (akusztikus ingerlés esetén már 100-180 msec közötti csúcslatencia fronto-centrális eloszlással; vizuális ingerlés esetén 180-200 msec közötti csúcslatencia parieto-okcipitális eloszlással). A komponens a kezdeti kísérletek során gyakran együtt kezelték P3 hullám megjelenésével és egy komplex aktivitásként írták le (lásd összefoglaló: Folstein és Van Petten, 2008). A későbbi kísérletek során az adatfeldolgozási technikák finomítása által elkülönítették több alkomponensre. Az N2a komponens elnevezést felváltotta az eltérési negativitás (EN) mind az akusztikus, mind a vizuális modalításban. A téma szempontjából releváns az N2b és N2c hullám irányított figyelemmel kapcsolatos megállapítások említése. E két komponens megjelenését az ún. kakukktójtás elrendezésben szokás tesztelni (a kísérleti elrendezés részletes leírását lásd az eltérési negativitás részletezésénél). Általában aktív figyelmet igénylő feladatok során jelennek meg, cél- és nem cél ingerek esetében is; ugyanakkor megállapítható, hogy az N2b a nem-célingernél nagyobb amplitúdóval regisztrálható, míg az N2c célinger esetén mutat megnövekedett aktivitást (lásd összefoglaló: Folstein és Van Petten, 2008). Eloszlásuk centrális, illetve poszterior területekre jellemző, melyet a feladat jellegéhez mérten P3a/P3b komponens követ. Az elülső eloszlású N2b hullámmal közel azonos latenciájú, de vizuális inger esetén hátulsó eloszlású a szelekciós negativitás. A téma szempontjából fontos szerepe van, hiszen a megjelenése aktív figyelmi folyamatokra utal. Ekképpen amennyiben egy vEN (vizuális eltérési negativitás) kísérleti elrendezésben a célzottan nem-figyelt ingerek kiváltanak szelekciós negativitást, úgy hibás lehet a kísérlet figyelmi kontrollja. Továbbá mint figyelemre érzékeny komponens elfedhetni a vEN (vizuális eltérési negativitás) aktivitását. Az EN és N2b/P3a komplex aktivitást hagyományosan az eltérés-detekció különböző

lépcsőiként jelöli az irodalom (lásd példa: Horváth és mts., 2008; összefoglaló: Folstein és Van Petten, 2008).

A tanulmány központi témáját megjelenítő komponens – mint majd a disszertáció tanulmányaiban is láthatjuk, – túlmutat az egyszerű ingersajátság változásokra érzékeny rendszeren. Az eltérési negativitás (EN) komponens kutatásának hagyományai az akusztikus modalitásból erednek. Näätänen és munkatársai 1978-ban azonosították a komponens, mely agyi választ a ma legelterjedtebb felfogás szerint, egy perceptuális szabályszegés okoz (lásd összefoglaló, Näätänen és mts., 2007). Pontosabban egy szekvenciális ingerlés által kialakítunk egy szabályt, melyet az esetek kis százalékában (5-20%) egy ettől eltérő inger követ. Ezen „kakukktójas” inger ellentmond a szabálynak, a szabályos és szabálytalan ingerlésből származó agyi jelek összehasonlításakor kaphatjuk meg az EN komponens (a kísérleti elrendezést és a vizuális EN komponens illusztrációját lásd 10. ábra). Mivel a vizuális EN komponens a dolgozat fókuszában áll, így egy külön alfejezetben foglalkozunk vele, ahol bemutatjuk az evvel kapcsolatos elméleteket, lehetséges agyi generátorokat, illetve az alkalmazott paradigmák sokszínűségét.

Az értekezés szempontjából releváns EKP komponensek felsorolásából nem maradhat ki a **P3** hullám megemlézése, melyről ismeretes, hogy a figyelemmel és a perceptuális kategorizáció folyamataival köthető össze. Alkomponensei, a frontális eloszlású P3a és a parietális eloszlású P3b (lásd összefoglaló: Polich, 2007). Általában valamilyen ritka, váratlan objektum megjelenésekor regisztrálható, vagy abban az esetben, ha az inger valamilyen perceptuális feladat részét képezi. A P3-t általában 300-650 msec latencia tartományban lehet regisztrálni, ugyanakkor a komponens idői megjelenése függhet a bemutatott inger bonyolultságától. Miképpen az események kiértékelése és kategorizációja előfeltétele a P3 hullám megjelenésének: például jelentéssel teli ingerek esetében (női- és férfinevek), a P3 megjelenése 500-100 msec között várható (lásd összefoglaló: Duncan és mts., 2009). A P3 komponenssel kapcsolatos eredmények jelentős hányada a kakukktójas kísérleti elrendezésből származik, mely során a kisebb valószínűséggel megjelenő célingerek nagyobb amplitúdójú P3 komponensre váltottak ki (Salti és mts. 2012; valamint a célingerek nagyobb P3 komponensre váltanak ki, mint a nem- célingerek lásd összefoglaló Duncan és mts., 2009). Továbbá az ingerek közötti idő (IKI) is befolyásolhatja a P3 amplitúdójának nagyságát (rövidebb IKI, kisebb P3 komponens eredményez). Amennyiben az IKI több mint 6 sec, úgy az inger valószínűségi hatás jelentősen lecsökken. Ugyanígy a célingerek esetében is, amennyiben a célingerek között több mint 6-8 sec telik

el, úgy a komponens nagysága drasztikusan lecsökken (lásd összefoglaló Duncan és mts., 2009). A P3 komponens megjelenéséhez a kísérleti ingereket figyelt helyzetben szükséges bemutatni, mivel észlelési és figyelmi változók erőteljes hatással bírnak a komponens előhívására, ezzel ellentétben az ingerek fizikai jellemzői nem befolyásolják (lásd összefoglaló Duncan és mts., 2009). Salti és munkatársai (2012) a P3 komponenszt a tudatosult észlelés elektrofiziológiai korrelátumaként írják le, valamint a munkamemória frissítési folyamataihoz kötik. Kutatásaik során (küszöb körüli ingerlést használva) tesztelték a P3 komponens nagysága és tudatosság hatása közötti kapcsolatot. A tudatosult észlelési tapasztalatot az ítélet megbízhatóságával hozták összefüggésbe. Feltételezték, hogy a megbízhatósági szint megfelelő mérőeszköze a tudatosulás szintjének, azonos fizikai jellemzőkkel bíró inger bemutatás esetében. Eredményeik szerint a P3 komponens nagysága együtt járt a megbízható helyesen észlelt válaszokkal. A P3 komponenssel kapcsolatos agyi generátorok tekintetében nincsen teljes szakirodalmi konszenzus. Egyes elképzelések szerint viszonylag független generátorok összműködését láthatjuk megnyilvánulni a komponensbe, mint pl.: hipokampusz, superior temporalis sulcus, ventro-laterális prefrontális kéreg, valamint az intra-parietális sulcus. A léziós tanulmányok eredményeiből ismeretes, hogy amennyiben a sérülés kiterjed a parietális-temporális régió területére, úgy a P3 komponens csökkenéséhez vezet. Egy másik elképzelés szerint a P3 komponens, mely jel elsősorban a hipokampusz, amigdala és a hipotalamusz összmunkájának eredménye. Látható, hogy a komponens megjelenésében valószínűsíthetően kérgi és kéreg alatti területek működése is bevonódik (lásd összefoglaló, Duncan és mts., 2009). A P3 igen kiterjedt irodalmát áttekintve nyilvánvalóvá válik, hogy a komponens megjelenésében nagy egyéni variabilitás mutatkozik, melyet különböző biológiai faktorok befolyásolhatnak. Ilyen alap biológiai különbségként említik a személyek közötti arosual szint, cirkadián ritmus, sportosság, kor, metális fáradtság, nem, kezesség különbségeiből adódhatnak. A P3 megjelenését és nagyságát továbbá a figyelmi kapacitással és az IQ szintjével is összefüggésbe hozzák (lásd összefoglaló, Duncan és mts., 2009).

A P3 komponens az információ feldolgozásban betöltött szerepéről, illetve a P3 komponensek rögzítésekor alkalmazott kísérleti feltételekről a 2. tézis tanulmányban lesz szó (Kecskés-Kovács és Czigler, 2014).

Eltérési negativitás agyi válasz

A vizuális EN komponens bemutatásához szükséges az „idősebb” akusztikus eltérési negativitás (EN) rövid ismertetése. Az agyi kiváltott válaszok változás specifikus komponenseként említi az irodalom (Näätänen és mts., 1978). A szerző (lásd összefoglaló: Näätänen és mts., 2007) az EN komponenset – némileg költőien – egy nyitott, egyedülálló ablakként írja le, mely betekintést enged a legfontosabb akusztikus folyamatok mikéntjébe, ezek agyi hététerébe, illetve megemlíti, hogy több tanulmány is kapcsolatba hozza az EN komponenset különböző klinikai kórképekkel. Ekképpen az EN vizsgálata elérhetővé teszi az agyi folyamatok megértésének egy új szintjét, melyet az akusztikus észlelés, az akusztikus memória különböző formái alakítottak ki. Az EEG adatok mellett MEG (magnetoencefalogram)(pl.: Csépe és mts., 1992), fMRI (funkcionális mágneses rezonancia képfeldolgozó) (pl.: Molholm és mts., 2005), PET (pozitronemissziós tomográfia) (pl.: Dittman-Balcar és mts., 2001) és intrakraniális módszerekkel (pl.: Kropotov és mts., 1995) is mértek olyan aktivitást, mellyel kapcsolatba hozható az EN mögött álló rendszer működése (lásd összefoglaló: Fishman, 2014). A hagyományos elképzelés szerint az EN komponens automatikus agyi válasz, melyet az akusztikus ingerlésben bekövetkezett változás idéz elő. Az EN komponens ekképpen egy olyan meg nem felelési folyamat eredménye, mely során az észlelő rendszer jelzi, hogy a beérkező hang eltér az előző hangok alapján felállított szabálytól. Az akusztikus EN válasz 150- 250 msec csúcslatenciával és negatív amplitúdóval, fronto-centrális és centrális eloszlással jellemezhető különbség hullám: a ritka -deviáns- ingerek által kiváltott válasz, és a gyakori -sztemderd- ingerek által kiváltott válasz különbsége. A különbséget okozhatja a gyakori és ritka ingerek közötti fizikai eltérés, illetve az érintett neurális populációk különböző refrakter állapota (refrakter állapot lásd lábjegyzet¹). A refrakter állapottal kapcsolatos

¹ A refrakter állapot leírása, elnevezése a neurobiológia egysejt- vizsgálatainak eredményeiből származik. Az idegsejtek válaszkészségének vizsgálatakor figyelték meg, hogy amennyiben egy bizonyos ingerlést- melyre az adott idegsejt sajátos kisülési mintázattal válaszol- többször is megismétlünk, a válasz mértéke drasztikusan lecsökken, vagy akár meg is szűnik. Az idegsejtnak szüksége van az aktív periódus után egy passzív periódusra, mely után a válaszkészség érzékenységi szintje az eredetire visszaáll. Ezen csökkent készségű állapotot nevezzük refrakter periódusnak. Az egysejtes adatokból nyert tanulságot kiterjeszthetjük egész neurális hálózatokra, ekképpen már komplexebb kognitív jelenségekre is érvényes lehet. Fontos hangsúlyozni, hogy – legalábbis az idegsejtek szintjén- nem a habituáció jelenségével rokon hatásról van szó, mivel a habituáció egy aktív, elemi tanulási folyamat, melyet egy újabb inger megjelenésével meg lehet szüntetni (Pribram, 1991, 9. fejezet; Czigler, 2001, 12. fejezet). Ezzel szemben a refrakter állapotot passzív, fáradási állapot, mely mindenképpen bekövetkezik. Az EKP szakirodalomban

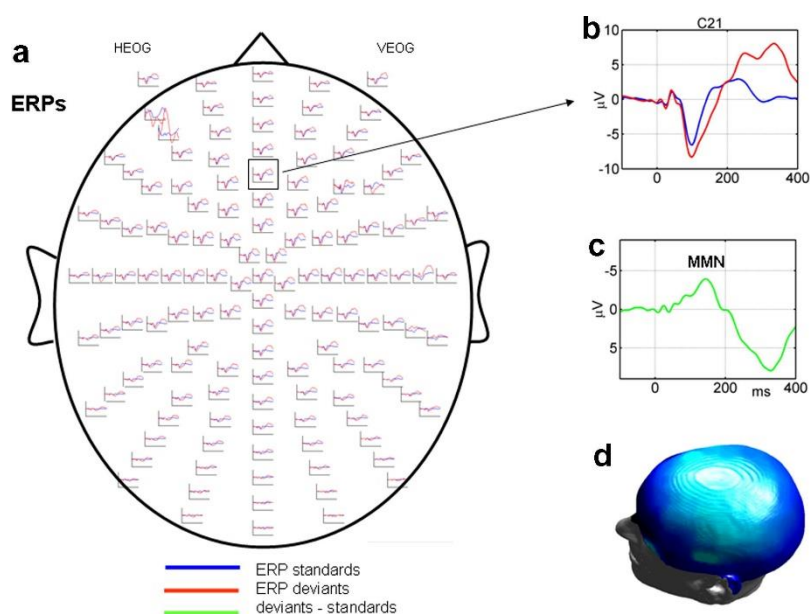
kontroll feltételek alkalmazásának szükségességéről, illetve a kontroll típusok sokszínűségéről a vizuális EN komponens jellemzésekor beszélünk.

Az alapvető felvetés az EN kutatások során, hogy az EN válasz megjelenésével az előző eseményekkel kialakított szabály reprezentálódik az agyban, azaz e reprezentáció tartalmazza az adott gyakori, szabályos inger bizonyos tulajdonságát vagy tulajdonságait. Az akusztikus EN kutatás évtizedei során az egészen egyszerű ingersajátságoktól (hangmagasság, hangszín, intenzitás, hosszúság, téri hangforrás lásd összefoglaló: Näätänen és Winkler, 1999), az absztrakt szabályszerűségeken át (különböző hangtulajdonságok konjunkciója pl.: Gomes és mts., 1997; Horváth és mts., 2001), a komplex ingerlésekig (pl.: beszédhang, Dehaene-Lambertz, 1997) terjed az vizsgált ingerek palettája (absztrakt és komplex akusztikus ingerlés és EN komponens lásd összefoglaló: Paavilainen, 2013).

Az EN kutatásokban alkalmazott kakukktójás paradigma szekvenciális szabályszerűsége mellett a bemutatott feladat jellege is mérvadó. Alapvetően két nagy csoportra lehet osztani a kutatásokat e tekintetben: figyelt (továbbiakban aktív) és nem figyelt (továbbiakban passzív) kísérleti feltételek alkalmazása. Az aktív kísérleti elrendezés jellemzője, hogy az EN komponens kiváltó ingerek a feladat részét képezik. Pontosabban a szekvenciális szabályszerűségben megjelenő ritka (kakukktójás) ingerek célingerként vannak definiálva. A kísérletben résztvevők feladata, hogy figyelemmel kövessék a bemutatott ingereket, majd az előzetes instrukció alapján rögzített ritka ingert detektálják, azaz például egy válasz gomb megnyomásával a lehető leggyorsabban és legpontosabban jelezzék azt. A kísérlet során az EKP-k mellett a válaszok ideje (reakcióidő= RI) és pontossága (találat) is rögzítésre kerül. Amennyiben nagy a fizikai különbség a bemutatott gyakori és ritka ingerek között, úgy az EN komponens latenciája, illetve a válasz RI-je is lecsökkent. Továbbá az EN válasz csúcslatenciája és a RI korrelál a soron következő feladatfüggő EKP komponensek (N2b, P3) csúcslatenciájával is (Novak és mts., 1992; Tiitinen és mts., 1994). Ugyanakkor az aktív paradigma megnehezíti az EN komponens azonosítását,

elsősorban az N1 komponens kapcsán beszélnek a refrakter állapot hatásáról. Több kutatás is alátámasztja mind az akusztikus, mind a vizuális modalitásban, hogy az ismételt ingerek hatására az N1 amplitúdójának változása következik be -csökkenés figyelhető meg-, melyet refrakter állapotok okoznak (lásd példa: Barry és mts., 1992; Näätänen és Picton, 1987; lásd EN és a refrakter hipotézis összefüggéseinek összefoglalóját: May és Tiitinen, 2010). A lábjegyzet tartalma alapvetően Näätänen hagyományosnak tekinthető felfogása, a kérdéskör további részletes tárgyalása túlmutat a dolgozat célkitűzésein.

pontosan a feladatfüggő komponensek miatt, hiszen ez elülső skalp eloszlású N2b hullám nagyon hasonló latencia tartományba esik. Azonban az észlelés pszichológiájában hagyományosnak tekinthető elképzeléssel ellentétben nem szükséges, hogy az észlelendő tárgyak, illetve ezek különböző tulajdonságai a figyelem fókuszában álljanak, ahhoz, hogy az észlelő rendszer reprezentálja ezeket (lásd összefoglaló: Winkler és Czigler, 2012). Ebből adódik a passzív kakukktójtás paradigmák alkalmazása, mely során az EN komponens előhívó ingerek nem képezik a feladat részét pl.: a hangok háttéringerként szerepelnek, miközben a kísérleti személyek valamilyen vizuális feladatot végeznek (pl.: olvasnak, feliratos filmet néznek, vagy videojátékot játszanak). A gyakori és ritka hangok szekvenciája így kívül esik a figyelem fókuszán, az EN komponens mégis megjelenik. A hangmagasság dimenziójában például különböző feladattól független gyakori és ritka hangok különbségi hulláma bizonyítja, hogy a hangok reprezentálódtak, miközben a kísérleti személyek az elsődleges feladattal voltak elfoglalva (részletes leírás: Winkler és Czigler, 2012; célzott vizsgálatok az aktív és passzív paradigmákban kimutatható EN: Sussman és mts., 2003).



3. Ábra: Az akusztikus eltérési negativitás (MMN) megjelenése a fronto-centrális csatornán (C21) 100-200 msec között (A tanulmány eredeti ábrája látható. Forrás: Garrido és mts., 2009, lásd ábrajegyzék).

Alábbiakban szeretnénk bemutatni egy összefoglaló táblázatot (lásd: 1. Táblázat) a hallási EN főbb jellemzőiről, melyet a Pazo-Alvarez cikkből adaptáltunk (Pazo-Alvarez és mts., 2003).

Figyelem függetlenség	Amennyiben a bemutatott akusztikus ingerek függetlenek a kísérleti személyek figyelmétől, elkerülhető, hogy az EN komponens más komponensek latencia sávjába essen (pl.: N2b): szükséges lehet feladat releváns és feladat irreleváns ingereket bemutatni.
Keletkezés	Az EN komponens latenciája fordítottan arányos, míg az amplitúdó nagysága egyenesen arányos a sztenderd (gyakori) és a deviáns (ritka) közti különbség nagyságával. Továbbá aktív paradigma esetében az EN latenciája és a válaszok RI csökken, amennyiben a fizikai különbség nő a sztenderd és a deviáns ingerek között (Tiitinen és mts., 1994).
Szenzoros memória	Az EN komponens a tapasztalatfüggő emléknym agyi folyamatait jelző válaszként értelmezhető. A jelenlegi és a korábbi ingerek reprezentációinak kapcsolatát mutatja.
Szenzoros diszkrimináció	Az EN a pontos perceptuális diszkrimináció indexeként is értelmezhető ingerek között, hiszen a komponens megjelenése jelzi a diszkriminációs változás detektálását a szekvenciális szabályszerűségek esetében, megközelítve a viselkedéses adatokból származó diszkriminációs küszöböt.
Kérgi források	Az akusztikus EN válasz agyi forrásairól pontos adatok állnak a rendelkezésünkre. Általánosságban: *kétoldali-akusztikus kérgi generátor (akusztikus szupratemporális kéreg) *jobb oldali frontális kérgi generátor Amennyiben a hallási devianciát intenzitás-, frekvencia- vagy ingerbemutató időbeli különbség adja: nagyobb EN válasz figyelhető meg a jobb agyféltekén függetlenül attól, hogy melyik fület ingereljük.
Figyelmi reorientáció	Az agyi diszkriminációs folyamatokat tükröző EN válasz fontos szerepet játszhat az akaratlan orientációban vagy a figyelem váltásban.

1. táblázat: Az eltérési negativitás komponens főbb jellemzőinek, háttér folyamatainak összefoglalása.

Az értekezés szempontjából releváns vizuális figyelmi folyamatok

A hétköznapi életünk során sokszor saját magunk is tapasztaljuk, hogy a vizuális látványban bekövetkezett, akár egészen jelentős változások is elkerülnek a figyelmünket. Ennek oka lehet, hogy a végbemenő változások kívül esnek a figyelem fókuszán, illetve nem észlelhetőek a temporális tranziensek, azaz átmenetei tulajdonság ugrások, melyek a változásokkal jönnek létre (Simons és Levin, 1997; lásd összefoglaló magyarul: Czigler, 2009). A következőekben több olyan jelenséget mutatunk be, melyek a vizuális észlelő rendszer „figyelem-függőségét” hivatottak alátámasztani. Ugyanakkor láthatjuk majd, hogy ennek ellenére a vizuális szenzoros memória regisztrálja ezeket a változásokat, egészen egyszerűen „csak” nincsen róla tudatos élményünk. Az eredmények (Czigler,

2009) egy nagy kapacitású vizuális emlékezeti rendszerre utalnak, melynek a tartalmi közvetlenül nem hozzáférhetőek, azaz implicit tartalmakat kódolnak. Az első jelenség, amelyet ismertetünk, bizonyítja, hogy bár az vizuális rendszer könnyen észleli, analizálja és gyorsan kategorizálja a látott jelenetet, mégis téved, ha a bekövetkezett változás nem figyelt, vagy jelölt („cued”, azaz nem előzői meg a változást egy jelzőinger bemutatása).

Változási vakság (change blindness)

A változási vakság jelensége a laboratóriumon kívül, hétköznapi körülmények között is könnyen demonstrálható, amennyiben a megfigyelő személy a változás pillanatában éppen szemmozgást végez. Kísérleti környezetben a jelenséget különböző vizuális elterelőkkel lehet demonstrálni (pl.: maszk inger használata). Általánosságban elmondható, hogy a megfigyelők jelentős részének többszöri ismétlési is szükséges, hogy a változást detektálják. A változásokat sokkal nehezebben fedezik fel, ha az a kép szélén vagy a látási jelent háttérében történik (azaz közepén, előtérben történő változásokat könnyebben észrevesszük).

A jelenséget Simons és Levin (1997) életszerű kísérleti szituációban demonstrálta: a kísérletben résztvevő beavatott szereplő megállít valakit az utcán, és útbaigazítást kér. Mialatt a naiv kísérleti személy útbaigazítást ad, két „munkás” közlekedik egy ajtóval, és elmegy közöttünk. Amíg az ajtó eltakarja a segítségkérőt, egy másik személy lép a helyére. Az embereknek mintegy a fele nem veszi észre a cserét (lásd mellékletben példa videó). E klasszikus kísérleti helyzetet azóta számos módon megismételték, továbbá a jelenséget leképezték egyszerű ingerek szintjére, hogy kontrollált labor körülmények között lehessen modellezni: például látszólag azonos ábrák között különbséget kell találniuk a résztvevő személyeknek. A feladatot úgy kell teljesíteniük, hogy a két kép nagyon gyorsan váltakozik, valamint a két kép között rövid ideig az üres képernyő látható. Ilyen esetekben a legnagyobb változások felfedezése is (pl.: egy nagyobb terület színének kicserélése az inverzére, vagy egy nagyobb tárgy áthelyezése) nehéz feladat. Mindazonáltal, ha a változásra felhívjuk a figyelmet, az újrajátszáskor szinte lehetetlen nem észre venni a változást (lásd összefoglaló: Simons és Rensink, 2005).

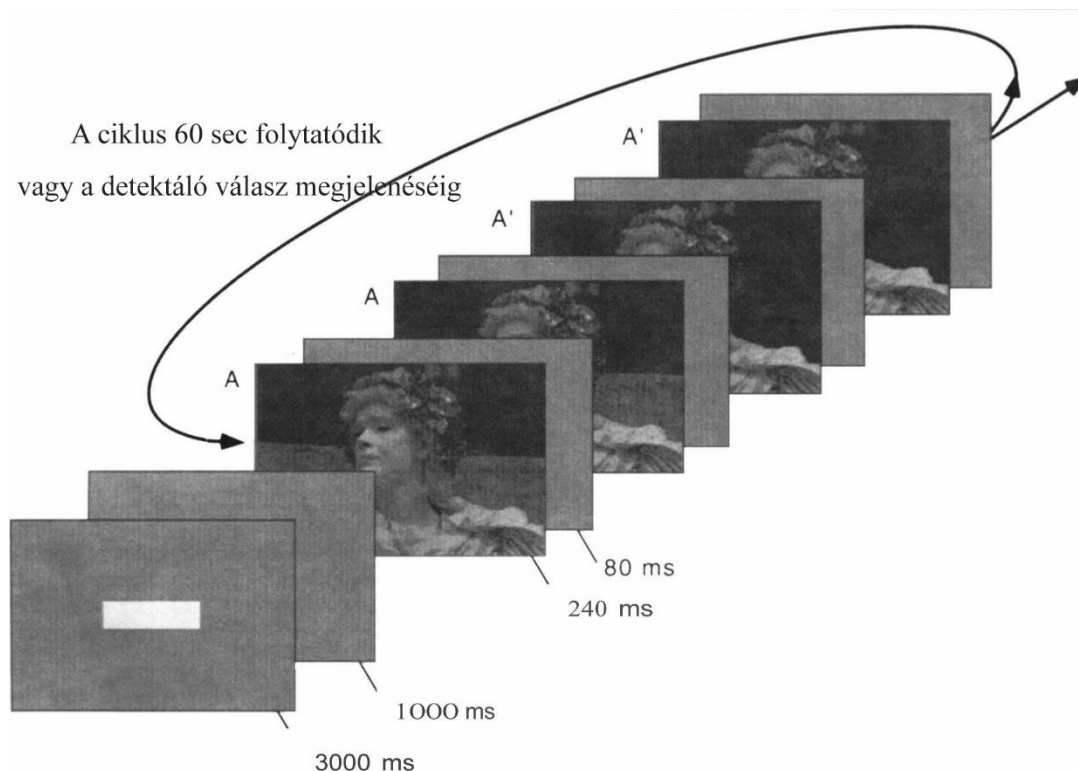
A változási vakság jelenségét Simons és Levin (1997; összefoglaló Simons és mts., 2002; Simons és Rensink, 2005) röviden úgy jellemezte, hogy „egy tárgyon vagy jelenetben bekövetkezett változások detektálásának képtelensége”. A kutatók érdeklődésének

központjában nem csak a jelenség háttérében álló kognitív folyamatok vizsgálata állt, hanem a vizuális tapasztalatainkat kialakító reprezentációk természete is. A kísérletek során változatos módszereket, ingerbemutatókat alkalmaztak, hogy demonstrálják és elemezzék a jelenséget. A változási vakság robosztus voltát hivatott bizonyítani, hogy a módszertani sokszínűséggel együtt meglepően hasonló eredményeket kaptak a kutatók. Amennyiben egy lokalizációs változás volt a vizuális jelenetben vagy átmeneti változás (tranzien) a retinára eső kép egy speciális pozíciójában az emberek nem vették észre a változást. Azért, hogy pontos és stabil reprezentációkat alakítsunk ki, valahogyan ki kell vonnunk az invariáns elemeket a világról alkotott folyton változó szenzoros tapasztalatainkból (folyton változó, hiszen másodpercenként akár három-négy szemmozgást (szakkádok) is végezhetünk). A szemmozgásoknak köszönhetően – melynek célja, hogy a fixáció egyik tárgyról a másikra kerüljön- a látvány különböző részei kerülnek a figyelem fókuszába, azonban az egymás utáni részletekből egységes reprezentációt kell előállítani, valahogy úgy, mint a puzzle elemeiből a teljes képet. Az integrálódott vizuális információkból egy stabil reprezentáció alakul ki, melynek bizonyítékai láthatóak pl.: a tudatos élményt megakadályozó vizuális maszkolós kísérletekben (például: Kahneman, 1968; Lamme, 2003), vagy betűk összeolvasásával kapcsolatos vizuális integrációs kísérletekben (például: McConkie és Zola, 1979; van Atteveldt és mts., 2004). Mellékesen jegyezzük meg, hogy a vizuális integrációval foglalkozó tanulmányok és a változás detekcióval foglalkozó kutatások egymás komplementerei, hiszen előbbi avval foglalkozik, hogy képesek vagyunk lényegében két különböző kép tartalmát összeadni, összeilleszteni. Míg a változás detekcióval foglalkozó kutatók figyelmének fókuszában azon képességünk áll, hogy képesek vagyunk kivonni az egyik képet a másikkól, ezáltal észleljük a kettő közti különbséget.

A változási vakság jelenségének fontosságát az ún. képfelismerő memória feladatokban hangsúlyozták (Standing és mts., 1970; Pedzek és mts., 1988, lásd összefoglaló: Simons és Rensink, 2005). Röviden összefoglalva a kísérleti elrendezés úgy nézett ki, hogy több száz, vagy akár több ezer képet mutattak a kísérleti személyeknek, amellyel semmilyen feladatuk nem volt. Majd a kísérlet második szakaszában újabb képeket láttak (látott és új képeket egyaránt), egy felismerési döntést kellett hozni a bemutatott képekről: látták-e már korábban. A kísérleti személyek meglepően jól teljesítenek ezekben a feladatokban (akár 95% találati arányt is elérnek). Ugyanakkor úgy tűnt, hogy a képekről kialakított észlelési forma egyáltalán nem kötött. Amikor az előzőleg bemutatott képek tükörképét mutatták,

nem vették észre a változást és teljesen biztosak voltak abban, hogy az eredeti képet látják. Ezen eredmény nem csupán a rossz detekciós teljesítményre utal, hanem azt is jelezheti, hogy vélhetőleg a bemutatott látási jelenet lényegi információját, tartalmi jelentését kivonjuk a bemutatott jelenetből. Majd a hasznosság és hatékonyság jegyében e lényegi információt használjuk a felismerés során.

Mivel a figyelem hiányának témakörében a legkutatottabb a változási vakság jelensége, a kutatók egy sztenderd kísérleti eljárás dolgoztak ki (Rensink és mts., 1997; O'Regan és mts., 1999), azonban a későbbiekben ezen eljárásnak több változata is megjelent (lásd összefoglaló: Simons és Rensink, 2005). Az alapeljárásban több képpárt használtak (lásd 4. ábra), melyek második tagja az első egy kissé módosított változata volt (pl.: eggyel kevesebb tárgy volt a kép egyik szélén vagy éppen a háttér módosult). A képek bemutatása ciklikusan történt, azaz egészen addig látták a képeket, még észre nem vették a különbséget. Az eredeti kép és a módosított kép között csak a szürke képernyő jelent meg (mely maszkinger elengedhetetlen a változási vakság jelenségének demonstrálásához). Ha nem lenne a maszkinger, akkor a változások rögtön szembetűnnének, hiszen a kontraszt, kontúr vagy éppen egy szín hirtelen változása (tranziens) azonnal a figyelem fókuszába kerülne. Rensink és mts. (1997) szerint a közbülső szürke képernyő funkciója, abban állhat, hogy megszünteti a képre irányuló figyelmi folyamatokat, ekképpen emlékezeti reprezentáció sem készül az adott képről. Így nincsen mihez mérni az eltérést, ekképpen a változás észrevétlen marad (lásd 4. ábra).



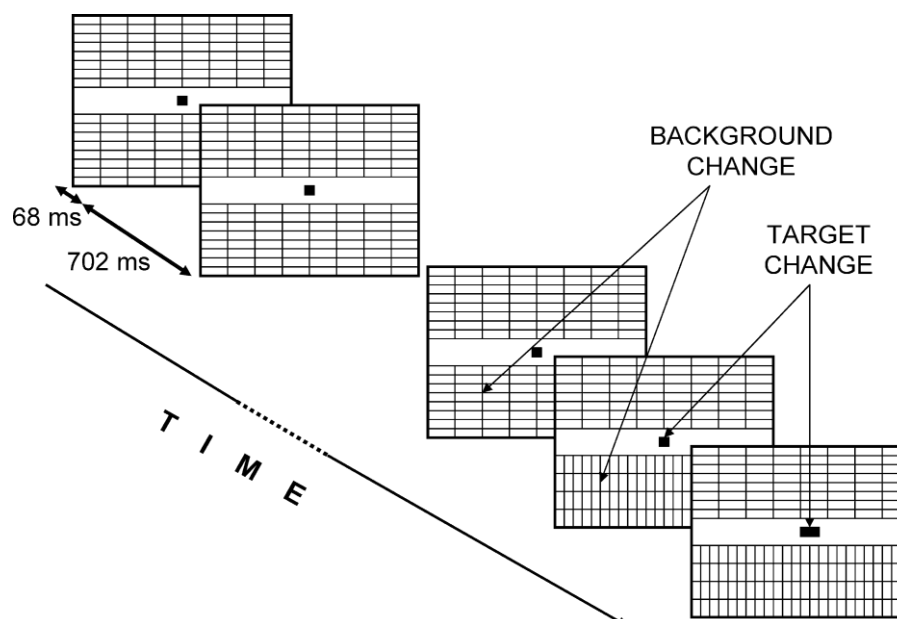
4. Ábra: A változási vakság demonstrálására szolgáló Flicker kísérleti elrendezés általános dizájnya. Minden próba egy szürke mintával kezdődött (3 sec), melyeken közepén fehér téglalap volt látható (melyben jelzőingerként használt szavak jelentek meg), majd egy szürke maszk minta, majd a VV szekvencia: az eredeti kép (A) és a módosított kép (A'), közöttük maszk ingerek (Az eredeti ábrát módosítottuk. Forrás: Rensik és mts., 1997, lásd ábrajegyzék).

A kutatók megpróbálták meghatározni, hogy milyen figyelmi folyamatok zajlanak le, azaz milyen stratégiákat is „használnak” a képek észlelésekor. Tulajdonképpen, hogy mi is kerül a figyelem fókuszába az ingerjellemzők tulajdonságai azaz „alról felfelé” (bottom up) hatások is meghatározhatják pl.: színek, kontúrok nagy változásai (tranziensek). Valamint szerepelnek „felülről lefelé” irányuló (top down) folyamatok (akarat/tudatos kontroll) is. Ahhoz, hogy e folyamatok szerepet játszanak azon figyelmi folyamatokban, melyek hozzájárulnak a változások gyors detektálásához, segít például egy előzetes jelzőinger, mely fel hívja a figyelmet a változásra (pl.: hová figyeljünk). Jelzőinger nélkül a „pontról-pontra” letapogató stratégia lép életbe (item by item scan), amely a változás azonosításához lényegesen hosszabb időt igényel (ezért is szükséges a képek ciklikusan történő bemutatása).

A változási vakság jelenségének lehetséges magyarázatai között egy radikális álláspont szerint a képekről nem alakul ki emlékezeti nyom- akár átmeneti sem, hiszen az erre

nincsen szükség. A vizuális észlelőrendszernek állandóan rendelkezésére áll a stabil vizuális világ (Rensink és mts., 1997), mint „külső memória”. Rensink és munkatársai (1997) fontos megállapítást tettek ezzel kapcsolatban: a vizuális észlelés változása egy objektumon (képen belül) csak akkor jelenik meg, ha az az objektum a figyelem fókuszában áll. Figyelmi fókusz hiányában egészen egyszerűen a következő megjelenő objektum felülírja, felváltja az előzőt a vizuális memóriában, ekképpen összeillesztési folyamatok sem aktiválódnak. A Simons és mts.-ai (2002) által képviselt kevésbé radikális álláspont szerint kialakulnak emlékezeti nyomok ugyan, ám ezek a figyelem hiányában nem kerülnek összehasonlításra. Ugyanakkor elképzelhető, hogy kialakulnak emlékezeti nyomok és az összehasonlítás is megtörténik, de ez nem jut el a tudatos szintig, ekképpen a figyelmi folyamatok hiányában rejtve maradnak. Utóbbi álláspont mellett érvelhetünk az eseményekhez kötött potenciálok módszer alkalmazásával. E módszer segítségével képesek vagyunk kezelni a következő kérdéseket: létezik-e egy olyan nagy kapacitású automatikus emlékezeti rendszer, mely átmenetileg képes tárolni a változás előtti és utáni reprezentációkat. Van e bizonyíték arra, hogy ezek a nem tudatosuló változások nyomon követhetők az agyi folyamatokban. A következő részletesen ismertetett kutatásban válaszokat lelhetünk e kérdésekre: Czigler és Pató (2009) tanulmányozták a nem tudatos változások implicit regisztrációját az eseményhez kötött potenciálok módszerével. Az implicit változás detekciós effekt agyi korrelátumaként a vEN komponenst vizsgálták. A feladatfüggetlen ingerváltozások esetleges detekciójának lehetőségét félig strukturált interjúval ellenőrizték (abban az esetben, ha a kísérleti személy utalt arra, hogy észlelte a feladattól független változást, akár jól vagy rosszul, az EKP adatait a továbbiakban nem elemezték). A tanulmány során használt vEN kísérleti elrendezés, hasonló volt a már bemutatott Flicker eljáráshoz (lásd 4. ábra), amennyiben egy ingermentes periódust iktattak be két „teszt inger” közé, mely két inger gyakrabban azonos mintázatú, ritkábban különböző lehetett a szekvencián belül. Az ingerek függetlenek voltak a kísérlet feladatától (háttéringerek) és a kísérlet első szakaszában nem hívták fel a figyelmet a háttéringerek esetleges változására. Az interjúk alapján a személyek nem vették észre a mintázat változásait. A kísérlet második szakaszában a résztvevőket tájékoztatták a változások lehetőségéről, a vEN-hez köthető rácsminta változások azonban továbbra is a feladat háttérében jelentek meg. A résztvevők az egész kísérlet alatt egy egyszerű méretváltozás detekciós tesztet végeztek, azaz a képernyő közepén megjelenített négyzet méretének változását kellett gombnyomással jelezni. A feladat fölött megjelenő inger mintázata a

kísérlet során végig azonos volt. Az alsó mintázat a „roving standard” elrendezésnek megfelelően változhatott (Roving standard elrendezést lásd lábjegyzet²).



5. Ábra: A kísérlet során a háttérben bemutatott vEN- függő mintázatok, valamint az képernyő közepén látható detekciós feladat (Forrás: Czigler és Pató, 2009, lásd ábrajegyzék).

A kísérlet második szakasza előtt alkalmazták a félig- strukturált interjút szerint a 17 kísérleti személyből csupán 3 személy említette, hogy a kísérlet alatt a mintázatok valamilyen változást mutattak, azonban a változás pontos természetéről senki nem tudott explicit magyarázatot adni (e három ember nem került be az EKP adatok elemzésébe). Az EKP adatok értelmezésekor összehasonlították a változó és ismétlődő ingerek által kiváltott agyi válaszokat; az interjú előtti és utáni adatokat külön kezelték (emlékeztetőül: utóbbi esetben a kísérleti személyeket már tájékoztatták a feladat háttérében zajló változásokról). Az eredmények értelmében elmondható, a hogy változás tudattalan és tudatos megléte

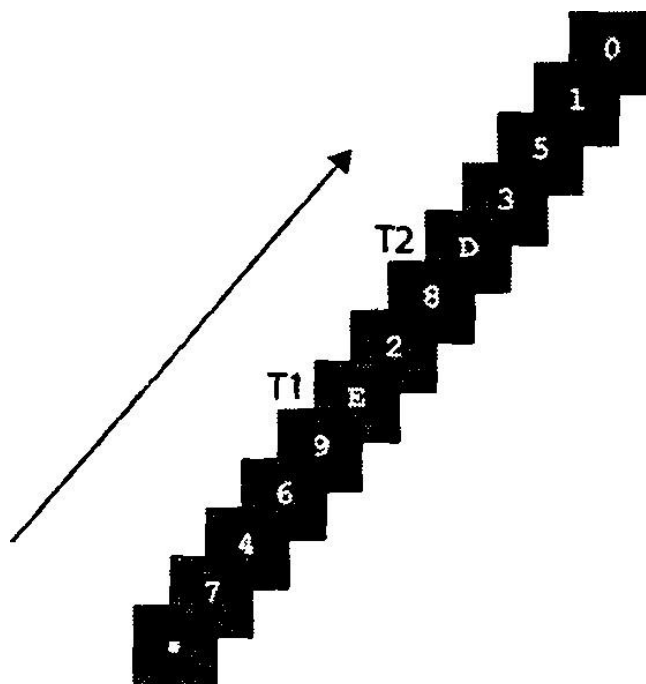
² A „Roving standard paradigm” (Cowan és mts., 1993) az akusztikus modalitás vizsgálatában bevett kísérleti eljárás. Lényege, hogy azonos ingerek sorozatát mutatják be, majd bizonyos számú ismétlés után egy eltérő ingert mutatnak, mely eltérő inger a továbbiakban sorozatosan ismétlődik. Majd egy újabb változás, amely mintázat a továbbiakban ismétlődik és így tovább. Előnye a hagyományos kakukktojás elrendezéshez képest, hogy a kísérlet időtartama lerövidül a kakukktojás (plusz fordított kontrol) elrendezéshez képest, ekképpen alkalmasabbá válik betegcsoportok, gyermekek vizsgálatára. Továbbá lehetővé teszi az ismétlés hatásának vizsgálatát (ismétlési pozitivitás, illetve az ismétlés hosszával az EN amplitúdója is növekszik) (lásd további példa Ritter és mts.,2002; összefoglaló: Todd és mts., 2013).

nyomon követhető az EKP eredményekben is. A kísérlet első felében két változásfüggő neurális aktivitást is azonosítottak a jobb oldali hátulsó csatornákon (270-295 msec latencia sávban, illetve 360-375 msec latencia sávban), míg a kísérlet második felében egy sokkal korábbi változásfüggő negatív komponenst azonosítottak (205-220 msec latencia sávban), melynek eloszlása az elülső és a hátulsó bal oldali területekre terjedt ki. Összegezve elmondható, hogy bár a változás szembeötlő volt (jóval a küszöbérték fölötti) mégis a kísérleti személyek döntő többsége előtt tudatosan rejtve maradt. Úgy tűnik, hogy egy nagy kapacitású emlékezeti rendszer regisztrálja ezeket a tudattalan változásokat, melyet a megjelenő jobb féltekei eloszlású vEN komponens is jelez. A változás tudatos detektálásakor azonban feltűnően eltér e komponens megjelenésének ideje és eloszlása is, mely különböző agyi folyamatokat sejtet. Ugyanakkor feltételezhető, hogy a változásról szerzett tudás meggyorsította, hatékonyabbá tette ezen automatikus emlékezeti rendszer munkáját. A szerzők (Czigler és Pató, 2009) a kísérleti eredményeik összegzéseként leírják, hogy vEN komponens háttérében zajló agyi folyamatok nem csak egy egyszerű változás detektort sejtetnek, hanem egy olyan emlékezeti rendszert, amely kiépíti reprezentációkat a beérkező vizuális információ alapján – jelen esetben szekvenciális szabályszerűséget-majd, e reprezentációkat össze is hasonlítja. E nem tudatos változás detektáló komplex folyamatért felelős rendszert „primitív intelligenciaként” írják le.

Figyelmi pislogás (attentional blink)

A következő vizuális figyelem „hibájaként” leírható jelenség a figyelmi pislogás (FP). E jelenség abban áll, hogy egy emlékezeti reprezentációt kívánó (figyelt) vizuális esemény rontja a 100-500 ms késéssel megjelenő következő esemény észlelését. A következőekben szót ejtünk az FP mikéntjéről, a háttérében álló kognitív folyamatokról, illetve a robosztus jelenség széleskörű tudományos vizsgálatáról. A jelenséget leggyakrabban a gyors szeriális vizuális ingeradás módszerével vizsgálják. E kísérleti elrendezés lényege, hogy a gyorsan megjelenő vizuális ingerek szekvenciájában két célinger („target”) továbbiakban T1 és T2 is szerepel. A kísérletek általános metódusának és a jelenséggel kapcsolatos eredmények bemutatásához Shapiro és munkatársai (1997) összefoglaló tanulmányára támaszkodtunk (lásd további összefoglaló: Dux és Marois, 2009). Amennyiben a két célingert (T1, T2) 500 msec idő intervallumon belül mutatjuk be úgy, hogy a két célinger között további zavaró, nem-célingerek jelennek meg, a második célinger észrevétlen marad a kísérleti személyek számára (a T1 ingert a tipikus kísérleti helyzetben helyesen

detektálják). Ha a T1 és T2 ingereket több mint 500 msec időintervallum választja el, vagy a T2 azonnal követi a T1-et, a T2 detekciója magas szintet ér el. Ezen kísérleti eredmények mintázatait nevezik egységesen figyelmi pislogásnak (ahogyan a pislogásánál egy időre lezárul a szem, a figyelmi pislogásnál is egy időre lezár a figyelmi rendszer). Témánk szempontjából az a kérdés releváns, hogy a figyelmi pislogás idején adott eseményekről keletkezik-e valamilyen nem tudatos reprezentáció, vagy a figyelmi pislogás szakaszában az információ feldolgozás teljességgel szünetel-e.



6. Ábra: Az általános FP feladat illusztrációja: a résztvevők feladata, hogy detektálják a két célingert (T1: „E”betű, T2: „D”betű), miközben számos zavaró, nem-célinger jelenik meg. Minden inger 100 msec látható (köztük szürke maszk), 2 - 6 közbeeső inger esetében demonstrálható az FP jelensége (Forrás: Dux és Marois, 2009, lásd ábrajegyzék).

Vogel és munkatársai (1998) a szemantikus előfeszítő inger hatását vizsgálták (T2 és további célinger bevezetése T3, T2 és a T3 azonos szemantikus kategóriába tartoztak) és a viselkedési adatok mellett (lásd fentebb: Shapiro és munkatársai, 1997) a kiváltott potenciálok módszerével is kiegészítették. Az N400 komponens változásait rögzítették-, amely a szemantikus feldolgozás agyi korrelátuma- a figyelmi pislogás miatt akadályozott feldolgozású T2 ingerekre. A szemantikus előfeszítés hatása ugyanaz volt a figyelmi pislogás periódusában, mint azon kívül. Azaz a szemantikailag illeszkedő feltételben csökkent az N400 (ez történik akkor is, ha egy szó aktív állapotban van pl.: éppen láttuk, olvastuk, hallottuk). A kiváltott potenciál eredmények segítettek, hogy tisztábban lássuk a

figyelmi pislogás és a szemantikus feldolgozás közötti kapcsolatot. Nevezetesen úgy tűnik, hogy az FP jelensége nem akadályozza meg a szemantikus feldolgozást, csak magának a szemantikus esemény reprezentációjának a hozzáférhetősége redukálódik.

Chun és Potter (1995) kétszakaszos elmélete a figyelmi pislogás jelenségét is magyarázni tudja. Az elmélet lényege, hogy a külvilágból érkező ingerek feldolgozása két szakaszon keresztül történik. Az első szakasz során egy gyors feldolgozás történik, mely során kialakul az ingerek jelentése, ugyanakkor e jelentés csupán a rövid távú szemantikus emlékezethez köthető. Ahhoz, hogy a fel tudjuk idézni az ingert, a második szakasz kódolására is szükség van. Az elképzelés szerint e szakasz nem párhuzamosan, hanem szeriálisan működik. Tehát az első inger feldolgozása időlegesen elzárja az utat a második inger elől. A bemutatott kísérleti eredmények egyértelműsítik egy olyan vizuális emlékezet jelenlétét, amely a beérkező információk feldolgozásában és rendezésében aktív szerepet vállal. A figyelmi pislogás jelensége bebizonyította, hogy a figyelmi folyamatok nélkülözhetetlenek az azonosítás, illetve a tudatosan hozzáférhető reprezentációk tartós kiépülésében (lásd összefoglaló: Dux és Marois, 2009).

Shapiro és munkatársai (1997) amellet érvelnek, hogy a figyelmi pislogás módszerének alkalmazása segíthet a vizuális neglekt megértésében (neglekt magyarázatát lásd lábjegyzet³). A kutatásuk eredményeképpen kitűnt, hogy a neglektes páciensek esetében a figyelmi pislogás jelensége eltér az egészséges kontroll csoportétól. A neglektes csoportnak T1 és T2 között legalább 1500 msec-nak kellett eltelnie, hogy detektálják a második ingert is (emlékeztetőül: 500 msec a normál személyeknél a határ). Úgy tűnik, hogy a páciensek képtelenek hosszabb időn át „szabadulni” az első ingertől, tehát T1 feldolgozása sokkal tovább tart. Ekképpen a kutatás a vizuális neglekt új időbeli aspektusát tárja elénk (lásd összefoglaló: Dux és Marois, 2009).

A figyelmi pislogás témakörében eddig bemutatott vizsgálatok rávilágítottak a figyelmi folyamatok fontosságára, ugyanakkor a következő tanulmány az automatikus figyelmi

³ A szenzoros neglekt definícióját Heilman és Valenstein a Klinikai Neuropszichológia könyvükben adják meg. Szenzoros neglektént határozzuk meg azon deficitet, mely során egy agyi sérülés miatt a tér egyik oldalán megjelenő ingereket figyelmen kívül hagyják a páciensek az ellenoldali sérülés függvényében. Fontos, hogy a sérülés nem érinti a szenzoros projekciós rendszert, illetve az elsődleges kérgi területeket sem. Figyelmi deficitként határozzák meg, mely során az inger tudatos feldolgozása nem történik meg. Létezik vizuális, akusztikus és taktilis neglekt. Az esetek jelentős százalékában a jobb féltekei sérülések következtében alakul ki, melyet egy stroke (agyi érkatasztrófa) idézett elő. További részleteket lásd: Heilman és Valenstein, 2012, 12. fejezet.

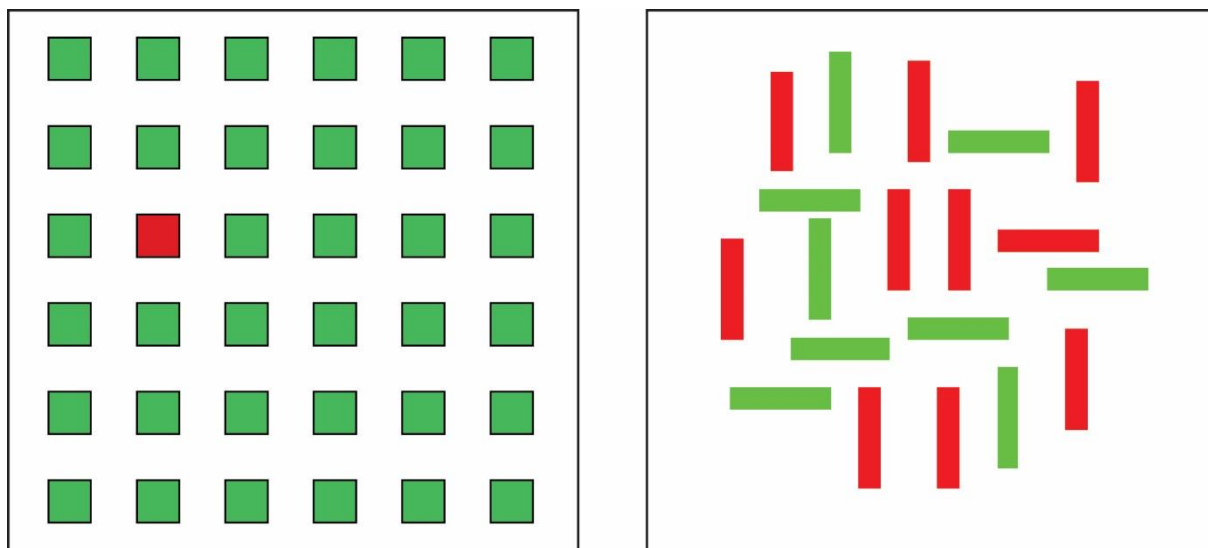
folyamatok szemszögéből vizsgálja meg az FP jelenségét. E tanulmány (Berti, 2011) a vEN szempontjából ötvözi a változás detekciós kísérletek (kakukktójas ingerbemutatás) és az FP (gyors, ismételt vizuális bemutatás) módszertani vizsgálatát. Előbbinél elvárás, hogy a változások a figyelem fókuszán kívül essenek, tehát az elsődleges feladattól függetlenül. Utóbbinál szükséges a rövid ingerbemutatás, illetve a különböző célingerek meghatározása (T1, T2). A szerző a kísérlet során az előbb említett változókat variálta a következőképpen: az ingerbemutatás több egymást követő próbából állt, egy próba 16-24 vizuális ingerből állt ezen belül egy vagy két célinger jelent meg. Az ingerek betűk és számok lehettek, melyek 100 msec ideig voltak láthatóak. A T1 ingerek mindig számok voltak, melyekről el kellett dönteni, hogy párosak vagy páratlanok. A számok után következő T2 ingereket „E” betű jelentette az esetek 40%-ban. A többi esetben a T1 után más betűk vagy számok következtek. A szerző kiemeli, hogy a T1 és T2 közötti távolság meghatározza a T2 detekciójának valószínűségét. Ugyanis a T2 pontos azonosításához szükséges, hogy a második célinger vagy közvetlenül a T1 után jelenjen meg vagy a két inger között több különböző másik inger is szerepeljen. Ezzel ellentétben, ha a T1 után a T2 200-600 msec közötti időn belül érkezik, a T2 megjelenése figyelmen kívül esik (figyelmi pislogás jelensége). Ezen „észrevétlen” szakasz képezi a kísérlet fő hipotézisének alapját: ugyanis az automatikus változás detekciós kísérletek módszertani követelménye, hogy a változásfüggő események a figyelem fókuszán kívül kerüljenek bemutatásra (irreleváns pozíció változást idéztek elő az ingerekben e szakasz alatt, illetve a „vak” idői ablakon kívül = vEN- függő ingerváltozások). A szerző eredményei szerint mindkét esetben megjelent az eltérési negativitás komponens, hiszen e komponens megjelenése független a figyelemtől. Továbbá a T2 detekciójának találati aránya eltért az FP jelenségnek megfelelően. A tanulmány szerzője demonstrálta, hogy a szenzoros vizuális rendszer képes automatikusan kódolni környezet változásait. Továbbá láthatjuk, hogy a vEN komponens vizsgálata hasznos eszköze az automatikus figyelmi folyamatok vizsgálatának.

Vizuális keresés

A figyelmi pislogás jelensége időbeli analógja is lehet a téri figyelmet vizsgáló vizuális keresési feladatnak. A disztraktor (másnéven zavaró) ingerek ugyanúgy károsító hatással bírnak a teljesítményre pl.: Tsai és Lavie (1988) arra kérték a kísérleti személyeket, hogy azonosítsák a vizuális keresés célingert, mely egy alapszín volt, majd azonosítsanak

további elemeket a bemutatott elrendezésből. Eredményeik alapján elmondható, hogy csak olyan nem célinger elemeket tudtak azonosítani, amelynek az elhelyezkedése távol esett a célingertől. E jelenséget párhuzamos figyelmi pislogásnak (is) nevezték. A következőekben a vizuális keresés jelenség témakörét járjuk körül, mely harmadik nagy témája azon vizuális figyelmi folyamatoknak, melyek a disszertáció témájához kapcsolódnak.

Treisman (Treisman, 1982) nézete szerint, az egyes ingersajátságok összekapcsolódása egész vizuális tárggyá, a téri figyelem során jön létre. A különböző ingersajátságok feldolgozása különböző alrendszerhez köthető (pl.: szín, lokalizáció, kontraszt, irány stb.). A különböző alrendszerek által feldolgozott információk összekapcsolódását „binding problémának” nevezzük (közelebbről, az a folyamat, mely során az agy kivitelezi az egyes sajátságokra vonatkozó információk összekapcsolását). A vizuális keresési kísérleti elrendezés eredményeiben látja Treisman bizonyítotttnak, hogy a figyelem fókusza elengedhetetlen a sajátságok összekapcsolódásához. Treisman korai szűrés elmélete (Treisman, 1982) szerint ugyanakkor a figyelmi folyamatok nem mindent vagy semmit jellegűek. A szelekciós folyamatok úgy működnek, hogy a világból beérkező információ folyamból a figyelt események aktívabb működést alakítanak ki, mivel a nem figyelt események feldolgozását a szelekciós folyamat gyengíti. Tehát e felfogásban nem teljes szűrés történik, hiszen a nem figyelt események is feldolgozásra kerülnek. Treisman a szelekciós folyamatot inkább „csillapításként” írja le, nem pedig szűrésként. A vizuális keresési folyamatok vizsgálatára alapvetően két típusú kísérleti elrendezést dolgozott ki (Treisman, 1982) (lásd 7. ábra).

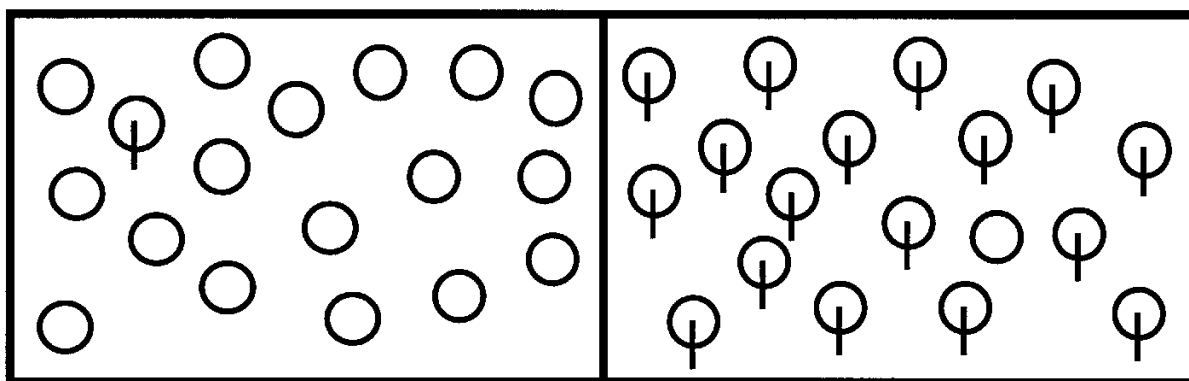


7. Ábra: A vizuális keresési feladatok illusztrációja Treisman (1982) nyomán. A bal oldali kép a „pop out” jelenséget demonstrálja, míg a jobb oldali a konjunkciók alapján történő keresést.

Az ábrák zavaró (zöld/piros négyszög) és célingereket (piros négyszög) tartalmaznak. A feladat, hogy a kísérleti személy eldöntse, hogy az ábra tartalmazza-e a megadott célingert vagy sem. A bal oldali ábra esetében egy sajátság mentén tér el az adott célinger és a zavaró ingerek. Így utóbbi száma nem befolyásolja a teljesítményt (reakció idő és találati arány), hiszen kiugrik a keresett elem („pop out” jelenség). Ugyanakkor, ha több sajátság mentén kell értékelni a bemutatott ingereket (lásd jobb oldali ábra) már nehezebb dolga van az észlelő rendszernek (célinger piros vízszintes vonal, mely piros függőleges illetve, zöld függőleges és vízszintes vonalak között jelenik meg). E konjunkciós keresés során, a teljesítmény drasztikusan csökken a zavaró ingerek számának növelésével. E kísérleti helyzet jól példázza a szeriális információ feldolgozást, hiszen az észlelő rendszer egymás után (szeriálisan) dolgozza fel az elemeket egészen célinger megtalálásáig (Treisman, 1982).

A vizuális keresési feladat témakörének egy másik fontos kutatási eredménye volt, hogy megállapítottak egy aszimmetrikus jelenséget a keresés hatékonyságában (lásd összefoglaló: Wolfe, 2001), attól függően, hogy milyen volt célinger és milyen volt zavaró ingerek fizikai megjelenése. Ekképpen különbözik a teljesítmény, ha az „O betűk” között keresünk „Q betűt”, illetve ha „Q betűk” között az „O betűt”. Könnyebb megtalálni egy célingert, amennyiben annak egyik ingersajátsága már szerepelt („O” között a „Q”), ellentétben azzal, mikor a zavaró ingerekhez képest a célinger egy ingersajátság mentén

„hiányos” („Q” között az „O” célinger megtalálása) (lásd 8. ábra). Treisman szerint ez a fajta aszimmetria egy nagyon fontos eszköze a vizuális figyelemnek (lásd összefoglaló: Wolfe, 2001). Segít azonosítani a különböző ingerek attribútumait, melyek alapvető tulajdonságként viselkednek egy komplex inger együttesben. Melyek is ezek az alapvető tulajdonságok? Több kutató (Wolfe, 1998; Theeuwes és Kooi, 1994; Bergen és Julesz, 1983;) is próbálta tisztázni a kérdést; egyrésztől vehetjük az alapvető ingersajátságokat (téri frekvencia, méret, orientáció stb.). Ugyanakkor fontos látnunk, hogy több olyan szituáció van, melyben a keresés rendkívül eredményes annak ellenére, hogy nem csak egyetlen alapvető tulajdonság határozza meg a célingert (Theeuwes és Kooi, 1994). Úgy tűnik, hogy az alapvető tulajdonságok jelenléte támogatja, segíti az eredményes textúra szegmentációt (Bergen és Julesz, 1983). Pontosabban a vizuális objektum azon része, mely egy alapvető tulajdonság által meghatározott, az észlelő rendszer gyorsabban feldolgozza, ezért is könnyebb egy tulajdonság jelenlétét azonosítani, mint a hiányát (vizuális aszimmetria).



8. Ábra: Egyszerűbb feladat megtalálni a körök között a „Q”-t (bal oldali kép), mint fordítva (jobb oldali kép). A keresési aszimmetria jelenségének illusztrációja (Eredeti ábra. Forrás: Wolfe, 2001, lásd ábrajegyzék).

További empirikus eredmények tanúskodnak a vizuális keresési aszimmetria meglétéről különböző ingersajátságok mentén, például könnyebb mozgó tárgyat azonosítani a statikus tárgyak között, mint fordítva (Royden és mts., 2001). A színek keresési aszimmetriája: könnyebb a narancsszín azonosítása piros színek mellett, mint fordítva (Treisman és Gormican, 1988). A jelenséget „sárgátlanságnak” nevezik a szerzők, hiszen a narancshoz képest a piros színű célingert nem tartalmaz sárgát, azaz egy ingersajátság hiányáról

beszélhetünk itt is. Foster és Ward (1991) eredményei szerint az orientáció detekciójában is létezik ez a fajta aszimmetria (könnyebb észrevenni a dőlt irányt vs. vertikális irányt).

A már említett ingertulajdonságok integrációjának kérdéskörét idegtudományi módszerekkel is vizsgálták. A szinkronizációs elmélet szerint, melynek kidolgozója Singer és Gray (1995) volt, az észlelt vizuális objektum különböző ingertulajdonságainak kérgi neurális aktivitása együttesen hordozza, kódolja az objektum információját. A figyelem szerepe jelen magyarázatban annyi, hogy elősegíti az objektum által kiváltott agyi válaszok mintázatának koherens működését. A negyedik tézis tanulmány a vizuális keresési aszimmetria elektrofiziológiai korrelátumait vizsgálja, a részletesebb leírást ott található.

Vizuális eltérési negativitás (vEN) korai vizsgálata

Az akusztikus modalitás mellett az olfaktoros (lásd összefoglaló: Pause és Kreule, 2000), szomatoszenzoros (Restuccia és mts., 2007) és vizuális (Pazo-Alvarez és mts., 2003; Stefanics és mts., 2014) modalitásban is találtak EN komponenst, illetve a hallási EN komponens állatmodelljei (pl.: macskák esetében: Csépe és mts., 1987; patkányok: Ruusuvirta és mts., 1998, lásd összefoglaló: Fishman, 2014) is megszületettek. A vizuális modalitásban eddig humán vizsgálatok folytak. A több évtizedes akusztikus EN tanulmányok eredményeit felhasználva születtek meg a vizuális eltérési paradigmák, újabb hipotézisek. Az elő összefoglaló tanulmány, mely a vizuális EN komponens lehetőségével foglalkozik 2003-ban jelent meg (Pazo-Alvarez és mts., 2003).

A hangok világában a szenzoros memóriarendszer megléte egyértelműen indokolt, hiszen a beérkező ingerek kódolása idő alapú. A beérkező hangszekvenciák feldolgozása során egy rövid távú tár jelentősége könnyebben érthető, hiszen a közvetlen előzmény szabja meg az éppen beérkező hang információ tartalmát. Továbbá egy zajos kontextusban a különböző hangforrások elkülönítése során szükségszerű regisztrálni a beérkező akusztikus események szabályszerűségeit, illetve az ezekről való eltérést. Ezzel szemben a vizuális modalitást hagyományosan téri szerveződés mentén írjuk le, mely általában stabilabban a rendelkezésünkre áll, ezért egy rövid távú szenzoros tár megléte jó ideig kérdéses volt (összefoglaló Pazo-Alvarez és mts., 2003). Továbbá, mint a bevezető figyelmi folyamatokkal foglalkozó fejezetében is láthattuk, a vizuális észlelő rendszer gyakran helytelenül, vagy egyáltalán nem detektálja a környezeti változásokat (pl.: változási vakság jelensége), vagy éppen a figyelem hiánya a változásokat a tudatos tapasztaláson kívül tartja

(figyelmi pislogás jelensége). Mindazonáltal tudatos élmény nélkül is lehetséges jelentősebb kognitív vizuális folyamatok végbemenetele. A korai eredmények például a klinikai gyakorlatból: agyi léziót szenvedett páciensek (pl.: vaklátás; Poppel és munkatársai, 1973), vagy különböző neuropszichológiai zavarok esetében (lásd összefoglaló: Köhler és Moscovitch, 1997) vagy éppen egészséges személyeknél előfeszítéses („priming”) kísérleteken keresztül; ezen eredmények mind bizonyították, hogy tudatosulás nélkül is lehetséges a vizuális információ feldolgozása. Ugyanakkor a változás explicit észleléséhez szükséges figyelem, melyet korlátozott kapacitású feldolgozó rendszerként írhatunk le. E két fontos megállapítás arra készítette a kutatókat, hogy megvizsgálják, mi történik, azokkal az információkkal, melyek kívül esnek a tudatos figyelem fókuszán. Miképpen Czigler és Pató (2009) tanulmányban is láthattuk, a figyelem fókuszán kívül eső változásokat tudatos tapasztalás nélkül regisztrálta az észlelő rendszer (vEN komponens regisztrálása), melyért egy olyan rövidtávú memória rendszer a felelős, amely képes összehasonlítani a vizuális események reprezentációit („primitív intelligencia” elnevezés: Näätänen és mts., 2001; látásban: Czigler, 2010). Berti (2011) a figyelmi pislogás jelensége kapcsán végzett kísérlete alapján is hasonló következtetéseket vont le. Mely eredmények alapján bizonyítást nyert, hogy az akusztikus EN rendszer nem egyedüli az emberi szenzoros modalitások között. A kutatók a 90-es évek végén, a 2000-es évek elején kezdték el a vizuális EN komponens vizsgálatát és összehasonlítását az akusztikus EN folyamataival.

A néhány tanulmány eredményei mentén sorra vennénk a vizuális EN kutatásának főbb mérföldköveit. Többször akusztikus módszertani analógia adja a vizuális kísérletek alapját (pl.: kakukktojás paradigma, különbség képzése, feladat- irreleváns ritka ingerek bemutatása stb.). Ugyanakkor az akusztikus EN kísérletek során a figyelem fókuszában általában valamilyen vizuális feladat állt (pl. olvastak a kísérleti személyek), a kísérleti személyek a vEN kísérletekben azonban gyakran a figyelt és nem figyelt ingerek egy modalitásból érkeznek (pl.: vizuális centrális vs. perifériás). Az alábbi táblázatban (lásd 2. Táblázat) összefoglaltuk pár korai kísérlet alkalmazott feladatát, inger típusait és a főbb eredményeit is. Látni fogjuk a kísérleti elrendezések sokszínűségét és a kapott eredmények változatosságát is.

	Feladat jellege	Alkalmazott ingertípusok: S (gyakori ingerek), D (ritka ingerek)	Eredmények röviden
--	-----------------	--	--------------------

Czigler és Csibra, 1990	vizuális diszkriminációs feladat	S= szögek <>; D1=ezek fordítottjai><, melyek célingerek voltak a kísérlet során; D2 nem figyelt inger><(vastagítva).	A D1 és D2 között nem volt negatív különbség, így nagyobb szálenciájú S-D különbség alkalmazása szükséges.
Woods és mts., 1992	modalitások közötti (auditoros és vizuális) szelektív figyelmi feladat	Magas és alacsony téri frekvenciájú rácsminták.	Vizuális MMN/N2b komponensek a hátulsó területek felett, jobb oldali féltekei dominancia.
Csibra és mts., 1994	vizuális go/no go feladat helyzet. Az a kísérleti feltételekben két egymást követő azonos/ majd két különböző célingerre válaszoltak.	Az alsó és felső látótérben bemutatott fekete négyzetekből álló minták.	Feladatfüggő CNV komponens mellett a mintázathoz kapcsolódó szenzoros komponensek: N1, N2, N2b, mely a váratlan vizuális események megjelenésének következményei.
Tales és mts., 1999	Feladat a képernyő közepén, míg a S és D ingerek a periférián kerültek bemutatásra.	Az S (egyszerű fehér négyzet) és D (dupla fehér négyzet) ingerek teljesen függetlenek a feladattól.	A figyelem fókuszán kívüli ritka deviáns az akusztikus EN-hez hasonló okcipitális választ váltott ki.
Berti és Schröger, 2001	Vizuális keresési paradigma nem figyelt ingerek esetében. Feladat a hosszabban bemutatott ingerek detektálása	S=háromszög; D1=90° elforgatott háromszög; D2=180° elforgatott háromszög.	Poszterior N2 komponens megjelenése, melynek tulajdonságai megegyeznek az akusztikus EN komponensével.
Czigler és mts. 2002	Passzív kakukktójtás elrendezés, egyszerű detekciós feladat, mely független az irreleváns ingerektől	Különböző színű négyzetek S=piros, D= rózsaszín vagy zöld.	A nagyobb mértékben különböző ritka Deviáns (zöld) inger nagyobb poszterior negativitást váltott ki. Az vEN komponens mögött működő szenzoros memória

			folyamatokat tükrözi.
--	--	--	--------------------------

2. táblázat: Vizuális eltérési negativitás kutatásával foglalkozó tanulmányok.

A táblázatban szereplő kutatási eredmények alapján elmondhatjuk, hogy a kezdetekben leginkább alapvető, eltérő vizuális tulajdonságokban eltérő ingerekkel dolgoztak, mely eredmények megalapozták a további kutatási irányokat. A pozitív eredményekként is értelmezhető egyes kutatási eredmények (a ritka ingerekre megjelenő fokozott hátulsó aktivitás) értelmezésekor felvetődött, hogy a kísérletek során a figyelmi folyamatok nem álltak szigorú ellenőrzés alatt. A tapasztalatok alapján elmondható, hogy alapvetően két féle feladat/ inger megjelenési metódust érdemes követni a vEN kísérletek során: (1) a feladat szempontjából irreleváns (vEN- függő ingerek) események megjelenése a látótér periferiáján történjen, miközben a kísérleti feladat a látómező közepén jelenjen meg (lásd példaként a 2. és 3. tézis cikket). Ekképpen biztosított a tekintet és figyelem a látómező közepén tartása, illetve a figyelmen kívüli automatikus vEN- aktivitás vizsgálata. Hagyományosan (2) egy másik elképzelés is elfogadott, mely szerint a vEN- függő ingersajátságok is a figyelem fókuszában vannak (feladat részét képező ingerekkel együtt kerül bemutatásra), viszont ezek a sajátságok nem a feladat részei (pl.: Kimura és mts., 2009). A figyelem „jó kontrolljáról” a szakmai közösség véleménye a mai napig megoszlik (pl.: Berti, 2001: nem vagyunk képesek a figyelem megosztásának mértékét kontrollálni; ezzel szemben Kimura és Takeda (2013) a vEN háttérében figyelemtől független prediktív folyamatok állnak, ugyanis ha a feladat nehézsége nincsen hatással a vEN aktivitására, úgy a figyelem megosztásának mértékére sincs). Kutatócsoportunk a kísérletei során nagy hangsúlyt fektetett a megfelelő feladat megtalálására és a figyelem kontrollálására, ahogyan ezt majd a disszertációban bemutatott tézis tanulmányokban is láthatjuk. Ezzel kapcsolatosan ki kell emelnünk Sulykos István munkáját, egy az erős figyelmi kontrollt igénylő feladatot megalkotásáért (feladat leírásért lásd: Sulykos és Czigler, 2011, e feladat szerepel az 1. és 4. tanulmányban is). A feladat részletes leírását mellőznénk, hiszen a tézis tanulmányok és idézett hivatkozások tartalmazzák. Röviden összefoglalva a kísérleti személy feladatát képező videó játék a látómező felső részén helyezkedik el, míg a vEN- függő ingerek a látótér alsó felén láthatóak (lásd: 1. és 4. tézis cikkek ábrái). A látótér e formájú felosztására Jeffreys és Axfors (1972), illetve Sulykos és Czigler (2011), valamint Müller és mts. (2012) eredményei indokolták, mely alapján ismeretes, hogy a látótér alsó térfelében megjelenő vizuális események kiterjedtebb, nagyobb vizuális komponenseket

idéznek elő. Továbbá a felső látótérben megjelenő feladat biztosította a látómező közepén a folyamatos fixációt, illetve a kísérleti feladat jellege motiválta a személyeket a kísérletben való részvételre.

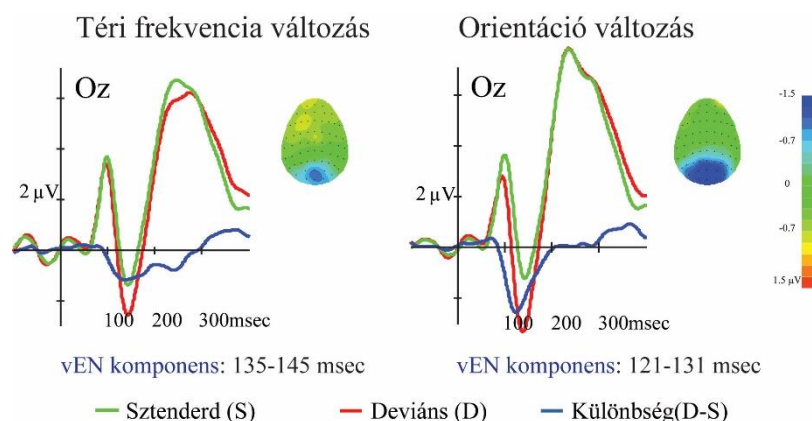
Az alkalmazott feladat típusának szempontjából egy harmadik lehetőség is megjelent, leginkább a korai kísérletekben, a vizuális és akusztikus EN rendszerének összehasonlítása során. E kísérletek során az alkalmazott aktív feladat az akusztikus modalitáshoz kötődött, míg a nem figyelt ingerek a vizuális modalitáshoz kapcsolódtak (pl.: Astikainen és mts., 2008: finn kísérleti személyek egy szöveget hallgattak, melyben folyamatosan számolni kellett az „y”betűvel kezdődő szavakat). E módszer hátránya, hogy bár a figyelmet (valamint a munkamemóriát) leköti az akusztikus feladat, interferálhat a vizuális események detektálásával. Továbbá kérdéses, hogy az akusztikus feladat elégséges-e, hogy biztosítsa az észrevétlenségét a képernyőn megjelenő vizuális ingereknek (Stefanics és mts., 2011). E módszertani kérdések indokolják leginkább az elsődleges vizuális feladat alkalmazását. Továbbá a hétköznapi életben is a látómező középpontján kívül gyakrabban maradnak észrevétlenek fontos látási információk, így mindenképpen ökológiailag érvényesebb helyzetet sikerül kísérletesen modellezni. E módszertani megállapításokat kutatócsoportunk is mérlegelte a kísérletek megtervezésekor.

A témakörben publikált mintegy 120 publikáció eredményeinek nyomán elmondhatjuk, hogy a kutatások megerősítették a vEN (illetve, a komponens mögötti szenzoros memória) meglétét, azaz egy automatikus, figyelem előtti változásra érzékeny rendszer működését. Látni fogjuk, hogy vEN regisztrálható akár különböző ingertulajdonságok szabálytalan együtteseként is (lásd pl.: Stefanics és mts., 2011). Látni fogjuk, hogy ahogy a hangok világában automatikus folyamatok révén tudatos reprezentáció nélkül tárolódnak az akusztikus események, úgy a vizuális modalitás területén is működik egy hasonló nagy kapacitású rendszer, mely működéséhez nincsen szükség figyelmi folyamatokra (lásd összefoglaló, Czigler, 2007; Stefanics és mts., 2014).

A továbbiakban több olyan kutatást mutatunk be, melyek túlmutatnak az egyszerű gyakori ingertulajdonság és ritka ingersajátság kísérleti elrendezésén. E tanulmányok áttekintésén keresztül világossá válik, hogy az vEN mögött álló rendszer nem csak automatikus változás detekcióra képes, hanem regisztrálja a vizuális környezet szabályszerűségeit, majd reagál az eltérő események esetében.

A vEN tanulmányok: egyszerű ingerek, különböző ingersajátságok együttese, komplex szabályszerűségek.

A vizuális eltérési negativitás EKP komponens, mint az akusztikus EN megfelelője (lásd összefoglaló: Kujala és mts., 2007), számos egyszerű sajátság mentén regisztrálható (lásd példa 9. ábra).



9. Ábra: vEN komponens megjelenése egyszerű ingersajátságok (téri frekvencia, orientáció) változása esetében. A ritka-mínusz-gyakori EKP-k különbségeként regisztrálható negatív vEN hullám középvonali okcipitális eloszlással látható (Módosított ábra. Forrás: Sulykos és Czigler, 2011, lásd ábrajegyzék).

A következő tanulmányok kísérleti elrendezése a már sokat emlegetett nem figyelt (az elsődleges kísérleti feladatok témakörét fentebb már tárgyaltuk) kakukktójtás paradigmára épül. Továbbá a különbség hullámok képzése – a korábbiakkal ellentétben- nem pusztán a kísérleti szekvenciában megjelenő különböző ingerek kivonásából áll. A kísérlet megtervezésekor az ún. fordított kontrollt alkalmazták („reverse control paradigm”, lásd 10. ábra). Ez lényegében annyit jelent, hogy az egyik feltételben ritka valószínűséggel megjelenő inger, a másik feltételben gyakoriként lett definiálva (és vice versa). Ezen elrendezés lehetővé tette, hogy a kiváltott potenciál adatok feldolgozásakor összehasonlítsuk az azonos ingertípusokat, melyek csupán a megjelenő valószínűségek mentén különböztek. Az összehasonlítás szükségességét azon cél indokolja, hogy bizonyítást nyerjen, hogy a vEN mögötti szenzoros rendszer nem csupán az ingersajátságok fizikai különbségére érzékeny. Továbbiakban bemutatott tanulmányok estében alapvető tételnek vesszük, a passzív kakukktójtás elrendezés, illetve a fordított kontroll alkalmazását, csak ezektől eltérő esetben térünk ki a kísérleti módszer részletezésére.

Czigler és munkatársai (2002) kimutatták, hogy a 12.5% valószínűséggel megjelenő ritka színű rács mintázatok EKP-i különböztek a gyakran bemutatott (87.5%) színes rácsok által kiváltott EKP-tól. E negatív különbség (136 msec csúcslatenciával) posterior eloszlású vEN komponensként jelentett, mely érzékeny a színek változására. A különböző orientációval (irányú) megjelenő ingerek (Astikainen és mts., 2008) között is megfigyelhető hasonló különbség hullám. A vEN komponensként azonosított negatív különbség az irány ingerek között 185-205 msec sávban okcipitális eloszlással jelentkezett. Figyelemtől független memória folyamatok állnak a mozgás irányának változásainak észlelésének háttérében is (Kremláček és mts., 2006). A látótér jobb/bal, illetve kétoldali irány változásainak észlelése a vEN komponens megjelenésével igazolható (Pazo-Alvarez és mts., 2004a). A deviáns irányokhoz köthető aktivitás forrását a LORETA (Pascual-Marqui és mts., 1994)

segítségével a bilaterális temporális és a mediális régióknál azonosították (módszert lásd lábjegyzet⁴). Az egyszerű ingersajátságokhoz tartozik a téri frekvencia (Heslenfeld, 2003; Kenemans és mts., 2003), a kontraszt (Stagg és mts., 2004) és az elhelyezkedés („location deviant” lásd: Berti, 2006) automatikus változásainak észlelése is.

Az egyszerű ingersajátságokon túl az automatikus változást detektáló rendszer érzékeny különböző ingersajátságok kombinációjára is (ezen ingertulajdonságok kombinációja azonos lehet egy perceptuális objektum fenomenológiai leírásával, bővebben lásd az információ objektum specifikus integrációja: Kahneman és mts., 1992). Winkler és munkatársai (2005) különböző ingersajátságok kapcsolatát vizsgálták, azaz a figyelem és szenzoros memória szerepét különböző információk összekapcsolódásában („binding phenomena”). A kísérlet során két egymástól különböző ritka inger jelent meg a gyakori ingerek között (melyek szintén két különböző ingertulajdonságot jelentettek). A vEN komponens megjelenése mutatja, hogy a beérkezett ingerszekvenciák kialakítottak egy memória reprezentációt, mely magában foglalja a gyakori ingerkombináció kódolását és az ettől eltérő deviáns detekciós választ is (Winkler és mts., 2005).

Egy bemutatott szekvenciális szabályszerűség („AABBAABB”) megszegése egy további elem felhasználása által („AABBAAA”) szintén kiváltja a vEN komponenset (Czigler és mts., 2006). A szabálytalan ismétlődéshez tartozó EKP-k negatívabbak voltak a 160-180 msec latencia sávban, mint a szabályosan ismétlődő mintázatok EKP-i. A különbséget mind a plusz elem megjelenésekor („conjunction”), mind az elem elhagyásakor („omission”) regisztrálták a kutatók. Az eredmények értelmében absztraktabb

⁴ LORETA „Low resolution electromagnetic tomography” azaz alacsony felbontású agyi elektromágneses tomográfia vizsgálat. Ismeretes, hogy az agyi elektromos jelek (EEG) elsősorban a működés idői információját közvetítik, a keletkezésük téri eloszlására csak közvetetten tudunk következtetni. A LORETA- eljárás a lehetséges források feltérképezésére alkalmas. Az eljárás az fMRI-ből ismert voxel alapú topográfiával dolgozik, voxelről voxelre az aktivitásra vonatkozó elemzéseket végez, melyet valós anatómiai leírásokra terjeszt ki. A voxelek között olyan összefüggéseket keresnek, melyek magyarázzák a fejről elvezetett feszültségek eloszlásait (ez a felosztott forrás eljárási mód, mely az inverz probléma egyik megoldásának algoritmus, továbbá az eljárás e problémát diszkrét, lineáris, 3 dimenziós módon kezeli). Az elemzés kezdetén, végtelen számú forrást (és elnyelőt) feltételez, mivel ekkor még a pontos elhelyezkedésről nincsen információnk, majd a voxeleken mért szimultán és szinkron aktivitásokat kimutatva kapunk eredményt. Azonos nevű szoftver, az eljárás gyakorlati megvalósulása, melyet Pascual-Marqui készített (Pascual-Marqui és mts., 1994). A szoftver a fent leírt elméletet alkalmazza, a 3 dimenziós gömbi felosztáshoz a Talairach- atlasz koordinátáit használja (bővebb leírást lásd: Pascual-Marqui és mts., 1994, 2002).

szabályszerűségek reprezentálására is alkalmas a rendszer. Mely működést Stefanics és munkatársai (2011) eredményei is alátámasztottak, ugyanis a szerzők szerint, a vEN érzékeny valószínűségi szekvenciális szabályszerűségek megsértésére (egy adott ingerpáron belül „A” ingert egy hasonló „A” inger követ, egy „B” ingert pedig „B”, azonban ezt a szabályszerűséget megsérti a páron belüli változás, pl. „A” ingert „B” követi). Az ilyen szabályszerűségek reprezentációja alapján predikciókat (előfeltevéseket) alkothatunk a jövőbeli eseményekkel kapcsolatban (fontos megjegyeznünk, hogy még mindig automatikus, preattentív folyamatokról beszélünk).

Több eseményhez kötött potenciál tanulmány kimutatta a különböző kategorizációs folyamatok hatását a vEN-re. Először is nézzük az arcfeldolgozás kategóriai aspektusát a különböző vEN tanulmányokban (Zhao és Li, 2006; Astikainen és Hietanen, 2009; Stefanics és mts., 2012). Zhao és Li (2006) egy kereszt-modális (akusztikus diszkriminációs feladat és nem-figyelt arcok), késeltetett válaszu kísérleti elrendezésében a megjelenő érzelmekhez köthető kiváltott potenciálokot rögzített. A szekvenciálisan ismétlődő semleges érzelmet kifejező arcok között a ritka boldog vagy szomorú arcok negatívabb választ váltottak ki egy korábbi (110-120 msec) és egy későbbi (körülbelül 300 msec) latencia sávban. A szerzők a negatív különbséget az érzelmek kifejezéséhez köthető vEN komponensként definiálták („emotion expression MMN”). A kísérleti elrendezés egyik módszertani hátránya, hogy egyetlen színésztől származtak az arckifejezések, ekképpen fennáll a lehetősége, hogy csupán alacsony szintű ingertulajdonság változásokat mértek, nem pedig perceptuális kategóriák közötti váltást. Ehhez hasonlóan Susac és mts., (2004) tanulmányában is csak egyetlen szereplő produkálja az arckifejezéseket (arc személye végig azonos, a bemutatott érzelem változik). Az alacsony ingersajátság függő változások hatását küszöbölte ki Astikainen és Hietanen (2009), mikor több különböző szereplő arckifejezéseit használta fel. Kísérletük során, amikor a szekvenciálisan ismétlődő arckifejezések (gyakori semleges arcok) között a megjelenő arc érzelmi töltete megváltozott (ritkán félelemmel teli vagy boldog), negatív különbséget figyeltek meg. A semleges érzelmeket kifejező arcokhoz képest a negatív érzelmek EKP-i 140 msec csúcslatenciával jelentek meg, míg a boldog arcokhoz tartozó EKP, későbbi (160 msec) csúcslatenciával regisztráltak. E korai különbség leginkább arcokhoz köthető N170 kiváltott potenciál változásainak következménye. Az EKP-k összehasonlítása során egy későbbi negatív különbséget is megfigyeltek (280-320 msec), melyet a szerzők az emóciók változásainak detektálásának jeleként (vEN) értelmeztek (Astikainen és mts., 2009). Az

eredmények értelmében megállapítható, hogy az érzelmek kategóriáját kódolja a vizuális rendszer. A félelmet ábrázoló arcok időben korábbi (70-120 msec) azonosítását (Stefanics és mts., 2012) a vizuális rendszer „negatív elfogultságának” (negative bias) nevezik, azaz a negatív érzelmek megjelenése a túlélés szempontjából fontosabb információt hordozhat számunkra. Úgy tűnik, ezen információ feldolgozása a tudatos figyelem nélkül is végbemegy. Emellett vélhetően más források látják el a félelmet kifejező ingerek feldolgozását, ugyanis egy lateralizációs hatás figyelhető meg: negatív érzelmek esetében a jobb agyfélteke, míg a pozitív érzelmek esetében a bal oldali agyfélteke dominál (Stefanics és mts., 2012). Ezek az eredmények tökéletesen illeszkednek korábbi érzelmekkel foglalkozó idegtudományi kísérletek eredményeihez is (lásd összefoglaló: Alves és mts., 2008). Az emberi arcok mellett, a nem figyelt emberi kezek kategóriájának változása is kiváltja a vEN-t (Stefanics és Czigler, 2012). A bemutatott kezek feldolgozása a kontra- laterális superior parietális kéreg aktivitásához köthető (e területek aktivitása a téri figyelem folyamataihoz köthető). Az eredmények értelmében a negatív különbség (vEN), egy olyan predikciós modell jele, amely képes a látótér automatikus monitorozására és (kezek) azonosítására.

A kategoriális érzékenységet a színek területén Clifford és mts. (2010) továbbá Mo és mts. (2011) demonstrálta, ugyanis nagyobb vEN komponenst regisztráltak abban az esetben, ha a ritka és a gyakori színek különböző szín kategóriába tartoztak, mint ha ugyanabba a kategóriába tartoztak függetlenül a színskálán belül elfoglalt helyüktől. A nyelvi folyamatok hatását a színek kategóriájának észlelésére (top-down folyamatok) Athanasopoulos és mts. (2010) vizsgálták. Eredményeik szerint a színváltozásokra kapott vEN komponens nagysága eltért a két- (natív görög és angol) és az egynyelvű (natív angol) résztvevők esetében, mivel előbbinek differenciáltabb nyelvi kategóriái vannak a színek megnevezésére. Ekképpen a nyelvi különbségek hatásai már igen korai vizuális észlelési folyamatokban is megjelennek (Athanasopoulos és mts., 2010).

Az eltérési negativitás komponens háttérében működő folyamatok lehetséges magyarázatai.

Az eltérési negativitás kezdeti értelmezésekor is feltételezték, hogy a komponens mögött álló rendszer specifikus folyamatok aktivitásához kötődik (Näätänen és mts., 1978). Näätänen és mts. (2007) szerint az EN komponens (akusztikus ingerek esetében tipikusan

fronto-centrális eloszlású, 100-200 msec csúcslatenciával jelentkező hullám).) egy össze nem illési folyamat eredményeképpen jön létre, melyet az EN mögötti álló memória (és figyelmi) folyamatokat igyekeztek magyarázni. A különböző MEG adatok (magnetoencefalográfia) megerősítették, hogy az EN komponens generátora az elsődleges hallókéreg (Hari és mts., 1984; Alho, 1995), illetve a frontális kéreg aktivitásához is kapcsolódik (Rinne és mts., 2000; Opitz és mts., 2002). Näätänen memórianyom elméletének kidolgozását két megfigyelés is erősítette: (1) minél kisebb a valószínűsége a ritka hangok megjelenésének, annál nagyobb az EN komponens amplitúdója; (2) minél jobban különböznek a gyakori és a ritka hangok ingersajátságaik, annál korábbi latencia sávban, illetve nagyobb amplitúdóval figyelhető meg az EN komponens megjelenése. A jelenségnek egyik magyarázata, hogy a gyakori sztenderd ingerek egy memórianyomot alakítanak ki, illetve a ritka deviáns ingerek is. Ugyanakkor minden egyes gyakori ingerbemutatása erősíti a sztenderd inger memórianyomát, ezzel szemben a ritka ingerek emléknyma igen gyenge (minél ritkább a deviáns inger annál nagyobb az EN komponens nagysága). Így a két eltérő erősségű memórianyom összehasonlításából egy össze nem illés adódik, mely kognitív folyamat neurális korrelátum az eltérési negativitás. Több kutató is leírta e memórianyomok tulajdonságait, mint például emléknym fennmaradásának időtartama (Cowan és mts., 1993), ingertulajdonságok száma (Sams és mts., 1984) vagy éppen a visszafelé ható maszkolásra való érzékenység (Winkler és mts., 1993) (lásd bővebben Winkler, 2007 összefoglaló).

A másik korai magyarázat a refrakter hipotézis (a refrakter neurobiológiából átvett kifejezést az első lábjegyzetben már részleteztük), mely szerint a gyakran megjelenő ingerek az információ feldolgozásukért felelős idegi populációt nagymértékben ingerlik, ezért a válaszkészségük lecsökken. Míg a ritkán megjelenő ingerek „frissebb” neurális csoportokat ingerelnek, így ezek válaszkészsége magas. A két ingerelt idegsejt populáció aktivitás mintázatának különbözőségeiből vezetik le az ingerekhez kapcsolódó EKP-k különbségeit (Näätänen, 1992; Jääskeläinen és mts., 2004; lásd összefoglaló: May és Tiitinen, 2010). Tehát a bejövő események ismétlése válasz csökkenéshez vezet. A jelenséget többféleképpen is megnevezik az irodalomban: ismétlési elnyomás („repetition suppression”), inger-specifikus adaptáció, refrakter állapot vagy neurális fáradtság. A refrakter hipotézisként nevezett nézet szerint az automatikus változás detekciós folyamatok hátterében egyszerű idegi folyamatok állnak és a magyarázathoz nincsen szükség komplex memória összehasonlító folyamatokra (Jacobsen és Schröger, 2001; Garrido és mts., 2009;

May és Tiitinen, 2010). A különbségi komponens megjelenése akár alapvető fiziológiai jelenségnek tekinthető, melynek a kognitív működés szempontjából nincsen jelentősége.

A refrakter hatást az N1 hullám amplitúdó modulációnak is nevezik (N1 adaptációs hipotézis lásd: Jääskeläinen és mts., 2004). Jääskeläinen és munkatársai kimutatták, hogy az N1 komponens érzékeny a refrakter és adaptációs folyamatokra (értsd ingerek fizikai megjelenésére, lásd: Jääskeläinen és mts., 2004). Ekképpen a deviáns-mínusz- sztenderd különbséggörbe értelmezésekor felmerült, hogy a N1 moduláció hatással lehet az eltérési negativitásra is. Az N1 és az EN komponens csúcslatenciája időben közel esik, ekképpen az N1 hatása nem szűrhető ki teljesen a kivonás által, mivel az N1 amplitúdója kisebb a gyakori sztenderd ingerek esetében a ritka deviáns ingerek N1 komponenséhez képest („genuine mismatch negativity”, lásd: Ruhnau és mts., 2012). A kutatók egy része szerint az EN/ vEN komponensről le kell választani a „genuine” eltérési negativitás komponensét, ezért szükséges egy további kontroll feltétel alkalmazása (akusztikus modalitásban: Jacobsen és Schröger, 2001; vizuális modalitásban: Czigler, Winkler és Balázs, 2002; lásd összefoglaló: Stefanics és mts., 2014). E feltétel az ún. random kontroll („equiprobable control”), melyben az ingerek egyenlő valószínűséggel jelennek meg (kakukktójás elrendezés ritka és gyakori ingerei mellé további ingereket is alkalmaznak a feltétel teljesítése érdekében). Az elképzelés szerint összehasonlításra kerül a random feltétel kontroll ingere ($p=0.1$) a kakukktójás feltétel fizikailag azonos deviáns ingerével ($p=0.1$). Miképpen a kontroll inger azonos valószínűséggel jelenik meg, a ráható refrakter hatás hasonló, úgy, mint a kakukktójás deviáns ingerére. Ekképpen a deviáns-mínusz- kontroll különbségképzés során kapott negatív hullám már egy „genuine” EN komponens, mely kizárólag memória folyamatokat tükröz. Egyik hátránya a random kontroll alkalmazásának, hogy túlbecsüli a refrakter állapot hatását a kakukktójás elrendezésben: hiszen a további bevont ingerek alkalmazásával kisebb a refrakter hatás az egyes ingerekhez köthető idegi populációra nézve, mint a ritka, kakukktójás deviáns bemutatás esetében. Továbbá a kakukktójás elrendezés szekvenciális szabályához képest a kontroll feltétel absztrakt, szabály nélküli feltétel (Ruhnau és mts., 2012). E probléma megoldására az elmúlt években igyekeztek alternatív megoldást találni az akusztikus EN kutatók, mégpedig egy ún. lépcsőzetes („cascade paradigm”) kontroll elrendezéssel. E feltétel lényege, hogy egy lépcsőzetesen növekvő illetve csökkenő szabály szerint követik egymást az ingerek, mely tartalmazza a kakukktójás ritka és gyakori elemeit, illetve a random feltétel elemeit is. Emellett pontos becslés adható az N1 refrakter hatására is, miképpen

összehasonlíthatóvá váltak a kontroll és a sztenderd ingerek a szekvenciális szabály megsértése nélkül. A ritka ingerből kivonták a sztenderd/ random kontroll/ lépcsőzetes kontroll ingereket is. Ruhnau és mts. (2012) eredményei szerint a lépcsőzetes kontroll EN válasza volt az „arany közép” az N1 amplitúdója tekintetében. A vizuális modalításban a lépcsőzetes kontroll feltétel alkalmazása nem váltotta be az előzetes elvárásokat (File és mts., 2015, előkészületben). A kutatók eredményei szerint sem a random, sem a lépcsőzetes feltételben nem mutatható ki negatív különbség a deviáns és a kontroll ingerek között. Ezek alapján úgy tűnik, hogy az elméleteket megtámogató kísérleti feltételek eredményei nem feltétlenül egyeznek a két modalitás terén. A rendelkezésre álló adatok meglehetősen ellentmondásosak (lásd: Astikainen és mts., 2008; Kimura és mts., 2009; File és mts., 2015, előkészületben), ezek alapján úgy tűnik, az elméletek további vizsgálatokat kívánnak. Az minden esetre kétséges, hogy kizárólag az N1 komponens refrakter állapotáról lenne szó, mivel a deviáns-mínusz- sztenderd különbség görbe csúcslatenciája gyakran kívül esik a vizuális N1 latencia sávján (lásd: tézis tanulmányok vEN latencia sávjai).

A jelenleg legfrissebb elméleti megközelítés az előző elméletekhez képest tovább megy: ugyanis az elmélet szerint az ismétléses elnyomás („repetition suppression”) függ a környezeti struktúra valószínűségétől, illetve magába foglalja azt az aktív folyamatot, mely során a szenzoros bemenet alapján kialakul egy „ok-okozati” modell a külvilág eseményeiről. Ezen hierarchikusan szerveződő modell a különböző inger tulajdonságok memória reprezentációit egyenértékűnek tekinti az észlelési objektumok prediktív reprezentációival. Azon észlelési esemény, amely nem egyezik e reprezentációval „eltérési folyamatot” aktivál, azaz predikciós hibajelest vált ki (Friston, 2005, 2010), majd módosításra kerülnek az „eredeti” a predikciók az észlelési objektumokra vonatkozóan. *Fontos megjegyeznünk, hogy a bemutatott elméletek nem egymás alternatívái, hanem egy tudományos elmélet továbbfejlesztésének egyes állomásai, mely igyekszik egy funkcionális hátteret nyújtani a szenzoros emlékezettel kapcsolatos felfogásnak.* Ekképpen a harmadik, jelenleg legmodernebb elmélet a prediktív kódolás modellje (látásban lásd: Stefanics és mts, 2014), melynek fő kérdései, hogy milyen típusú memória folyamatok képződnek és mi a szerepük az EN-t generáló folyamatoknak az információ feldolgozásban. A predikciós modell feltételezése szerint a perceptuális emlékezet egy olyan rendszer, melynek anticipációs funkciója van. (Személtetés céljából az akusztikus prediktív modell lásd

lábjegyzet⁵; illetve lásd összefoglaló: Fishman, 2014). A vizuális modalitás területén is prominens elképzelés a vEN háttérben működő prediktív rendszer feltételezése. A vizuális memória prediktív természetével foglalkozó első összefoglaló tanulmányban Kimura (2012a) egy olyan folyamatgyűjtést feltételez, mely a múltbeli és a jelen információk alapján képes a jövő bejósolására. Például feltételezzük, hogy az absztrakt szekvenciális szabályokat kódoló memória reprezentációk prediktív modellként működnek, melyek összehangolt előfeltevéseket képeznek a következő vizuális eseményre (pl.: szabály, hogy minden páratlan inger zöld, minden páros piros, ekképpen a feldolgozó rendszer a tapasztalatok alapján „ismeri” a következő eseményt). E működés kognitív pszichológiai magyarázata, hogy a sokféle előrejelzés koordinációjának eredményeképpen tudunk sikeresen alkalmazkodni a környezetünkhöz. A vizuális eltérési negativitás kutatása tehát a predikciók nem-tudatos időbeli vonatkozásaival (is) foglalkozik. A vEN komponens háttérben működő folyamatokba a vizuális területeken túlmutató neurális hálózatok is bevonódnak, hiszen egyes eredmények szerint a vizuális extrastriális területek mellett prefrontális területek is érintettek lehetnek (lehetséges forrásokról részletesebben a következő fejezetben), melyek az inkongruens esemény detekciójában játszhatnak szerepet, illetve a predikciós modell frissítésében, fenntartásában (Kimura, 2012a). Stefanics és mts. (2014) szerint a vEN mögött működő feldolgozó rendszer implicit módon tanulja meg a statisztikai szabályszerűségeket, mely a ritka események (deviáns, mely eltér a várttól) automatikus detekciójának alapjául szolgál. A legújabb tanulmányok szerint az eltérési negativitás (akusztikus) tulajdonképpen a szenzoros szabályszerűségek implicit tanulását tükrözi (Lieder és mts., 2013), és az EN-t generáló folyamatok illeszkednek a környezet valószínűségi modelljéhez az EN (predikciós hibajel) megjelenése értelmében. A szerzők szerint az észlelési predikciós hibajel tagja a hibajelek széles családjának, mely

⁵ Az akusztikus eseményekről kialakított előfeltevések hatékony eszközei a jövőbeli akusztikus történések kiszámításának. A bejövő akusztikus eseményeket összehasonlítja a rendszer ezekkel az előfeltevésekkel, majd ekképpen elválnak, hogy mi is ez az új input. Az információk tökéletes összeillesztése („régi-plussz-új stratégia) fontos szerepet játszik a hallási jelenet feldolgozásában (Bregman, 1990), mely elmélet feltárja, hogyan függnak össze a hallási láncok („auditory streams”), hogyan épülnek fel a bejövő akusztikus események kombinációjából. Az elmélet szerint ezeket a szekvenciákat kivonja a rendszer a bejövő összetett hallási eseményekből („auditory stream segregation”), különböző azonosítási, csoportosítási folyamatok mentén. Ezen információk (mi, mikor, hol stb.) tárolódnak egy prediktív rendszerben, melynek pontosabban tartalmazza a szekvencián belüli szabályszerűségi kapcsolatokat a hangok között. E rendszer része, működésének indexe az eltérési negativitás komponens (további részletekért lásd összefoglaló: Winkler, 2007)

magába foglalja az észlelési, magasabb kognitív és motivációs predikciós hibákat is. Az akusztikus és vizuális EN mögötti rendszer közös elveken alapul- a sokféle környezeti esemény közül kivonásra kerülnek a statisztikai szabályszerűségeket, melyet közvetlenül a szabályt sértő EN megjelenésével tudunk vizsgálni. A vEN a predikciós rendszer folyamatos frissítésének idegi korrelátuma. A kapcsolat a felülről jövő folyamatok (top down), elvárások (predikciók) és az aluról felüre folyamatok (bottom up), elvárásnak nem megfelelő események (predikciós hibák) között van. E rugalmas rendszernek köszönhetően lesz a „belső modellünk” naprakész a külvilág észlelési történéseivel kapcsolatban (Friston, 2010; Winkler és Czigler, 2012). Friston prediktív modellje bemutatja, hogy mely kapcsolatokon keresztül valósul meg az információ áramlása a különböző agykérgi rétegek között (Friston, 2005, 2008, 2010).

A predikciós modell érvényességét támogatja a disszertációban bemutatásra kerülő négy tézis tanulmány is. A kutatásaink eredményeképpen elmondható, hogy a bonyolultabb szabályszerűségeket (komplex ábrák) alkalmazó kísérletek, magasabb rendű kognitív folyamatok érintettségét sejtetetik az automatikus változás detekció folyamataiban.

A vEN lehetséges forrásai, bevonódó neurális területek; vEN rendszer funkciója; nem humán adatok

Az EKP módszer jellegzetesen a kognitív folyamatok idegrendszeri alapjainak időbeli leírására alkalmas, ugyanakkor az EKP eloszlások eredményeiből lehetséges forrásokra következtetni (pl.: sLORETA módszere Pascual-Marqui és mts., 2002.). Néhány tanulmány (Czigler és mts., 2004; Kimura és mts., 2010) a vEN lehetséges forrásaként a prestriatalis kérget jelölik meg (tulajdonképpen a V2, mely a vizuális asszociációs területek első állomása, és előre-és visszacsatoló kapcsolatot tart fent a többi vizuális területtel-V1, V3, V4, V5). Mégis a lokalizációs kérdésre leginkább MEG és fMRI tanulmányok eredményei adhatnak választ. Urakawa és mts. (2010) MEG tanulmányukban a középső okcipitális gyrust (middle occipital gyrus) jelölték meg, mint fontos kérgi területet, mely aktivitása tükrözi a szenzoros memóriához köthető automatikus változásokat (a változás után 150 msec csúcslatenciával jelentkezett a megnövekedett aktivitás a „MOG”- „middle occipital gyrus”- területén). Mindemellett Yucel és mts. (2007) fMRI tanulmányukban kiterjedt idegi hálózatot rendeltek hozzá a vEN háttérében lévő rendszer működéséhez. Pontosabban a nem figyelt ritka vizuális események megjelenése a BOLD válasz

változásait eredményezte. A BOLD változásait az intenzitás, téri eloszlás és az anatómiai lokalizáció mentén mérték. Eszerint az okcipitális fusiform, a poszterior parietális területek, valamint a prefrontális és szubkortikális régiók is megnövekedett aktivitást mutattak a nem-figyelt váratlan vizuális események bemutatásakor. A prefrontális régiók jelenlétét- az akusztikus EN modellhez hasonlóan- a predikció kialakításában (sorrend, szabályok, oksági kapcsolatok kialakítása), frissítésében látják a kutatók (lásd összefoglaló: Kimura, 2012a). Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy az EKP eloszlások elemzésekor csupán a tanulmányok csekély százalékában figyelhető meg frontális aktivitás a hátulsó vEN komponens megjelenése alatt.

Mint a bevezető második fejezetében bemutattuk a vizuális világ egyes eseményei gyakran észrevétlenek maradnak számunkra. Ugyanakkor a vEN kutatások eredményein keresztül láthatjuk, hogy gyakran tudatos élmény nélkül is feldolgozásra kerülnek a bennünket körülvevő világ sajátosságai. Ekképpen jogosan merül fel a kérdés, hogy mi lehet a funkciója egy ilyen emlékezeti rendszernek, mely képes a szabályosságok regisztrálására, illetve az eltérések detektálására. Bargh és Morsella (2008) a tudattalan elméről szóló írásukban egy rugalmas és alkalmazkodó viselkedés szabályozásra képes rendszerként tekintenek a tudattalan működésre. Ekképpen elképzelhető, hogy a vEN rendszer egyik funkcionális haszna az orientációs válasz 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 (jól alkalmazkodó viselkedés kialakítása). 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 komponenst gyakran figyelemfüggő EKP hullámok követik (pl.: P300). E elmélet kiegészítése a már bemutatott prediktív modell, mely az EN rendszer jelentőségét az előfeltevések frissítésében látja („modell frissítés hipotézis”, Winkler, 2007; Czigler, 2007; Kimura, 2012a; Stefanics és mts., 2014), miképpen az elvárttal nem egyező vizuális input jelenléte a prediktív modell környezethez való szinkronizációját igényli.

A fejezet utolsó felében röviden vázoljuk az eltérési negativitás állati modelljeit is. Az akusztikus modalitásban számos nem humán tanulmány született (pl.: lásd Javitt és mts., 1992, 1994; lásd összefoglaló: Fishman, 2014), melyek azt muttadják, hogy a ritka, nem figyelt változások az elsődleges hallókéreg supra-temporális régióit a Heschl's gyrussal

szomszédos területeket érintik. Továbbá megmérték az egyes területek aktivitását az elsődleges hallókérgen belül (mozgatható multi-csatornás elektródákat helyeztek a superior temporalis síkba). Eredményeik szerint az elsődleges hallókérgben belül a szupragranular laminae területén nagyobb válaszokat lehet regisztrálni a ritka ingerekre, mint a gyakoriakra. Az elülső és középső hallókérgei területeken nem rögzítettek EN-szerű válaszokat (Javitt és mts., 1994). A vizuális EN válaszok nem humán vizsgálata feltáratlan terület, mindössze egyetlen tanulmány foglalkozik (Kaliukhovich és Vogel, 2014) a változás detekciós neurális válaszaival. Kaliukhovich és Vogel (2014) tanulmányukban feltételezték, hogy a gyakran bemutatott sztereotip ingerek kisebb választ (adaptációs hatás) váltanak ki, mint a „meglepő” ritka ingerek. Két rhesus majom (*Macaca mulatta*) vett részt a vizsgálatban, melyben kétingeres kakukktojás fordított kontroll feltételt alkalmaztak, továbbá egy random kontroll feltételt is beiktattak (így a ritka ingerek a sztereotip és a kontroll ingerrel is összehasonlításra kerültek). Az bemutatott vizuális események alatt az egyesített („single-unit spike activity”) tüzelési aktivitást rögzítették. Az adatrögzítő elektródák helyét a superior temporalis sulcus és az inferior temporalis (IT) kéreg oldalsó domború („lateral convexity of IT cortex”) felén határozták meg. Már korábban azonosították az IT kéreg szerepét az ingerspecifikus adaptációs válaszok estében (Gross és mts., 1967; Miller és mts., 1991; Sawamura és mts., 2006; Liu és mts., 2009), így a kísérleti elrendezésből adódott az IT célzott vizsgálata. Kaliukhovich és Vogel (2014) eredményei szerint magasabb rendű vizuális területek felelősek a kakukktojás elrendezés ingerspecifikus adaptációs hatásáért. A gyakori ingerek egy csökkenő, nem-lineáris választ idéztek elő az IT-ben. Az ingerspecifikus adaptációt egy automatikus mechanizmusnak tekintetik, melyben a korábbi eseményektől eltérő válasz kiemelkedik a kontextusból, ekképpen az IT neuronjainak válasza is nagyobb lesz a ritka ingerek esetében. Azonban a kakukktojás ritka ingere a random kontroll fizikailag azonos ingeréhez mérve nem eredményezett nagyobb neurális választ. Mely eredmény arra utal, hogy az inger specifikus adaptáció - ismétlődő kontextus- okozza a magasabb rendű vizuális területek aktivitását, nem pedig a ritka, meglepő ingerek.

Perceptuális Kategorizáció

A disszertációban szereplő tanulmányok témái a vEN rendszer vizsgálatának keretén belül szorosan kapcsolódnak az automatikus perceptuális kategorizáció folyamataihoz, így

szükségesnek tartjuk, hogy leírjuk a folyamat leglényegesebb elemeit, továbbá bemutassuk a tanulmányokhoz köthető ingerspecifikus feldolgozási elméleteket is.

A hétköznapi világban való tájékozódásunkat nagymértékben segítik az észlelés automatikus perceptuális kategorizációs folyamatai. Ezen 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 kontinuum 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 két fő feladata van: (1) a kategóriák megkülönböztetése egymástól, mely alapján a beérkező eseményeket kezelni tudjuk, illetve (2) a kategórián belüli elemek kezelése, az általánosítás mellett – közös kontinuum megjelölése- az egyes tagok azonosítása is (lásd összefoglaló: Rosch, 1999; Pothos és Wills, 2011). A tagokat a prototípushoz való kapcsolat erősségének mentén írhatjuk le, azaz minél inkább hasonlít a kategória tipikus tagjára az új elem, annál inkább reprezentálja a kategóriát. Posner és Keele (1968) klasszikus kísérlete demonstrálta, hogy a perceptuális kategorizációs folyamatok mögött tanulási mechanizmusok állnak. A kísérlet során absztrakt kategóriákat (pont mintázatok) tanítottak a résztvevőknek, majd a felismerési fázisban tesztelték az előzetes tanulás hatását (feladat: az új mintázat a tanult kategóriába tartozik-e). Az eredményeik értelmében, akik magas variabilitású mintázatokat tanultak, azok jobban tudták transzferálni a tanultakat a felismerési feladatra, szemben azonnal, akik alacsony variabilitású mintákat sajátítottak el korábban (reakció idő és hibázás tekintetében gyengébben teljesítettek). A szerzők eredményei szerint, a tárolt mintázatokról kialakult prototipikus sémát (a prototípust konkrétan nem látták a tanulási fázisban, csak hasonlót) magasabb valószínűséggel ismerik fel a résztvevők, mint más, szintén a kategória részvevőjeként definiált mintázatot, e hatást nevezték el prototípus hatásnak (lásd összefoglaló: Pothos és Wills, 2011).

A kategorizációt nem lehet elkülöníteni a szenzoros információ felvételétől, ekképpen alacsonyabb szintű kérgi területek is aktiválódnak, ugyanakkor magasabb rendű vizuális területek, valamint frontális területek is szerepet játszanak a perceptuális kategorizáció folyamataiban. A következő tanulmányokon keresztül bemutatjuk, hogy mely agyi

területek képezik a kategorizáció idegi korrelátumait. Az állati modellekből kiderül, hogy az inferior temporális (IT) kéregnek jelentős szerepe van a komplex formák kategorizációs folyamataiban (lásd összefoglaló: Tanaka, 1996). Az IT a szenzoros területekről kapja a bemenetet (V2, V4), majd a frontális területek, mediotemporális kéreg, illetve a hippokampusz felé továbbítja az információt. Tanaka (1996) összefoglaló tanulmányában leírja, hogy az IT területén végzett egysejt- vizsgálatok kimutatták a terület érzékenységét komplex, háromdimenziós vizuális objektumok megjelenésére (szelektíven reagálnak a textúra, méret és a szín változásaira is, melynek egyik oka az itt található neuronok viszonylag nagy receptív mezeje). De Baene és mts. (2008) kutatása alapján elmondható, hogy a főemlősök is képesek tanulás által elsajátítani bonyolult kategóriákat, a kutatók összehasonlították a kategória tanulás előtti és utáni válaszokat (De Baene és mts., 2008). Az eredményeik szerint az IT neuronok növekvő érzékenységet mutattak tanult dimenzió mentén variált formákra, az irreleváns dimenzió mentén variált formákhoz képest. De Baene és mts. (2008) tanulmányukban viszonylag kismértékű kategorizációs szelektivitási hatást mértek (kizárólag a tanulás előtti és utáni adatok összehasonlításából), melyet alacsonyabb tanulási teljesítményi kritérium használatával indokoltak (másik tanulmányban Sigala és Logothetis, 2002: nagyobb hatást mértek, viszont a tréning kritérium is magasabb volt). Továbbá izgalmas eredmény volt, hogy az IT neuronjai hasonlóan válaszoltak a hasonló formákra, melyek azonos kategóriába tartoztak, szemben a különböző kategóriába tartozó elemekkel (De Baene és mts., 2008). Az inferior temporális léziós kísérletek eredményei szerint a vizuális diszkriminációs feladatokban drámaian lecsökken a teljesítmény (pl.: mintázat, szín vagy objektum), ugyanakkor a téri-vizuális feladatok teljesítménye érintetlen marad (ezzel ellentétes a poszterior parietális lézió eredménye, azaz érintetlen vizuális diszkriminációs teljesítmény és téri-vizuális zavar mutatkozik; lásd: Ungerleider és Haxby, 1994).

Az állatkísérletek eredményeit lehet a humán területre interpretálni, ugyanis az emberi neuronok válaszkészsége és szelektivitása is hasonló. Ismeretes, hogy az okcipito-temporális és okcipito-parietális területek hierarchikusan szerveződnek, azaz a beérkező vizuális input e területek működése által lesz egyre absztraktabb, komplexebb információ. Például a V1 sejtjei téri filterként funkcionálhatnak; a V2 a figura kontúrjára érzékeny; a V4 sejtjeinek a háttér elkülönítésében van szerepe, ekképpen a különböző színek, formák differenciálásának alapját adja; az IT sejtjei a globális formákra szelektívek, akár arcokra is (Ungerleider és Haxby, 1994). A tanulmányok eredményei fontos tanulságot hordoztak,

nevezetesen, hogy a neurális válaszok leginkább egy-egy kategóriára szelektívek, ekképpen jelentősen eltérhet bizonyos kategóriából származó ingerek feldolgozása. Többek között a tükörszimmetrikus alakzatok és az arcok kategóriájának azonosítása is ilyen kitüntetett ingerkategória szerepet tölt be.

A tükörszimmetrikus mintázatok feldolgozásának mechanizmusai, modellje, anatómiai és pszichofiziológiai háttere

A szimmetria körülvesz bennünket, nagyszámú természetes objektumot és több ember alkotta tárgyat jellemez. Ekképpen csöppet sem meglepő, hogy a látórendszer adaptív stratégiákat dolgozott ki a szimmetria észlelésére és felhasználására (Wagemans, 1995). Az állatok, valamint az újszülöttek is könnyen teljesítik a szimmetrikus és nem szimmetrikus formák megkülönböztetést (filogenetikusan és ontogenetikusan súlyozott az észlelése), mely kísérleti eredmények arra engednek következtetni, hogy a szimmetria egy száliens (kiemelkedő) vizuális tulajdonság, melyet hatékonyan és gyorsan képes azonosítani a vizuális rendszer (Wagemans, 1995). A szimmetria többnyire tükörszimmetrikus alakzatokat jelöl (további szimmetria típus lehet például a forgási- vagy az ismétlési szimmetria is), mely észlelése automatikus, gyors, önkéntelen (Julesz, 1971 lásd összefoglaló: Wagemans, 1995).

A szimmetria észlelésének lehetséges modellezését érintőlegesen írjuk le, részleteket Treder (2010) szimmetriával foglalkozó összefoglalójában találhatunk. A szimmetriával foglalkozó megközelítések alapvetően a szimmetrikus alakzatok pontról-pontra történő feldolgozását, illetve a reprezentáció alapjául szolgáló folyamatokat írják le különbözőképpen. Az első megközelítés a reprezentációs modell: meghatározott statikus struktúrákkal, az ezek közötti kapcsolatok leírásával dolgozik, melyek a szimmetria észlelésének alapját adják (transzformációs és holografikus megközelítés). A reprezentációs modellel ellentétben rugalmas kapcsolatokkal dolgozik a második megközelítés: folyamat modell, mely a szimmetria kivonását, a reprezentáció készítését a nyers, vizuális inputból dinamikus folyamatként írja le (a legjobban illeszkedő szimmetrikus pontok egy virtuális vonal mentén „közelednek” egymáshoz). A harmadik megközelítés a téri-szűrési modell, azon a tényen alapszik, hogy a vizuális rendszer érzékeny a vizuális objektumok téri frekvenciájára, orientációjára. Első lépésben az input szűrése történik (szögek, élek), majd második lépésben a szimmetrikus tengelyek

beazonosítása. A negyedik megközelítés a mesterséges intelligencia alapú neurális hálózati modell, mely súlyozott serkentő és gátló kapcsolatok mentén írja le a különböző funkcionális egységek kapcsolatát (leginkább számítógépes szimulációkkal dolgoznak). Az utolsó megközelítés a neurális modell, mely a különböző, a szimmetriával kapcsolatos komputációs folyamatok hátterében működő neurális architektúrákat vizsgálja.

Az irodalmi adatok alapján elmondható, hogy a szimmetria észlelése gyors, robosztus és pontos (lásd összefoglaló: Wagemans, 1995). A viselkedési adatok időközben kiegészültek pszichofizikai és neuropszichológiai eredménnyel, melyek a szimmetria észlelése mögötti agyi tevékenységet vizsgálták. Az eredmények alapján elmondható, hogy a V1 és extrastriális területek, monokuláris és binokuláris sejtek működése bevonódik. Egyes tanulmányok (fMRI) szimmetrikus specifikus korai aktivitást találtak a jobb elülső cingulate és a dorzolaterális okcipitális kéreg területén, valamint a később bevonódó hálózatban a V3A, V4d/v, V7 területén és a laterális okcipitális komplex (LOC) aktivitását is azonosították (lásd összefoglaló: Treder, 2010). A válaszokat ugyanakkor jelentősen befolyásolta, hogy milyen típusú, méretű ingereket alkalmaztak (pl.: pontminták, vonalak vagy Gábor-foltok, illetve a vertikális, és tökéletesebben szimmetrikus ingerek magasabb aktivációt váltottak ki magasabb rendű vizuális területeken). Az elektrofiziológiai tanulmányok figyelt, diszkriminációs feladatban hátsó eloszlású negatív amplitúdójú komponenst az ingerbemutatás utáni 500-1000 msec latencia sávban (összefoglaló, Treder, 2010).

A vizuális rendszer egyik feladata, hogy a rendelkezésére álló információkat felhasználva csoportosítsa az összetartozó releváns vizuális objektumokat. Számos csoportosítási elvet fogalmaztak meg a Gestalt irányzatban belül: a jó folytatás, zártság, közelség és hasonlóság mellett a szimmetriát is fontos csoportosítási elvnek írták le (lásd összefoglaló: Machilsen és mts., 2009). A szimmetria észlelése közvetlenül elkülöníti a (szimmetrikus) figurát a háttértől, mely egy akaratlan, nem-tudatos észlelési folyamat. Mach (lásd összefoglaló: Machilsen és mts., 2009) volt az első, aki leírta a szimmetria három fajtáját: ismétléses-, tükör- és forgási szimmetria. Mach (lásd összefoglaló: Machilsen és mts., 2009) szerint a tükörszimmetria észlelése során a könnyebben hozunk hasonlóságon alapuló döntéseket, ha az alakzatok vertikálisan nem pedig horizontálisan vannak tükrözve (lásd összefoglaló: Machilsen és mts., 2009). Julesz (lásd összefoglaló: Machilsen és mts., 2009) demonstrálta, hogy a kísérleti személyeknek csupán 50 msec szükséges, hogy detektálják a szimmetriát a mintázatban; Carmody és mts. (1977) kimutatták, hogy az aszimmetrikus

és szimmetrikus ábrák megkülönböztetéséhez csupán 25 msec ingerbemutató szükséges; Barlow és Reeves (1979) eredményei szerint a tükörszimmetrikus mintázat, random pontok közötti felismeréséhez 100 msec szükséges. Norcia és mts. (2002) e robosztus jelenség EKP korrelátumait keresték, az okcipitális régiók szelektív választ regisztrálták viszonylag késői 220 msec latenciával, mely az extrastriális területek bevonódását jelzi. Kutatócsoportjuk fMRI adatokkal is kiegészítette az eredményeiket, mely megnövekedett aktivitást mutattak a laterális okcipitális kéreg (mediális és poszterior területek: MT/V5) a szimmetrikus alakzatok észlelésekor. Ezen adatok alátámasztják azon elképzelést, hogy a vertikális tükörszimmetria perceptuális csoportosítási elvként működik (Norcia és mts., 2002).

Az első tézis tanulmányban megvizsgáltuk, hogy e robosztus ingerkategória hogyan reprezentálódik a figyelem fókuszán kívül, hiszen a tükörszimmetrikus mintázatok észlelési folyamatait csupán aktív kísérleti elrendezésekben vizsgálták a kutatók.

Az arc ingerek feldolgozásának mechanizmusai, modellje, anatómiai és pszichofiziológiai háttere

A disszertációban két tanulmány is szerepel (2. és 3. tézis tanulmány), mely az automatikus változás detekció mechanizmusán keresztül vizsgálja meg különböző arcok kategóriába „rendeződését” egy közös kontinuum mentén. Ekképpen szükségeszerű, hogy szó essen az arcokkal kapcsolatos feldolgozási folyamatokról, bevonódó idegi területekről, illetve a feldolgozás kognitív modelljéről. Ugyanakkor az arcfeldolgozással kapcsolatos irodalom igen kiterjedt, ennek részletes bemutatása túlmutat a disszertáció célkitűzésein. A dolgozat szempontjából lényeges elméletek, eredmények kerülnek bemutatásra a következőekben (bővebb összefoglalást lásd a hivatkozott összefoglaló tanulmányokban, vagy pl.: Zimmer, Arcészlelés, 2013).

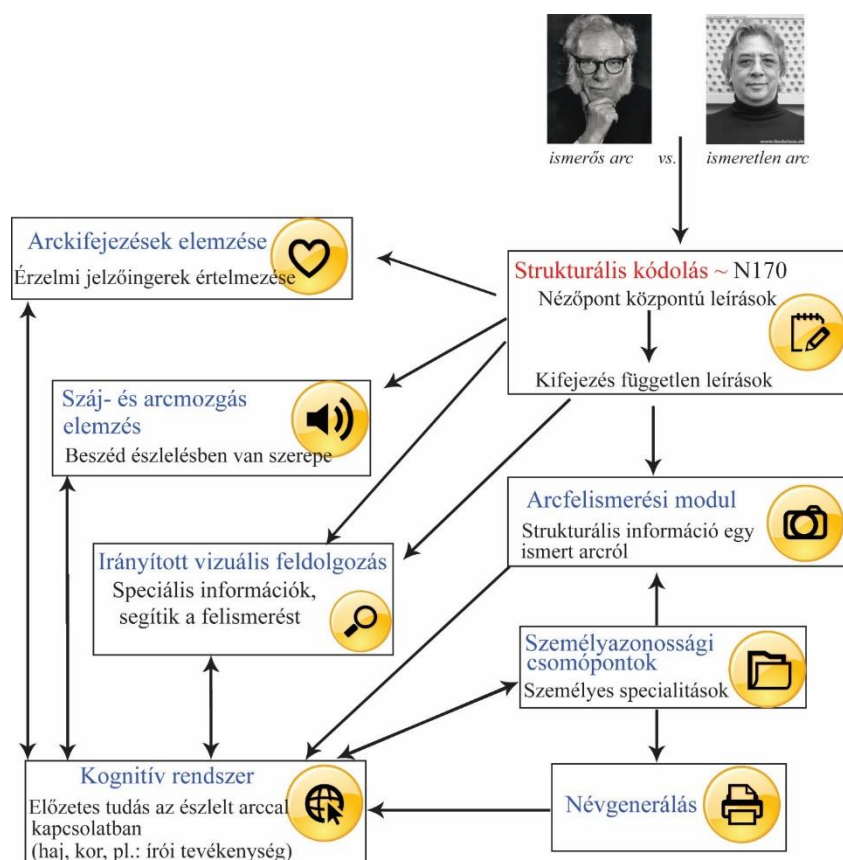
Az arcok kategóriájának feldolgozási sajátosságaira a neuropszichológiai eredmények hívták fel a figyelmet: behatárolt sérülések (okcipitális és temporális lebeny ventrális területeinek léziója) esetében arcfelismerési zavarokat regisztráltak (prozopagnózia) ép egyéb vizuális funkciók mellett (Damasio és mts., 1990; DeRenzi, 1986). Az arcfelismerés zavara igen széles spektrumot ölel fel (érzelmet kifejező arckifejezések; ismerős/ismeretlen arcok-; arc/ nem arc ingerek megkülönböztetésének képtelensége), mely az arcok egyes tulajdonságainak hierarchikus feldolgozását veti fel, mely modellben a különböző arc

sajátságokat külön reprezentálja a központi idegrendszer. Továbbá az arcfelismerés zavara nem érinti a többi vizuális objektum észlelésének képességét, mely az arcfelismerő rendszer különálló funkcionális moduljára utal (arcészlelés funkcionális modelljei: Kanwisher, 2000; Tarr és Gauthier, 2000).

Leopold és mts.(2001) elképzelése szerint az egyes arcok prototípusai egy hasonlóságon alapuló, multidimenzionális kategóriatérben reprezentálódnak, az arcokat megkülönböztető vonások (pl.: orr, száj, szem és ezek egymáshoz viszonyított távolsága) alkotják az egyes dimenziókat. Belátható, hogy a hasonló adottságokkal rendelkező arcok megkülönböztetése jelentős perceptuális kategorizációs feladat, mely megoldásához jelentős idegrendszeri erőforrások szükségesek.

Az arcfelismerés legjelentősebb elméleti modellje Bruce és Young nevéhez fűződik (1986). Modelljük összesen nyolc egységből áll (lásd 11. ábra). Az első egység a strukturális kódolás, mely során nézőpont központú leírások készülnek a beérkező arcokról (neurális megfelelője az N170 komponens), ez alapján már tárolódik egyfajta arc reprezentáció, mely a leírások konfigurációját tartalmazza, az egység outputja egy kifejezés független arc leírás. Ezen első egység közvetlenül kapcsolatba léphet több más alegységgel is (lásd 11. ábra). A második egység az arckifejezések elemzésére szolgál, információt kapunk az észlelt személy emocionális állapotáról. Evolúciósan igen adaptív egység, időben is viszonylag gyorsan azonosítja az észlelő rendszer (lásd az emóciók automatikus változás detekcióját vizsgáló tanulmányok körülbelül 280-320 msec közti latencia sávot állapítottak meg: Zhao és Li, 2006; Astikainen és Hietanen, 2009; Stefanics és mts., 2012, Kimura és mts., 2012b). A harmadik egység a száj- és arcmozgás elemzését végzi. A részletes feldolgozásnak a beszéd észlelésben van fontos szerepe. Az irányított vizuális feldolgozás képezi a negyedik egységet, mely során specifikus információk segítik a felismerést. Az ötödik egység az arcfelismerési modul, mely strukturális információt hordoz egy az észlelő számára ismert arcra. A hatodik a személyazonossági csomópontok, mely az ismert személyről nyújt specifikus információkat. A hetedik a névgenerálás, ez az a funkció, mely előhívja a látott személy nevét. A név a többi információtól külön tárolódik. A nyolcadik a kognitív rendszer, mely előzetes tudást tartalmaz az észlelt arccal kapcsolatban (kor, haj stb.), ezáltal befolyásolja, hogy az arcfelismerés folyamatában mely egységek vesznek részt. A modell elkülöníti az ismerős és ismeretlen arcok felismerésének folyamatát. Az ismerős arcok felismerésének során a strukturális kódolás, az arcfelismerési egységek, a személyazonossági csomópontok, és a névgenerálás aktiválódik. Ismeretlen

arcok esetén fontosabb szerepet tölt be a strukturális kódolás, az arckifejezés- és szájmozgás elemzése, és az irányított vizuális feldolgozás (Bruce és Young, 1986).



11. Ábra: A Bruce-Young arcfeldolgozási modell (1986) illusztrációja. A disszertáció szempontjából releváns feldolgozási egység a Strukturális kódolás, melynek az elektrofiziológiai megfelelője az N170 komponens (Bentin és mts., 1996).

Az arcok feldolgozását ma alapvetően strukturális kódoláson alapuló feldolgozásnak tekinthetjük (Haxby és mts., 2000). Ekképpen a beérkező arc ingertulajdonságainak viszonya meghatározza kódolást, így alacsonyabb és magasabb kérgi területek működése szükséges a sikeres perceptuális kategorizációhoz. Az arcok konfigurális feldolgozásakor elsődleges viszonylatok, majd a holisztikus információk, és a másodlagos viszonylatok észlelése történik, ekképpen előbb az egyes részek egymáshoz való viszonyát írjuk le, az arcszerű ingerben megkeressük az arcokra jellemző elemeket és eldöntjük, hogy valóban egy arcot látunk-e. A holisztikus feldolgozáskor a részeket és relációikat egy egészszé rakjuk össze. A másodlagos relációkat akkor használjuk, ha fel kell ismernünk egy arcot. Ezek alapján hasonlítjuk össze a megfigyelt ingert egy már eltárolt prototípussal (Haxby és mts., 2000; Kanwisher, 2000). Úgy tűnik, hogy az arcok felismerése komputációsan igen nehéz feladat, mivel minden beérkező arcinger ugyanazon építő elemekből áll (orr, száj, szem),

melyek nagyjából hasonló eloszlást mutatnak, mégis a hétköznapiak során ritkán okoz problémát a megkülönböztetésük. E specifikus, bonyolult feldolgozási folyamatot igyekeztek a kutatók különböző idegi területek aktivitásához rendelni. A funkcionális képalkotó eljárások segítségével (fMRI: Kanwisher és mts., 1997; PET-pozitron emissziós tomográfia: Haxby és mts., 1996) lokalizáltak egy területet a gyrus fusiformis mentén, amely szelektíven reagál arcokra, ekképpen a területet fusiform face area nevet kapta (továbbiakban FFA). A FFA aktivitása megnövekszik arc ingerek bemutatásakor, így mindenképpen az arcfeldolgozás fontos állomásának tekinthető, az egyik -modularista- álláspont szerint a magasabb rendű kognitív folyamatok hozzárendelhetőek egyes kiemelt agyterületek működéséhez (Kanwisher, 2000). Jelen esetben az FFA olyan speciális terület, amely az arcok kategóriájának reprezentációjáért lehet felelős. Az arcfelismerést kategória szintű felismerési folyamatokkal teszik egyenlővé. Álláspontjuk leginkább a klinikai vizsgálatok eredményeiből építkezik (prozopagnóziás páciensek adatai). Haxby és mts. (2000) elmélete szerint az egyes kategóriák agyi reprezentációja több területet érint, illetve az egyes idegi területek működése átfedésben is lehet egymással. Haxby és mts. (2000) szerint a feldolgozás topografikus megjelenítésére az idegtudományos módszerek alkalmazása nyújt lehetőséget. Ezen tulajdonság térképben nem csak a megnövekedett aktivitású területek kódolnak egy kategóriát (itt az arcoknál az FFA), hanem az alacsonyabb aktivitású területek is hordoznak kategória specifikus információkat (Haxby és mts., 2000). Az arcészlelés során figyelembe vesszünk invariáns információkat, illetve változó tényezőket is, mint például: szájmozgása, a fej iránya, és a tekintet. Haxby és mts., (2000) az arcészlelés egyes momentumaihoz kötöttek egy-egy agyi területet, melyek az összehangolt működésének eredményeképpen teljes az arcok percepciója. Mindezt megpróbálták egy lehetséges idegrendszeri modellben elhelyezni. A hierarchikus modell leír egy központi magot és egy periférikus részt. Előbbi áll az extrastriális kéreg okcipitális régióiból: pontosabban az inferior okcipitális gyrusból (IOG); laterális fusiformis gyrusból (LFG) és a jobb oldali superior temporális sulcusból (STS). E területek végzik az arcok vizuális elemzését, például a LFG az arcok identikumának azonosítását, az STS a változó nézőpontú arc ingerek összerendezésért felelős. Úgy tűnik, hogy az IOG szolgáltatja a bemeneti információt mindkét előbb említett régióhoz. A perifériás rendszer olyan más kognitív funkcióért felelős neurális rendszereket foglal magába, amelyek további releváns információkat szolgáltatnak az arcok azonosításához pl.: a „szájról-olvasás” aktiválja a beszédhangok feldolgozásáért felelős akusztikus folyamatokat, az érzelmes arckifejezések azonosítása az érzelmek egyik fontos központját

a limbikus területeket aktiválja, arc tekintetének irányának detektálása a téri figyelemért felelős parietális területeket aktiválja. Tehát Haxby és mts. (2000) modelljének központi gondolata, hogy több, az arcészlelés egyes elemeiért felelős funkció több agyi régió összehangolt munkájaként valósul meg.

A funkcionális képalkotó vizsgálatok és modellek mellett érdemes megemlíteni az arcfeldolgozáshoz köthető EKP adatokat. Bentin és mts. (1996) az arcfeldolgozás első egységének a strukturális kódolás (lásd: Bruce -Young modell, 1986) idegi korrelátumaként azonosította, egy az arcinger bemutatása után 170 msec megjelenő negatív amplitúdójú komponens. E komponens jelenléte bizonyítja, hogy a feldolgozó rendszer az arcokról leírásokat vett, melyeket összerendezett, és elkészítette az adott arc mentális reprezentációját. Tehát az arcot, mint vizuális alakzatot felismerte az észlelő rendszer; az N170 komponens független az arc ismerős/ismeretlen dimenziójától (Eimer, 2000), a superior temporális régió generálja (Henson és mts., 2003). A szakirodalomban konszenzus van az N170 komponens és az ehhez köthető pre-kategorizációs folyamatok azonosításában. Ugyanakkor a későbbi kognitív folyamatok és azok idegi korrelátumai az eredményekben igen nagy változatosságot mutatnak (pl.: ismerős arcok esetében N400 és P600 komponensek, közvetlen figyelem nélkül az N400 komponens eltűnése, Eimer, 2000; ismert arcok N250 komponens és P500, Schweinberger és mts., 2002).

Az arcok feldolgozásának vizsgálata a mai napig igen népszerű kutatási terület, hiszen az arcok kitüntetett szerepe akár a hétköznapi észlelés során is nyilvánvaló. A disszertáció tézis tanulmányaiban (2. és 3.) egyik kevésbé vizsgált aspektusával kívánunk foglalkozni. Az automatikus változás detekciós rendszer keretébe illeszkedve vizsgáljuk meg a különböző nemű arcok feldolgozását. Kíváncsiak voltunk, hogy a fizikai megjelenésben oly sokszínű férfi és női arcok, képesek-e egy közös nemi jelleg mentén kategóriába rendeződni. Feltételezésünk szerint e halmaz reprezentációja automatikus előfeltevést kódol a jövőbeli vizuális eseményekre, melynek elektrofiziológiai korrelátuma a vEN komponens megjelenése.

Tézis tanulmányok

Az értekezés kérdéseit megalapozó gondolatok

Az elméleti bevezetőben áttekintettük a vizuális automatikus változás detektáló rendszer sajátosságait, továbbá az értekezés tézis tanulmányai szempontjából releváns perceptuális folyamatokat, információ feldolgozási sajátosságokat (lásd szimmetria, arcok, vizuális keresési aszimmetria). Megállapíthatjuk, hogy a vEN vizsgálatában egy új kutatási téma kezd kibontakozni, mely irányhoz az értekezés tézis tanulmányai is csatlakoznak. Eszerint a vEN mögött álló memória rendszer hierarchikus felépítése túlmutat az egyszerű ingersajátság eltérés detekcióján –hasonlóan az akusztikus EN rendszeréhez- érzékeny természetes környezeti eseményekre, még abban az esetben is, ha a vizuális események az aktuális viselkedés szervezés szempontjából irrelevánsak. Az értekezés tézis tanulmányai az alábbi fő kutatási kérdések megválaszolását tűzték ki célul: A vEN mögött álló hierarchikusan szerveződő perceptuális memória rendszer érzékeny lehet e absztrakt szerveződési formákra (első tézis tanulmányban: szimmetrikus, random; negyedik tézis tanulmányban: homogén és heterogén mintázatok). Feltételezésünk szerint a feldolgozás érinthet magasabb szintű kognitív funkciókat, melyek elsősorban a perceptuális kategorizáció folyamataihoz kapcsolódnak.

További kérdés volt (melyet a 2. és 3. tézis tanulmányban vizsgáltunk), hogy a kísérleti feladatnak van-e hatása az automatikus változás detektáló rendszerre. Azaz megjelenik-e vEN komponens, ha a feladat részét képezi a ritka, kakukktojás ingerek azonosítása, illetve ha a résztvevők feladatától függetlenül jelenik meg a kakukktojás szekvencia. A kérdés megválaszolására egy természetes, szociálisan fontos ingerkategóriát (arcok) használtuk, melynek azonosításában jeleskedünk a hétköznapi élet során is. Céljaink között szerepelt az ökológiai validitás is. Arcok sajátosságaink belül a nemi kategória vizsgálata egy kevésbé kutatott terület. Ekképpen célunk volt, hogy pontosabb képet kapjunk az arcfeldolgozás ezen

Tehát az értekezés tézis tanulmányaiban bemutatott vizuális események két fő dimenzió mentén különböztethetők meg: az egyik esetben absztrakt, jelentés nélküli, szerveződési formák; míg a másik esetben szemantikai jelentéshez köthető, természetes, hétköznapi ingereket mutattunk be, ekképpen tárva fel a kapcsolatot a vEN rendszere és az automatikus perceptuális kategorizáció folyamatai között.

Tézis kérdések tényszerű felsorolása

Az első tézis tanulmányban a vizuális eltérési negativitás érzékenységet vizsgáltuk absztrakt, jelentés nélküli formákra: Kecskés-Kovács, K., Sulykos, I. & Czigler, I. (2013). Visual mismatch negativity is sensitive to symmetry as a perceptual category. *European Journal of Neuroscience* 37 (4), 662-667. DOI: 10.1111/ejn.12061.

A második tézis tanulmányban megvizsgáltuk a figyelem fókuszában álló különböző nemű arcok automatikus feldolgozásának folyamatait: Kecskés-Kovács, K. & Czigler, I. (2014). Arcok nemi kategorizációs folyamatainak elektrofiziológiai korrelátumai. *Pszichológia*, 34 (3), 207-224. DOI: 10.1556/Pszicho.34.2014.3.1. Affiliáció helyreigazítás: *Pszichológia*, 34 (4), 457. DOI: 10.1556/Pszicho.34.2014.4.9.

A harmadik tézis tanulmányban megvizsgáltuk, hogy a viselkedés szervezésének szempontjából irreleváns, különböző nemi arcok kategóriája reprezentálódik-e a szenzoros memória rendszerében: Kecskés-Kovács, K., Sulykos, I. & Czigler, I. (2013). Is it a face of a woman or man? Visual mismatch negativity is sensitive to gender category. *Frontiers in Human Neuroscience* 7, 532. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00532.

A negyedik tézis tanulmányban két kísérleti elrendezés segítségével megvizsgáltuk a vizuális keresés aszimmetrikus jelenségét nem figyelt vizuális események hiányzó, illetve hozzáadott vizuális tulajdonságok változása mentén: Czigler I, Sulykos I. & Kecskés-Kovács, K. (2014). Asymmetry of automatic change detection show by the visual mismatch negativity: An additional feature is identified faster than missing features. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience* 14 (1), 278-285. DOI: 10.3758/s13415-013-0193-3.

A vizuális eltérési negativitás érzékenysége a szimmetriára, mint perceptuális kategóriára (Visual mismatch negativity is sensitive to symmetry as a perceptual category)

A jelen tanulmányban a vizuális eltérési negativitás (vEN) háttérben álló megismerési folyamatok érzékenységét vizsgáltuk az automatikus perceptuális kategorizáció összefüggésében. A tanulmány célja, hogy feltérképezze a figyelem előtti („preattentive”), tudatos reprezentáció nélkül tárolódó környezeti szabályszerűségekből bekövetkezett változást, mely végbemenetelét a vEN komponens megjelenése jelez. Mint ismeretes a környezet vizuális ingereiből képes a feldolgozó rendszer kinyerni a szekvenciális szabályszerűségeket, melynek reprezentációja alapján egy előfeltevés készül, a várható inger megjelenésének idejére, helyére és egyéb tulajdonságaira vonatkozóan. Vizuális eltérési negativitás (vEN) regisztrálható több, az előfeltevéstől eltérő sajátságra [lásd korábban: például a mozgás (Pazo-Alvarez és mts., 2004b), szín (Czigler és mts. 2002), irány (Astikainen és mts. 2004, Kimura és mts. 2010) és a téri frekvencia (Helsenfeld és mts. 2003). Továbbá szemantikai jelentéshez köthető komplex ingerek esetében (Astikainen és mts., 2009; Stefanics és mts., 2012.)]. E tanulmányok eredményeire támaszkodtunk a kísérleti hipotézisek megfogalmazásakor. A fő feltevésünk értelmében: az automatikus deviancia detekciós rendszer érzékeny lehet magasabb szintű, szemantikai sajátságokhoz nem köthető, komplex vizuális szerveződési formákra. A kísérlet során a komplex perceptuális kategóriát bilaterális szimmetrikus alakzatok, illetve random alakzatok képezték.

A vertikálisan tükrözött szimmetrikus ábrák használatának oka a perceptuális feldolgozásuk egyedülállóságában keresendő (Mach, 1952; globális, párhuzamos feldolgozásuk lásd.: Baylis és mts., 1994; illetve összefoglaló: Wagemans, 1995). A perceptuális szervezésben kiemelt szerepe van, miképpen automatikusan végbemegy a bejövő ingerek szegregációja és csoportosítása (Machilsen és mts., 2009). Ekképpen a szimmetrikus objektumok azonosítása gyors és pontos (már 50msec is elegendő, hogy elkülönítsük a szimmetrikus figurát a háttértől, Machilsen és mts., 2009). Klinikai kutatások nyomán is ismeretes, hogy a szimmetria észlelése megelőzi a figyelemhez köthető feldolgozási folyamatokat (Machilsen és mts., 2009), illetve a korai perceptuális fejlődésben is kiemelkedő szerepe van (Machilsen és mts., 2009). Az irodalmi adatok alapján feltételezhető, hogy az automatikusan detektálható tükörszimmetrikus alakzatok

bemutatása kiváló lehetőséget nyújt a preattentív folyamatok idegi korrelátumainak vizsgálatára, egy nem-figyelt kísérleti helyzetben.

A kísérlet során a bemutatott ingeranyag kialakítása mellett a figyelem megfelelő kontrollálására is hangsúlyt helyeztünk. Ekképpen a felső látótérben a folyamatos figyelem biztosítása végett egy videojátékot láthattak a résztvevők (részleteket lásd 1. tézis tanulmány módszerek). A szimmetrikus és random négyzetminták egy passzív kakukktojás elrendezésben kerültek bemutatásra. Az első kísérleti feltételben a gyakori szimmetrikus ábrák (sztenderd) között random ábrák (deviáns $p=0.16$) jelentek meg. A másik kísérleti feltételben az ingerekhez tartozó valószínűségeket felcseréltük („reverse” azaz fordított alkalmazása kontroll, lásd bevezető). Ekképpen az adatfeldolgozás során összehasonlíthattuk a ritka és gyakori szimmetrikus ábrákhoz tartozó EKP-t, illetve a random ábrákhoz tartozó EKP-t mindkét valószínűség mentén. Célunk a vEN rendszer érzékenységének tesztelése volt a perceptuális kategóriák változásaira, mely indokolta az adott perceptuális kategórián belüli összehasonlítást. Az eredményeink szerint a ritka random ábrák EKP-i és a gyakori random ábrák EKP-i között negatív különbség figyelhető meg. E negatív különbségi hullám (random deviáns- mínusz-random sztenderd) poszterior eloszlással jelent meg két latencia sávban (112-120 msec és 284-292 msec). E két negativitást vEN komponenseknek tekintettük. Annak a lehetőségét, hogy a korábbi komponens (112-120 msec) csupán az N1 komponens amplitúdó modulációja, kizártuk (részletek a tézis tanulmányban). Elképzelésünk szerint a vEN két al-komponensét azonosítottuk, melyek lépcsőzetes, egymásra épülő automatikus hibajelként működhetnek („cascade error signal”). Azaz a vEN komponens hátterében egy hierarchikusan szerveződő rendszer állhat, mely összetett hibajellel reagál (vEN megjelenése), amennyiben eltérés van a folyamatos ingerlés előre jelző tulajdonságai és az aktuális ingerlés által kiváltott aluról-felfelé (bottom up) folyamatok között. Ugyanakkor a gyakori és ritka szimmetrikus ábrák EKP-i között nem találtunk különbséget. Ezen aszimmetria a random és a szimmetrikus feltételek között a kategorizációs hatásból adódik. Hiszen míg a gyakran megjelenő szimmetrikus ábrák kialakítanak egy perceptuális kategóriát, úgy a gyakori random alakzatok nem. Így a ritka random ábrák a gyakori szimmetrikus alakzatok között kiváltják a vEN-t, míg a random alakzatok sokaságában észrevétlen marad a ritka szimmetrikus alakzat megjelenése. Ekképpen megállapítható, hogy a bilaterális szimmetria kategóriája egy kiemelkedő (száliens) ingerkategória, melytől való eltérést a

vizuális rendszer azonnal jelezi (vEN) még abban az esetben is, ha nem köthető az aktuális viselkedéshez (azaz nem figyelünk rá).

Arcok nemi kategorizációs folyamatainak elektrofiziológiai korrelátumai (Event-related potentials correlates of gender face discrimination processes)

A második tézis tanulmányban megvizsgáltuk, hogy az észlelő rendszer több fizikailag eltérő arcról automatikusan kialakítja-e nemi kategória reprezentációját. Feltételezéseink szerint, a szabályos inger szekvenciában megjelenő szabálytalan inger kiváltja a vizuális eltérési negativitást, mely a változás detekció agyi folyamataihoz köthető agyi potenciál. Ennek előfeltétele, hogy a szabályos ingerszekvenciáról, az ingerek egymáshoz képesti viszonyáról – női arcokról vs. férfi arcokról – kialakuljon egy emlékezeti reprezentáció, melyek önmagukban már előfeltevéseket is kódolnak a következő vizuális objektum megjelenéséről. Minden egyes beérkező inger összemérésre kerül ezen emlékezeti reprezentációval, az ettől eltérő esetekben egy össze nem illési válaszreakció jelentkezik, azaz a vEN. A különböző vizuális objektumok detektálásából származó információ egy közös kontinuum mentén – nemi jelleg – kategóriába rendeződik, mely információt a memória fenntartja, frissíti, tárolja. Ezen folyamatok elektrofiziológiai korrelátumai a P3 komponens család megjelenése: az anterior eloszlású P3a komponens, mely újdonság detektorként definiálható, míg a P3b komponens, mely bizonyos tanulási mechanizmusokat, kategorizációs folyamatokat tükröz. Ekképpen elvárható, hogy a kísérlet során, amennyiben az arcokra figyelünk (relevánsak a feladat szempontjából) megjelenik a P3b komponens.

A második tézis tanulmányban különböző nemű arcok jelentek meg kakukktójás elrendezésben, melyek 40 női és 40 férfi szereplőtől származtak (kizártuk az alacsony szintű ingersajátság változásból adódó aktivitás különbség lehetőségét: lásd bevezető refrakter hatás). A kísérleti személyek feladata tehát a ritka nemi kategória detektálása volt ($p=0.2$), melyet egy válaszgomb megnyomásával jeleztek.

Az EKP adatok feldolgozásakor azonosítottuk az arcok feldolgozásának neurális korrelátumaként ismert N170 komponenst. Emellett 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 idegi korrelátumaként azonosítottuk (vEN komponens). A frontális P3a (290 msec csúcslatenciával) és a parietális P3b (550 msec csúcslatenciával) komponensek megjelenését a célingerek detekciója váltotta ki. A célingerek (nő vs. férfi) között sem viselkedéses, sem EKP különbséget nem találtunk.

Összességében az eredményeink demonstrálják, a vEN komponens megjelenésével, hogy az észlelő rendszer érzékeny az arcok nemi kategóriájának diszkriminációjára. Bár a kísérleti elrendezés aktív volt, tehát a feladatot éppen az arcok nemi hovatartozásának megkülönböztetése képezte, a vEN különbség hullám bizonyítéku szolgál arról, hogy a személyek ki tudták alakítani a gyakori és a ritka nemi kategóriákat. Az aktív kísérleti elrendezés nem zárja ki a vEN jelenlétét (bár célszerűbb a passzív elrendezés használata így kizárható az N2b megjelenése, az akusztikus modalitásban erre kifejezett vizsgálatokat is végeztek, pl. Kazmerski és mts., 1997; speciálisabb vonatkozásban Sussman és mts., 2003). Jelen tanulmány az arcok egy kevésbé vizsgált tulajdonságának automatikus feldolgozásával foglalkozik. Az eredményeink bizonyítják, hogy az alacsonyabb szintű vizuális területek mellett magasabb szintű feldolgozási folyamatok is bekapcsolódhatnak az automatikus változás detekciós rendszer működésébe.

Nő vagy férfi? Vizuális eltérési negativitás érzékenysége a nemi kategóriára (Is it a face of woman or a man? Visual mismatch negativity is sensitive to gender category)

A vEN komponenssel kapcsolatos kutatások eredményeiből láthattuk, hogy az automatikus változás detekciós rendszer vizsgálatához szerencsésebb passzív kísérleti elrendezést alkalmazni, mivel problémás lehet a komponensek, és a mögöttes folyamatok azonosítása (pl.: átfedő latencia sávok). A következő tanulmány (mely két kísérleti elrendezést tartalmaz) alapvető kérdését jelentette, hogy amennyiben az észlelendő arcok, illetve ezek különböző tulajdonságai a figyelem fókuszán kívül jelennek meg, hogyan reprezentálja az észlelő rendszer. Ekképpen adott a passzív kakukktojás paradigma alkalmazása, mely során a vEN komponens előhívó ingerek nem képezik az aktív figyelmet igénylő feladat részét. Az eljárásban a látómező közepén egyszerű méretváltozást detektáló feladat jelenik meg, mely biztosítja a kísérleti személyek tekintetének közepén tartását, illetve a periférián megjelenő események feladat-függetlenségét. A kísérleti eljárás módszere alapvetően megegyezett a második tézis tanulmányban ismertetettekkel, azaz különböző személyek férfi, illetve női arcképei jelentek meg hagyományos kakukktojás szekvenciában. Az első kísérlet során rövidebb ingerek közötti idővel (IKI: 400 msec) dolgoztunk, míg a második kísérletben 2250 msec volt az arc ingerek között eltelt idő. A különböző ingerek közötti időnek hatása volt a megjelenő EKP komponensekre: a rövidebb IKI esetében későbbi, nagyobb amplitúdóval megjelenő P1 komponens figyeltünk meg a hosszabb IKI feltételhez képest. Azonban a legmarkánsabb különbséget, mely az eltérő IKI hatásából adódott az N170 –az arcok strukturális feldolgozáshoz köthető– komponens megjelenésében regisztráltuk (amplitúdó, latencia, eloszlás tekintetében). A poszterior bilaterális eloszlású komponens megjelenésekor az első kísérlet során (rövid IKI) kismértékű ritka ingerhez köthető különbséget regisztráltunk, azonban e különbség a második kísérletben eltűnt. E korai különbség az N1/N170 komponens amplitúdó modulációjából adódott (lehetséges refrakter hatás, egyéb érveket lásd a tanulmány eredményeinek részletes leírásánál). A legfontosabb eredmény, hogy mindkét kísérleti feltételben (rövid vs. hosszú IKI) a bemutatott arcok szekvenciájában a ritka nemi kategóriájú arcok kiváltották a vEN komponens (350 msec csúcslatenciával). Fontos megjegyezni, hogy az adatok feldolgozásakor a fizikailag azonos ingerekhez tartozó EKP-t hasonlítottuk össze a különböző valószínűségek mentén (ritka női arcok- mínusz-gyakori női arcok illetve, ritka férfi arcok- mínusz-gyakori férfi arcok). Az összehasonlítás lehetőséget teremt a nem tudatos vizuális események perceptuális kategorizációs

folyamatainak vizsgálatára. Véleményünk szerint a vEN komponens(ek) megjelenése a különböző arcok közös nemi kategóriájának automatikus reprezentációját feltételezi, hiszen a szabályoktól eltérő kategóriájú vizuális esemény a szenzoros memória tudattalan detekcióját tükrözi (vEN).

Az automatikus változás detekciós folyamatok (vEN) aszimmetriája: egy hozzáadott vizuális tulajdonság azonosítása gyorsabb, mint a hiányzó sajátosságoké (Asymmetry of automatic change detection show by the visual mismatch negativity: An additional feature is identified faster than missing features)

Az utolsó tézis tanulmányban két kísérleti elrendezésben vizsgáltuk meg az automatikus változás detekciós rendszer érzékenységet vizuális keresési feladat mentén. A bevezető vizuális kereséssel foglalkozó fejezetében leírtuk a vizuális keresés aszimmetrikus jelenségét, mely leginkább a viselkedéses teljesítményben nyilvánul meg (emlékeztetőül: eltér a teljesítmény, ha az „O betűk” között keresünk „Q betűt”, illetve ha „Q betűk” között az „O betűt”. Könnyebb megtalálni egy célingert, amennyiben annak egyik ingersajáttsága már szerepelt azaz „O” között a „Q”, ellentétben azzal, mikor a zavaró ingerekhez képest a célinger egy ingersajáttság mentén „hiányos” azaz „Q” között az „O” célinger megtalálása). A kísérleti hipotézisünk szerint a viselkedéses adatokat pszichofiziológiai eredményekkel sikerül alátámasztani, kiegészíteni, melyhez a vEN komponens mérése nyújt megfelelő lehetőséget. Az első kísérleti elrendezésben a nem figyelt, gyakori ingerek szekvenciáját „O” karakterű mintázat adta, míg a ritkán megjelenő mintázat „Q” karakterekből állt (a fordított kontroll alkalmazásának értelmében az „O” karakterű mintázat szerepelt ritka ingerként a gyakori „Q” mintázatok között). A viselkedéses adatok alapján a ritka „Q” mintázatok esetében korábbi és nagyobb vEN komponens megjelenésére számítottunk. Feltételezésünk helyesnek bizonyult, miképpen a ritka ingerek („Q” és „O” egyaránt) 150-350 msec latencia sávban negatívabb EKP-t váltottak ki, mint a gyakori ingerek. A „Q” és „O” különbség hullámát (ritka „Q”- mínusz- gyakori „Q”; ritka „O”- mínusz- gyakori „O”) összehasonlítva látható, hogy a negatív „Q” különbség korábban (210 msec a különbség maximuma), nagyobb amplitúdóval jelentkezik, mint az „O” (254 msec a különbség maximuma) különbség hulláma. Tehát a ritka, nem figyelt ingerek esetében egy további ingertulajdonság megjelenését gyorsabban detektálja az automatikus észlelő rendszer, mint egy ingertulajdonság hiányát. A második kísérleti elrendezésben kizárólag a gyakori (sztenderd) mintázatok maradtak homogének (csak „Q” vagy csak „O” karakterek), míg a ritka ingerek mintázata eltért az első kísérlethez képest. Tulajdonképpen a szekvencia sztenderd mintázatát „rontottuk el”, mégpedig úgy, hogy a 16%-t a karaktereknek kicseréltük az ellentétes karakterre. Az így kapott ritka mintázatokon belül az éppen kicserélt karakterek pozícióját random módon képről képre változtattuk. Mivel a szekvencián belüli gyakori sztenderd inger és a ritka

deviáns inger fizikailag sokkal hasonlóbb, mint a szekvenciák közötti sztenderd és deviáns, az adatelemzés során a különbség képzéséhez a szekvencián belüli mintázatokhoz tartozó EKP-t használtuk. Az eredmények szerint a ritka 16%-ban „Q” karaktereket tartalmazó mintázat nagyobb és korábbi (254 msec különbség maximuma) vEN komponenst váltott ki, mint a ritka 16% -ban „O” karaktert ábrázoló minta (286 msec különbség maximuma azaz vEN komponens). Ha összehasonlítjuk az első kísérlet ritka, homogén „Q” mintázatának eloszlását, a második kísérlet ritka, 16%-os „Q” mintázatának eloszlásával, a homogén mintázat rövidebb latenciájú és nagyobb amplitúdójú vEN komponenst váltott ki. Az említett eredmények 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. Továbbá elmondható, hogy az automatikus változás detekciós rendszer nem csak erőteljes változásokra érzékeny (első kísérlet homogén minták változása), hanem a mintázat apróbb, random változásaira is. Összegezve elmondható, hogy a vizuális rendszer bizonyos változásokra érzékenyebb, mely aszimmetria eddig csupán az aktív vizuális keresési feladatok teljesítményében jelent meg.

Összefoglalás

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 háttérében álló szenzoros memória rendszer érzékeny a magasabb rendű struktúrák változásaira, képes komplex ingerkategóriák reprezentálására.

A kategorizáció a vizuális észlelés alapvető folyamata, mely túlmutat az ingerek fizikai jellemzőin, hiszen az ingersajátságok vagy ingersajátságok együttesének egy adott halmaza határoz meg egy kategóriát. Például a kék kategóriáján belül tucatnyi kéket különböztetünk meg, melyek a sajátságok egyedi kombinációjából adódnak, azaz a színárnyalat, a telítettség foka, vagy éppen a világosság mértéke mentén adjuk meg.

A kategorizációs rendszer működésének elsődleges feladata, hogy a legkevesebb kognitív erőfeszítéssel a rendelkezésre álló legtöbb információt szolgáltatssa számunkra. Azaz a beérkező vizuális eseményeket a közös jegyek alapján kategóriába sorolja (pl.: a türkiz és az indigó is a kék kategóriájába tartozik), majd az „erőforrás-spórolás jegyében” e kategória reprezentációval dolgozik az észlelő rendszer, egészen egy új, váratlan, a kategóriába nem illeszkedő vizuális esemény megjelenéséig (pl.: bíbor vagy kármin vörös). Ekkor egy másik folyamat aktiválódik, mely gondoskodik arról, hogy a kategorizációs információk struktúrája kövesse az észlelt világ történéseit. Ekképpen a bejövő új vizuális ingert vagy egy már meglévő kategóriába kell illeszteni, vagy egy újabb kategória kialakítása, definiálása szükséges (jelen esetben a piros szín kategóriája).

Több tanulmány eredményein keresztül bizonyítást nyert, (lásd összefoglaló: Czigler, 2014), hogy a vEN eseményhez kötött potenciál komponens megjelenik amennyiben egy a reprezentált kategóriától eltérő inger jelenik meg, még akkor is, ha az a figyelem fókuszán kívül esik. Ilyen magasabb rendű kategória a színek és azok nyelvi kategóriájának változásaival összefüggő vEN komponens megjelenése (Athanasopoulos és mts., 2010). Az automatikus változás detekció folyamataira hosszú távú tanulási mechanizmusok is hatással lehetnek (lásd.: Athanasopoulos és mts., 2010; Zhong és mts., 2015). Az arcokon megjelenő érzelmek kategóriájának változásaival kiváltott vEN igen kiterjedt kutatási területet (Susac és mts., 2004; Zhao és Li, 2006; Astikainen és Hietanen, 2009; Stefanics és mts., 2012; Kimura és mts., 2012b). Továbbá az emberi kezek kategóriájának (bal vs.

jobb) változásai is kiváltották a kategória-függő vEN komponenst (Stefanics és Czigler, 2012).

Az első tézis tanulmány eredményeivel kapcsolatos megjegyzések

A kísérlet tervezésekor a szimmetria észlelésével kapcsolatos viselkedéses adatokat figyelembe vettük (Tyler és mts., 1995; Wagemans, 1995; Huang és mts., 2004), ekképpen alkottuk meg az ingerbemutatáshoz szükséges szimmetrikus négyzet mintázatokat. A viselkedéses kísérletek jelentős hányada pszichofizikai méréseken keresztül vizsgálja a szimmetrikus minták észlelési teljesítményét, melyek az aszimmetrikus minták kontroll kategóriájával egészülnek ki. Az első tézis tanulmány operacionalizálásakor figyelembe vettük az aszimmetrikus minták használatának lehetőségét is. Ugyanakkor tudvalevő, hogy az aszimmetrikus mintázatok a szimmetrikus ábrák „elrontott” változatai. Kiterjedt, önálló kutatási területet ölel fel, hogy milyen feltételek változtatásával, hány lépésben teljesül a szimmetria „eltűnése” (lásd összefoglaló: Wagemans, 1995) vagy éppen a random zajból egy mintázat kialakulása (Wilson és Wilkinson, 1998). Ezen változók hatása egyénenként magas variabilitást mutathatnak, ekképpen minden kísérleti résztvevőnél szükséges lett volna egy pszichofizikai küszöb mérése, illetve az aszimmetrikus ábrák igazítása ezen értékhez, mely bonyolult metodikai eljárást nem tette lehetővé a kísérlet dizájnja. Továbbá a tanulmány kérdésfeltevése a szimmetria vizsgálatára irányult, nem pedig a szimmetria és az aszimmetria különbözőségének vizsgálatára. Ekképpen használtunk random négyzet mintázatokat kontroll ingerként a kísérlet során. Ezek az ingerek mindenki számára értelmezhetetlenek, semmilyen közös ingertulajdonság mentén nem lehet csoportosítani az egyes mintázatokat, mely feltevést az elektrofiziológiai válaszok is igazoltak. A módszertani egyszerűség ellenére az eredmények értelmezésekor felmerült a lehetősége egy olyan kontroll kísérlet kivitelezésének, melyben a szimmetrikus mintázatok mellett más aszimmetrikus ábrák szerepelnek (aszimmetrikus minták, melyek kategorizálhatóak). Egy ilyen kontroll kísérletben megvizsgálhatnánk, hogy a vEN mögött álló szenzoros memória rendszere érzékenyebb-e olyan ingerkategóriára, amely kevésbé feltűnő, tanult kategória. A két feltétel összehasonlítása (szimmetrikus/aszimmetrikus) mindenképpen bonyolultabb lenne, mint a bemutatott random kontroll esetében. Ugyanis a tökéletesen szimmetrikus ingerek önmagukban véve is nagyobb aktivitás idéznek elő a magasabb rendű vizuális területeken, így egy aszimmetrikus mintázat önmagában kisebb aktivitást idézhetne elő. Ekképpen egy dichotóm kategória használata nem lenne elégséges, további közbülső „kevésbé tökéletes” szimmetrikus és aszimmetrikus kategóriák bevezetése is szükséges

lenne. Mindazonáltal a szerzők véleménye szerint az aszimmetrikus, vagy elrontott kísérleti feltételekben is regisztráltunk volna vEN-t (természetesen a kategóriák közötti láthatóság mértékében).

A tanulmány eredményeit interpretálva lehetséges, hogy az adatok a vizuális feldolgozó rendszer hierarchikus működését mutatják: a kísérlet során regisztrált lépcsőzetes hibajellel (116 msec és 288 msec) kapcsolatban elképzelhető, hogy azok a feldolgozás egyes szakaszainak eletrofiziológiai regisztrátumai. Feltételezhetően az első válasz a kitüntetett szimmetriára való érzékenység megnyilvánulása, míg a későbbi eltérés már egy alaposabb feldolgozás eredménye, melyben kategória információk is kódolódnak.

Összességében elmondható, hogy a szimmetria, mint Gestalt csoportosítási elv azonosítása megtörtént anélkül, hogy erről tudatos tapasztalása lett volna résztvevőknek. A különböző mintázatokon keresztül a közös jegyek kivonásra (tükörszimmetria) kerültek, melyek idegi korrelátumait tetten értük.

A második és harmadik tézis tanulmány eredményeivel kapcsolatos megjegyzések

A két tanulmány eredményeinek megbeszélését egy szerkezeti egységen belül tárgyaljuk, hiszen a két tanulmány ingeranyaga megegyezett, valamint az arcok nemi diszkriminációjával kapcsolatos elektrofiziológiai folyamatok vizsgálatát tűzték ki célul (emlékeztetőül a két tanulmány alapvető különbsége: aktív vs. passzív kakukktojás paradigma használata). A tanulmányokban az arcok nemi kategóriájának változásához kapcsolódó vEN komponenseket regisztráltunk, melyek megléte nem magyarázható alacsony szintű vizuális folyamatok működésével.

A választott ingerkategória különlegessége leginkább abban áll, hogy az arcokkal kapcsolatos elméletek nem foglalkoznak az arc nemi azonosításának folyamatával (az emóciók és az ismerősség e legtöbbet kutatott terület). Továbbá az arcok nemi diszkriminációs folyamatainak idegi korrelátumai is a kevésbé keresett témák közé tartozik. Ekképpen a vEN komponens kutatásának kerete kiváló lehetőséget ad az arcok nemi dimenziójának vizsgálatára, hiszen megvizsgálhatjuk feldatfüggő és feladatfüggetlen kísérleti helyzetben, mely eredmények összehasonlíthatóak. Ezen összehasonlítás eredménye, hogy a kísérletek során regisztrált vEN komponens eloszlása megegyezik, így valószínűsíthetően hasonló agyi generátok működése állt a háttérben. Természetesen a pontosabb funkcionális működésre egy képalkotó vizsgálat (pl.: fMRI használata) eredményei adhatnának választ.

A negyedik tézis tanulmány eredményeivel kapcsolatos megjegyzések

Az utolsó tanulmány a vizuális keresési aszimmetria jelenségének demonstrálása mellett (egyezés/ eltérés és viselkedéses döntési folyamatok a vEN folyamataihoz hasonlóan működnek), a kategória-függő vEN komponens megjelenésével is kapcsolatba hozható. Mikképpen a gyakori „betű” ingerkategóriája reprezentálódott a szenzoros memóriában, így az eltérő ingerkategória kiváltotta vEN komponens, ugyanígy a homogén vs. „elrontott” mintázat esetében is. Mely eredmények arra utalnak, hogy a kategóriák közti eltérés észlelésekor egy hibajelet generált a szenzoros rendszer. E hibajel hátterében az aktuális aluról- fölfelé áramló (bottom-up) információk és az elkövetkezendő eseményekről kódolt előfeltevések eltérése áll.

Kritikai tanulságok, felvetendő kérdések, további kutatási irányok

Az első tézis tanulmány eredményei mindenképpen kiegészíthetők szorulnak az aszimmetria kérdéskörével kapcsolatban. Továbbá jogos kérdés, hogy vajon a szimmetriához hasonlóan működik-e a többi csoportosítási elv (pl.: zártság, jó folytatás stb.). Mi történne, ha több ilyen „kitüntetett” csoportosítási elv mentén határoznánk meg egy vizuális objektumot, amennyiben lenne bármelyiknek is előnye, úgy a feltűnő („száliens”) ingerkategóriák közötti csoportosításban is megmutatkozna-e a hierarchikus rendeződés.

A perceptuális kategorizációval kapcsolatos kutatások egy másik fontos területe a csoporton belüli prototípus meghatározása, mely elem önmagában lefedi a kategóriát, illetve a tagokat is a prototípushoz való kapcsolat erősségének mentén írjuk le. A kutatások során a prototípus hatás kérdésével nem foglalkoztunk, a kísérleti elrendezés nem tette lehetővé, hogy megmérjük az egyes tagok közötti különbségeket (azaz hogy melyik volt „jó” és „rossz” képviselője a kategóriának). Ugyanakkor az egyes kategória elemekhez tartozó agyi válaszokat átlagoltuk, ekképpen a prototípus hatás hátrányát kiküszöböltük. Mindazonáltal érdekes kérdés, hogy a prototípusok alapvetően nagyobb aktivációt idéznének-e elő, hasonlóan a tökéletesen szimmetrikus ábrákhoz. E kérdéskör vizsgálatára az ún. morfolási technika alkalmazása adhatna lehetőséget (A morfolási technika fokozatos egymásba alakítást jelent, mely során kiválasztunk egy-egy női és/vagy férfi arcot. Meghatározzunk a legfontosabb pontokat az arcokon (szem, orr, száj, illetve ezek

távolságát egymáshoz képest) majd egy számítógépes szoftver segítségével (pl.: WinMorph) száz lépésben egymásba transzformáljuk őket. Ekképpen hozhatunk létre pl.: 40% férfi és 60% női arcok vagy morfolhatunk össze 30%-70% arányban két különböző női arcot. A szoftverek által használt algoritmus részleteiről lásd: Beier és Neely, 1992). Továbbá a technika használata által nem csak a prototípus hatást, azaz a kategórián belüli hatásokat, hanem a kategóriák közötti hatásokat is vizsgálhatnánk.

A tézis tanulmányok eredményei alapján további kutatási irány lehet a tanulás hatásának vizsgálata az automatikus perceptuális változás detekcióra, illetve kategorizáció folyamataira. Milyen különbségek mutatkoznak egy hétköznapi értelemben vett gyakori ingerkategória, illetve egy kevésbé gyakori ingerkategória bemutatásakor, valamint elképzelhető, hogy absztrakt, a hétköznapi életben nem létező ingerkategóriák megtanulása hasonló eredményeket hozna (vEN komponens megjelenése). Mennyiségi különbséget lehetne-e regisztrálni a már „régén tanult” és az „újonnan elsajátított” ingerkategóriák detekciója között. E kérdéskör vizsgálata, a vizuális rendszer működésének, valamint a perceptuális kategorizáció folyamatainak, időbeli viszonyainak témáját is felszínre hozza. Lehetséges-e hogy, az idő elteltével a vizuális rendszer hatékonysága növekszik. Vajon milyen gyorsan tanulja meg a feldolgozó rendszer automatikusan, helyesen azonosítani és csoportosítani az elemeket (hangsúlyozzuk, hogy mindeközben a résztvevők egy elsődleges feladatot végeznek és vizuális események ettől függetlenül kerülnek bemutatásra). A kérdés megválaszolására az eddigiektől eltérő kísérleti elrendezés kidolgozására lenne szükség, mely lehetőséget nyújt a tanulás hatásának vizsgálatok az időbeli fosztásra.

Az említett fMRI vizsgálat (Yucel és mts., 2007) kapcsán utalnunk kell arra, hogy jelenleg nincsen meggyőző bizonyítékunk a vEN agyi forrásáról, ekképpen még kérdéses, hogy milyen egyéb észlelési struktúrák működésével kezelhető (lokalizálható) együtt, illetve külön. További fontos kérdés lehet, hogy az automatikus komplex kategória észlelésnek/kezelésnek milyen korlátai lehetnek. E kérdés megválaszolására kiegészítő képalkotó vizsgálatok szükségesek.

Az értekezés szerzőjének további kutatási terve, hogy a vEN komponens vizsgálatát klinikai kórcsoportokra is kiterjessze, hiszen a vEN rendszerének korlátairól hasznos információkhoz juthatnánk (pl.: neglectes páciensek vizsgálatán keresztül). A gyakorlati felhasználás további lehetőségeit alább részletezzük.

Az (vizuális) eltérési negativitás vizsgálatának gyakorlati jelentősége

A tézis tanulmányok eredményeivel kapcsolatos gondolatok megfogalmazása mellett fontos lehet szót ejtenünk az automatikus változás detekció gyakorlati felhasználásáról is. Hiszen a kognitív pszichológiai magyarázatok mellett egyes kutatók az eltérési negativitás jelentőségét a klinikai kutatásokban látják, mint ígéretes diagnosztikus eszközt. Näätänen (2003) összefoglalja az akusztikus EN klinikai perspektíváját és alkalmazásának lehetőségeit (diszlexiás kisgyermek vizsgálat: Baldeweg és mts., 1999; Kujala és mts., 2001; újszülöttek: Leppänen és Lyytinen, 1997; Kraus és Cheour, 2000; skizofrének: Javitt, 2000; Idősek, Alzheimer kór: Czigler és mts., 1992; Alkohol hatása: Jääskeläinen és mts., 1996; Kenemans és mts., 2010; He és mts., 2013; Kómas betegek: Kane és mts., 1993). A vizuális eltérési negativitás klinikai vizsgálata és alkalmazásának lehetőségei közel sem rendelkeznek az akusztikus EN-hez mérhető kiterjedt irodalommal. A következőekben szeretnénk megemlíteni azt a néhány kutatást, mely a célzottan a vEN vizsgálatának klinikai aspektusával foglalkozik. A kutatások a hipotézisek megfogalmazásakor jelentős mértékben támaszkodnak az akusztikus modalitásból nyert eredményekre. Ugyanakkor az eredmények értelmében elmondható, hogy a vizuális elektrofiziológiai adatok elemzése feltárja a szenzoros memória érzékenységevel összefüggésbe hozható kórképek finomabb, rejtett aspektusait. Gyakorlati hasznosulása érvényesülhet pl.: a vEN komponens csökkenésének regisztrálásakor az ezzel társuló szociális interakciókban is megfigyelhető érzelmi zavarok korai felismerésével (Csukly és mts., 2013) vagy éppen a kognitív hanyatlás mértékének azonosításával (Stothart és mts., 2014). Hasonlóan lényeges eredmény, hogy kapcsolatot találtak a vizuális nem-figyelt változások detekciója és a hallássérültek akusztikus kéreg aktivitása között (Bottari és mts., 2014). A kereszt modális „megerősödés” a korai szenzoros sérülések esetében már jó ideje ismert (hallás- és látás sérülteknél egyaránt), ugyanakkor a természete és a korlátai e plasztikus változásnak nem teljesen ismertek. Hallássérülés esetén a vizuális, taktilis ingerlés előidézhethet választ a hallókéregben, ennek ellenére a kérgi válaszok időbeni lefutása és a funkciója eddig még feltáratlan terület. Ekképpen annak vizsgálata, hogy milyen kiterjedésű hallókérgi válaszok regisztrálhatóak süket résztvevőknél magasabb szintű vizuális folyamatok közben (automatikus változás detekció), mindenképpen előremutató, hiszen az eredmények arra engednek következtetni, hogy a kereszt modális (halló) kérgi folyamatok szerepének megnövekedése egyes komputációs folyamatokat is érint (Bottari és mts., 2014). Tehát

össességében elmondható, hogy a sérült (és ép) feldolgozó rendszer működésének differenciáltabb elemzésére szolgáltat lehetőséget a vEN klinikai vizsgálata.

Összegezve elmondható, hogy a tézis tanulmányok munkáján keresztül kiderült, hogy a vEN háttérben működő rendszer kiemelten érzékeny a magasabb rendű struktúrák változásaira. A tanulmányokban bemutatott különböző ingerkategóriákon keresztül világossá vált, hogy absztrakt, jelentéstől független, illetve szemantikailag releváns kategóriákra is érvényesek a megállapítások. Az értekezésben bemutatott prediktív modell szerint egy új esemény megjelenésekor a hierarchikusan szerveződő szenzoros rendszer minden szintjén történik keresés, egészen addig, míg a bejövő esemény és az előzetes tudásunk meg nem felel egymásnak (Stefanics és mts., 2014). A hierarchikus felépítés és az egyes szintek közti előre/ és visszacsatoló kapcsolat a vizuális rendszer egyik alapvető tulajdonsága. A különböző vizuális ingersajátság-függő és kategória-függő (utóbbi értelemszerűen ingersajátságok komplex kombinációi) negativitások e hierarchikus rendszer különböző szintjének aktivációját jelzik. A jövőbeli kutatások különböző részfolyamatok feltárásán túl talán képesek lesznek egy teljesebb képet adni a vEN mögötti hierarchikus struktúra egészéről, illetve a különböző szintek együttműködéséről.

Irodalomjegyzék

- Ádám Gy. (1972) *Pszichofiziológia*. Gondolat Kiadó, Budapest.
- Alho, K. (1995). Cerebral generators of Mismatch Negativity (MMN) and Its Magnetic counterpart (MMNm) elicited by sound changes. *Ear and Hearing*, 16, 38–51.
- Allison, T., Puce1, A., Spencer, D.D. & McCarthy, G. (1999). Electrophysiological Studies of Human Face Perception. I: Potentials Generated in Occipitotemporal Cortex by Face and Non-face Stimuli. *Cerebral Cortex*, 9 (5), 415-430.
- Alves, N.T., Fukusima, S.S. & Aznar-Casanova J.A. (2008). Models of brain asymmetry in emotional processing. *Psychology and Neuroscience*, 1(1), 63–66.
- 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., Lillstrang, E. & Ruusuvirta, T. (2008). Visual mismatch negativity for changes in orientation - A sensory memory-dependent response. *European Journal of Neuroscience*, 28, 2319–2324.
- Astikainen, P. & Hietanen, J. K. (2009). Event-related potentials to task-irrelevant changes in facial expressions. *Behavioral and Brain Functions : BBF*, 5, 30.
- Athanasopoulos, P., Dering, B., Wiggett, A., Kuipers, J. R. & Thierry, G. (2010). Perceptual shift in bilingualism: Brain potentials reveal plasticity in pre-attentive colour perception. *Cognition*, 116(3), 437–443.
- van Atteveldt, N., Formisano, E., Goebel, R. & Blomert, L. (2004). Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron*, 43(2), 271-282.
- Baldeweg, T., Richardson, A., Watkins, S., Foale, C. & Gruzelier, J. (1999). Impaired auditory frequency discrimination in dyslexia detected with mismatch evoked potentials. *Annals of Neurology*, 45, 495–503.

- Bargh, J. A. & Morsella, E. (2008). The unconscious mind. *Perspectives on Psychological Science*, 3, 73-79.
- Barlow, H.B. & Reeves, B.C. (1979). The versatility and absolute efficiency of detecting mirror symmetry in random dot displays. *Visual Research*, 19, 783–793.
- Barry, R.J., Cocker, K.I. & Anderson J.W. (1992). Does the N100 evoked potential really habituate? Evidence from a paradigm appropriate to a clinical setting. *International Journal of Psychophysiology*, 13, 9-16.
- Beier, T. & Neely, S. (1992). Feature-based image metamorphosis. *Computer Graphics*, 26(2), 35-42.
- 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.
- Bergen, J. R. & Julesz, B. (1983). Rapid discrimination of visual patterns. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-13, 857-863.
- Berti, S. & Schröger, E. (2001). A comparison of auditory and visual distraction effects: behavioral and event-related indices. *Brain Research*, 10, 265-273.
- Berti, S., Schröger, E., 2006. Visual distraction: a behavioral and event-related brain potential study in humans. *NeuroReport* 17, 151–155.
- Berti, S. (2011). The attentional blink demonstrates automatic deviance processing in vision. *NeuroReport*, 22, 664–667.
- Bottari, D., Heimler, B., Caclin, A., Dalmolin, A., Giard, M.-H. & Pavani, F. (2014). Visual change detection recruits auditory cortices in early deafness. *NeuroImage*, 94, 172–84.
- Bregman, A.S (1990). *Auditory Scene Analysis: The perceptual organization of sound*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts (United States).

- Bruce, V. & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77 (3), 305–327.
- Bruneau, N., Cléry, H., Malvy, J., Barthélémy, C., Bonnet-Brilhault, F. & Gomot, M. (2014). Hypersensitivity to change in children with autism spectrum disorder: Convergent evidence from visual and auditory MMN studies. *International Journal of Psychophysiology*, 94(2), 157.
- Carmody, D.P., Nodine, C.F. & Locher, P.J. (1977) Global detection of symmetry. *Perceptual and Motor Skills*, 45, 1267–1273.
- Chun, M.M. & Potter, M.C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental psychology: Human Perception and Performance*, 21, 109–127.
- Clifford, A., Holmes, A., Davies, I. R. L. & Franklin, A. (2010). Color categories affect pre-attentive color perception. *Biological Psychology*, 85(2), 275–282.
- Cowan, N., Winkler, I., Teder, W. & Näätänen, R. (1993). Memory prerequisites of mismatch negativity in the auditory event-related potential (ERP). *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*.
- Csépe, V., Karmos, G. & Molnár, M. (1987). Evoked potential correlates of stimulus deviance during wakefulness and sleep in cat — animal model of mismatch negativity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 66, 571–578.
- Csépe, V., Pantev, C., Hoke, M., Hampson, S. & Ross, B. (1992). Evoked magnetic responses of the human auditory cortex to minor pitch changes: localization of the mismatch field. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 84(m), 538–548.
- Csibra, G., Czigler, I. & Ambro, A. (1994). Effects of stimulus alternation, repetition and response requirements on event-related potentials to patterned visual stimuli. *Biological Psychology*, 37(2), 115–132.

- Csukly, G., Stefanics, G., Komlósi, S., Czigler, I. & Czobor, P. (2013). Emotion-Related Visual Mismatch Responses in Schizophrenia: Impairments and Correlations with Emotion Recognition. *Plos One*, 8(10), 11.
- Czigler, I. & Csibra, G. (1990). Event-related potentials in visual discrimination task: negative waves related to detection and attention. *Psychophysiology*, 27(6), 669-676.
- Czigler, I., Csibra, G., Csontos, A., (1992). Age and interstimulus interval effects on event-related potentials to frequent and infrequent auditory stimuli. *Biological Psychology*, 33, 195–206.
- Czigler, I. (2001). *Figyelem és Percepció*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen.
- Czigler, I., Balázs, L. & Winkler, I. (2002). Memory-based detection of task-irrelevant visual changes. *Psychophysiology*, 39, 869-873.
- Czigler, I., Balázs, L. & Pató, L. (2004). Visual change detection: Event-related potentials are dependent on stimulus location in humans. *Neuroscience Letters*, 364(3), 149–153.
- Czigler, I., Weisz, J. & Winkler, I. (2006). ERPs and deviance detection: Visual mismatch negativity to repeated visual stimuli. *Neuroscience Letters*, 401(1-2), 178–182.
- Czigler, I. (2007). Visual Mismatch Negativity. *Journal of Psychophysiology*, 21(3), 224–230.
- Czigler, I. & Pató, L. (2009). Unnoticed regularity violation elicits change-related brain activity. *Biological Psychology*, 80, 339–347.
- Czigler, I. (2009). Szabályosságok nem tudatos észlelése a látásban: az eseményhez kötött potenciál módszer automatikus működésekre utal. *Pszichológia*, 29 (2), 79-100.
- 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.

- Czigler, I. (2014). Visual mismatch negativity and categorization. *Brain Topography*, 27, 590–598.
- Damasio, A. R., Tranel, D. & Damasio, H. (1990). Face agnosia and the neural substrates of memory. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 89–109.
- De Baene, W., Ons, B., Wagemans, J. & Vogels, R. (2008). Effects of category learning on the stimulus selectivity of macaque inferior temporal neurons. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, 15, 717–727.
- Dehaene-Lambertz, G. (1997). Electrophysiological correlates of categorical phoneme perception in adults. *NeuroReport*, 8, 919–924.
- DeRenzi, E. (1986). Prosopagnosia in two patients with CT scan evidence of damage confined to the right hemisphere. *Neuropsychologia*, 24(3), 385-389.
- Dittmann-Balçar, A., Jüptner, M., Jentzen, W. & Schall, U. (2001). Dorsolateral prefrontal cortex activation during automatic auditory duration-mismatch processing in humans: a positron emission tomography study. *Neuroscience Letters*, 308(2), 119-122.
- Donchin, E., Ritter, W. & McCallum, W.C. (1978). Cognitive Psychology: The endogenous components of the ERP. In: Callaway, E., Tueting, P. & Koslow, S.H. (szerk.), *Event-related brain potentials in man*, (349-413), Academic Press, New York.
- Duncan, C.C., Barry, R. J., Connolly, J.F., Fischer, C., Michie, P.T., Näätänen, R., Polich, J., Reinvang, I. & Van Petten, C. (2009). Event-related potentials in clinical research: Guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P300, and N400. *Clinical Neurophysiology*, 120(11), 1883-1908.
- Dux, P. E. & Marois, R. (2009). The attentional blink: a review of data and theory. *Attention, Perception & Psychophysics*, 71(8).
- Eimer, M. & McCarthy, R.A. (1999). Prosopagnosia and structural encoding of faces: evidence from event-related potentials. *NeuroReport*, 10(2), 255-259.

- Eimer, M. (2000). Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clinical Neurophysiology*, 111, 694–705.
- Eimer, M. (2011). The face-sensitive N170 component of the event-related brain potential. In: Calder, A.J., Rhodes, G., Johnson, M.H. & Haxby, J.V (szerk.), *The Oxford Handbook of face perception*,(329-344), Oxford University Press, Oxford, United Kingdom
- File, D., Bodnár, F., Kecskés-Kovács, K., Sulykos, I. & Czigler, I. (2015). The role of stimulus features in the underlying process of vMMN by using control paradigms. *Előkészületben*.
- Fishman, Y.I. (2014). The mechanisms and meaning of the mismatch negativity. *Brain Topography*,27(4), 500-526.
- Folstein, J. R. & Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45(1), 152–170.
- Foster, D. H. & Ward, P. A. (1991). Asymmetries in oriented-line detection indicate two orthogonal filters in early vision. *Proceedings of the Royal Society of London: Series B*, 243, 75-81.
- Friston, K. (2005). A theory of cortical responses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360, 815–836.
- Friston, K. (2008). Hierarchical models in the brain. *PLOS Computational Biology*, 4 (11), e1000211.
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: a unified brain theory. *Nature Reviews Neuroscience*, 11 (2), 127–138.
- Garrido, M. I., Kilner, J. M., Stephan, K. E. & Friston, K. J. (2009). The mismatch negativity: A review of underlying mechanisms. *Clinical Neurophysiology*, 120(3), 453–463.

- Goff, W.R., Allison, T. & Jr. Vaughan, H.G. (1978). The functional neuroanatomy of event-related potentials. In: Callaway, E., Tueting, P. & Koslow, S.H. (szerk.), *Event-related brain potentials in man*, (1-81), Academic Press, New York.
- Gomes, H., Bernstein, R., Ritter, W., Jr. Vaughan, H. G. & Miller, J. (1997). Storage of feature conjunction in transient auditor memory. *Psychophysiology*, 34, 712–716.
- Gross, C.G., Schiller, P.H., Wells, C. & Gerstein, G.L. (1967). Single-unit activity in temporal association cortex of the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 30, 833–843.
- Hari, R., Hamalainen, M., Ilmoniemi, R., Kaukoranta, E., Reinikainen, K., Salminen, J., Alho, K., Naatanen, R. & Sams, M. (1984). Responses of the primary auditory cortex to pitch changes of tone pips: neuromagnetic recordings in man. *Neuroscience Letters*, 50,127-132.
- Haxby, J. V, Ungerleider, L. G., Horwitz, B., Maisog, J. M., Rapoport, S. I. & Grady, C. L. (1996). Face encoding and recognition in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(January), 922–927.
- Haxby, J. V, Hoffman, E. A. & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences* 4(6), 223–233.
- He, J., Li, B. & Guo, Y. (2013). Effects of alcohol on auditory pre-attentive processing of four sound features: Evidence from mismatch negativity. *Psychopharmacology*, 225, 353–360.
- Heilman, K. M. H & Valenstein, E. (2012). *Clinical Neuropsychology*. Oxford University Press, New York.
- Heller, W. (1986). The neuropsychology of emotion: Developmental patterns and implications for psychopathology. In: Stein, N., Leventhal, B. & Trabasso, T. (szerk.). *Psychological and biological approaches to emotion* (167-189). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, New Jersey.

- Henson, R. N., Goshen-Gottstein, Y., Ganel, T., Otten, L. J., Quayle, A. & Rugg, M. D. (2003). Electrophysiological and haemodynamic correlates of face perception, recognition and priming. *Cerebral Cortex*, 13, 793–805.
- Heslenfeld, D.J. (2003). Visual mismatch negativity. In: Polich, J.(szerk.), *Detection of Change: Event-Related Potential and fMRI Findings* (41–59). Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Hillyard, A.S., Picton, T.W. & Regan, D. (1978). Sensation, Perception and Attention: Analysis using ERPs. In: Callaway, E., Tueting, P. & Koslow, S.H. (szerk.), *Event-related brain potentials in man*, (223-323), Academic Press, New York.
- Hillyard, A.S. & Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 781-787.
- Horváth, J., Czigler, I., Sussman, E. & Winkler, I. (2001). Simultaneously active pre-attentive representations of local and global rules for sound sequences in the human brain. *Cognitive Brain research*, 12, 131-144.
- Horváth, J., Winkler, I. & Bendixen, A. (2008). Do N1/MMN, P3a, and RON form a strongly coupled chain reflecting the three stages of auditory distraction? *Biological Psychology*, 79, 139-147.
- Ibáñez, A., Gleichgerrcht, E., Hurtado, E., González, R., Haye, A. & Manes, F. F. (2010). Early Neural Markers of Implicit Attitudes: N170 Modulated by Intergroup and Evaluative Contexts in IAT. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4(October), 188.
- Itier, R.J. & Taylor, M.J. (2004). Source analysis of the N170 to faces and objects. *NeuroReport*, 15(8), 1261- 1265.
- Jääskeläinen, I.P., Pekkonen, E., Hirvonen, J. (1996) Mismatch negativity subcomponents and ethyl alcohol. *Biological Psychology*, 43, 13–25.
- Jääskeläinen, I.P., Ahveninen, J., Bonmassar, G., Dale, A.M., Ilmoniemi, R.J. & Levänen, S. (2004). Human posterior auditory cortex gates novel sounds to consciousness.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 17, 6809–6814.

Jacobsen, T. & Schröger, E. (2001). Is there preattentive memory based comparison of pitch? *Psychophysiology*, 38, 723–727.

Javitt, D. C., Steinschneider, M., Schroeder, C. E., Jr. Vaughan, H. G. & Arezzo, J. C. (1994). Detection of stimulus deviance within primate primary auditory cortex: intracortical mechanisms of mismatch negativity (MMN) generation. *Brain Research*, 667, 192–200.

Javitt, D.C., Schroeder, C.E., Steinschneider, M., Arezzo, J.C., Jr. Vaughan, H. G. (1992). Demonstration of mismatch negativity in the monkey. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 83, 87–90.

Javitt, D.C., (2000). Intracortical mechanisms of mismatch negativity dysfunction in schizophrenia. *Audiology and Neurotology*, 5, 207–215.

Jeffreys, D.A. & Axford, J.G. (1972). Source locations of pattern-specific components of human evoked potentials. I–II. *Experimental Brain Research*, 16, 1–40.

Kahneman, D. (1968). Method, finding, and theory in studies of visual masking. *Psychological Bulletin*, 70, 404–425.

Kahneman, D., Treisman, A. & Gibbs, B. (1992). The reviewing of object files: Object-specific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24, 175–219.

Kaliukhovich, D. A. & Vogels, R. (2014). Neurons in Macaque Inferior Temporal Cortex Show No Surprise Response to Deviants in Visual Oddball Sequences. *Journal of Neuroscience*, 34(38), 12801–12815.

Kane, N.M., Curry, S.H., Butler, S.R. & Gummins, B.H. (1993). Electrophysiological indicator of awakening from coma. *Lancet*, 341, 688.

Kanwisher, N. (2000). Domain specificity in face perception. *Nature Neuroscience*, 3(8), 759–763.

- Kanwisher, N., McDermott, J. & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 17(11), 4302–4311.
- Kenemans, J.L., Jong, T.G. & Verbaten, M.N. (2003). Detection of visual change: mismatch or rareness? *NeuroReport* 14, 1239–1242.
- Kenemans, J.L., Hebly, W. & van den Heuvel, E.H.M. (2010) Moderate alcohol disrupts a mechanism for detection of rare events in human visual cortex. *Journal of Psychopharmacology*, 24, 839–845.
- Kimura, M., Katayama, J., Ohira, H. & Schröger, E. (2009). Visual mismatch negativity: New evidence from the equiprobable paradigm. *Psychophysiology*, 46, 402–409.
- Kimura, M., Ohira, H. & Schröger, E. (2010). Localizing sensory and cognitive systems for pre-attentive visual deviance detection: An sLORETA analysis of the data of Kimura et al. (2009). *Neuroscience Letters*, 485(3), 198–203.
- Kimura, M. (2012a). Visual mismatch negativity and unintentional temporal-context-based prediction in vision. *International Journal of Psychophysiology*, 83(2), 144–155.
- Kimura, M., Kondo, H., Ohira, H. & Schröger, E. (2012b). Unintentional temporal context-based prediction of emotional faces: An electrophysiological study. *Cerebral Cortex*, 22, 1774–1785.
- Kimura, M. & Takeda, Y. (2013). Task difficulty affects the predictive process indexed by visual mismatch negativity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 267.
- Kovács, Gy. (2008). Az arcpercepció és arcadaptáció elektrofiziológiája. *Magyar Pszichológiai Szemle*, 63(1), 9-17.
- Köhler, S. & Moscovitch, M (1997). Unconscious visual processing in neuropsychological syndromes: a survey of the literature and evaluation of models of consciousness. In: Rugg, M.D. (szerk.), *Cognitive Neuroscience (305-363)*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts (United States).

- Kraus, N. & Cheour, M. (2000). Speech-sound representation in the brain: studies using mismatch negativity. *Audiology and Neurotology*, 5, 140–150.
- Kremláček, J., Kuba, M., Kubová, Z. & Langrová, J. (2006). Visual mismatch negativity elicited by magnocellular system activation. *Vision Research*, 46, 485–490.
- Kropotov, J. D., Näätänen, R., Sevostianov, A. V., Alho, K., Reinikainen, K. & Kropotova, O. V. (1995). Mismatch negativity to auditory stimulus change recorded directly from the human temporal cortex. *Psychophysiology*, 32, 418–422.
- Kujala, T., Karma, K. & Ceponiene, R. (2001). Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 10509–10514.
- Kujala, T., Tervaniemi, M. & Schröger, E. (2007). The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: Theoretical and methodological considerations. *Biological Psychology*, 74, 1–19.
- Lamme, V.A.F. (2003). Why visual attention and awareness are different. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(1), 12–18.
- Leppänen, P.H. & Lyytinen, H. (1997). Auditory event-related potentials in the study of developmental language-related disorders. *Audiology and Neurotology*, 2, 308–340.
- Leopold, D. A., O’Toole, A. J., Vetter, T. & Blanz, V. (2001). Prototype-referenced shape encoding revealed by high-level aftereffects. *Nature Neuroscience*, 4, 89–94.
- Lieder, F., Stephan, K. E., Daunizeau, J., Garrido, M. I. & Friston, K. J. (2013). A neurocomputational model of the mismatch negativity. *Plos Computational Biology*, 9, 11.
- Liu, Y., Murray, S.O. & Jagadeesh, B. (2009). Time course and stimulus dependence of repetition-induced response suppression in inferotemporal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 101, 418–436.

- Luck, S. J. (2005). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique. Monographs of the Society for Research in Child Development*, 78, 388. MIT Press, Cambridge, Massachusetts (United States).
- Machilsen, B., Pauwels, M. & Wagemans, J. (2009). The role of vertical mirror symmetry in visual shape detection. *Journal of Vision*, 9 (11),1–11.
- May, P.J. & Tiitinen, H. (2010). Mismatch negativity (MMN), the deviance-elicited auditory deflection, explained. *Psychophysiology*, 47, 66-122.
- McCarthy, G, Puce, A., Belger, A. & Allison, T. (1999). Electrophysiological Studies of Human Face Perception. II: Response Properties of Face-specific Potentials Generated in Occipitotemporal Cortex. *Cerebral Cortex*, 9 (5), 431-444.
- McConkie, G.W. & Zola, D. (1979). Is visual information integrated across successive fixations in reading? *Perception and Psychophysics*, 25(3), 221-224.
- Miller, E.K., Gochin, P.M. & Gross, C.G. (1991). Habituation-like decrease in the responses of neurons in inferior temporal cortex of the macaque. *Visual Neuroscience*, 7, 357–362.
- Mo, L., Xu, G., Kay, P. & Tan, L.H. (2011). Electrophysiological evidence for the left-lateralized effect of language on preattentive categorical perception of color. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 14026–14030.
- Molholm, S., Martinez, A., Ritter, W., Javitt, D. C. & Foxe, J. J. (2005). The neural circuitry of pre-attentive auditory change-detection: An fMRI study of pitch and duration mismatch negativity generators. *Cerebral Cortex*, 15(5), 545–551.
- Müller, D., Roeber, U., Winkler, I., Trujillo-Barreto, N., Czigler, I. & Schröger, E. (2012). Impact of lower-vs. upper- hemifield presentation on automatic colour-deviance detection: A visual mismatch negativity study. *Brain Research*, 1472, 89–98.
- Näätänen, R., Gaillard, A.W.K. & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313–329.

- Näätänen, R. & Picton, T. (1987). The N1 Wave of the Human Electric and Magnetic Response to Sound: A Review and an Analysis of the Component Structure. *Psychophysiology*, 24, 375–425.
- 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. (1992). *Attention and brain function*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, New Jersey.
- Näätänen, R., & Winkler, I. (1999). The concept of auditory stimulus representation in cognitive neuroscience. *Psychological Bulletin*, 125(6), 826–859.
- Näätänen, R., Tervaniemi, M., Sussman, E., Paavilainen, P. & Winkler, I. (2001). “Primitive intelligence” in the auditory cortex. *Trends in Neurosciences*, 24(5), 283–288.
- Näätänen, R. (2003). Mismatch negativity: Clinical research and possible applications. *International Journal of Psychophysiology*, 48(03), 179–188.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T. & Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2544–2590.
- Norcia, A.M., Candy, T.R., Pettet, M.W., Vildavski, V.Y. & Tyler, C.W. (2002). Temporal dynamics of the human response to symmetry. *Journal of Vision*, 2, 132–139.
- Novak, G., Ritter, W. & Jr. Vaughan, H.G. (1992). Mismatch detection and the latency of temporal judgements. *Psychophysiology*, 29, 398–411.
- Opitz, B., Rinne, T., Mecklinger, A., Cramon, D.Y. Schröger, E. (2002). Differential contribution of frontal and temporal cortices to auditory change detection: fMRI and ERP results. *NeuroImage* 15, 167–174.
- O’Regan, J. K., Rensink, R. A. & Clark, J. J. (1999). Change-blindness as a result of “mudsplashes”. *Nature*, 398(6722), 34.

- Paavilainen, P. (2013). The mismatch-negativity (MMN) component of the auditory even-related potential to violations of abstract regularities: A review. *International Journal of Psychophysiology*, 88, 109-123.
- Pascual-Marqui, R. D., Michel, C. M. & Lehmann, D. (1994). Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *International Journal of Psychophysiology*, 18, 49–65.
- Pascual-Marqui, R.D., Esslen,M., Kochi, K. & Lehmann, D. (2002). Functional imaging with low resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): a review. *Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology*, 24, 91-95.
- Pause, B. M. & Kreule, K. (2000). Chemosensory event-related potentials (CSERP) as a key to the psychology of odors. *International Journal of Psychology*, 36 (2). 105-122.
- Pazo-Alvarez, P., Cadaveira, F. & Amenedo, E. (2003). MMN in the visual modality: A review. *Biological Psychology*, 63, 199–236.
- Pazo-Alvarez, P., Amenedo, E., Lorenzo-López, L. & Cadaveira, F. (2004a). Effects of stimulus location on automatic detection of changes in motion direction in the human brain.
- Pazo-Alvarez, P., Amenedo, E. & Cadaveira, F. (2004b). Automatic detection of motion direction changes in the human brain. *European Journal of Neuroscience*, 19, 1978–1986.
- Pedzek, K., Maki, R.H., Valensia-Laver, D., Whetstone, T., Stoeckert, J. & Dougherty, T. (1988). Picture memory: Recognizing added and deleted details. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 14, 468 - 476.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2128-2148.
- Poppel, E., Held, R. & Frost, D. (1973). Residual visual function after brain wounds involving the central visual pathways in man. *Nature*, 243, 295- 296.

- Posner, M.I. & Keele, S.W. (1968). On the genesis of abstract ideas. *Journal of Experimental Psychology*, 77(3), 353-363.
- Pothos, E.M. & Wills, A.J (szerk.)(2011). Formal approaches in categorization. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom.
- Pribram, K.H. (1991). *Brain and Perception*, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, New Jersey.
- Proverbio, A. & Zani, A. (2002). Electromagnetic manifestation of mind and brain. In: Zani, A. & Proverbio, A. (szerk.), *The cognitive electropsychology of mind and brain*, (13-40), Academic Press, New York.
- Puce, A., Allison, T. & McCarthy, G. (1999). Electrophysiological Studies of Human Face Perception. III: Effects of Top-down Processing on Face-specific Potentials. *Cerebral Cortex*, 9 (5), 445-458.
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K. & Clark, J. J. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8 (5).
- Restuccia, D., Marca, G. D., Valeriani, M., Leggio, M. G. & Molinari, M. (2007).Cerebellar damage impairs detection of somatosensory input changes. A somatosensory mismatch-negativity study. *Brain*, 130, 276–287.
- Rinne, T., Alho, K., Ilmoniemi, R. J., Virtanen, J. & Näätänen, R. (2000). Separate time behaviors of the temporal and frontal mismatch negativity source. *NeuroImage*, 12, 14–19.
- Ritter, W., Sussman, E., Molholm, S. & Foxe, J. J. (2002). Memory reactivation or reinstatement and the mismatch negativity. *Psychophysiology*, 39, 158–165.
- Rosch, E. (1999). Principles of categorization. In: Margolis, E. & Laurence, S. (szerk.). *Concepts: core reading* (189-205). MIT Press, Cambridge, Massachusetts (United States).
- Rossion, B. Gauthier, I., Tarr, M.J., Despland, P., Bruyer, R., Linotte1, S. & Crommelinck, M. (2000). The N170 occipito-temporal component is delayed and enhanced to

- inverted faces but not to inverted objects: an electrophysiological account of face-specific processes in the human brain. *Neuroreport*, 11 (1), 69- 74.
- Rousselet, G. A., Macé, M.J-M. & Fabre-Thorpe, M. (2004). Animal and human faces in natural scenes: How specific to human faces is the N170 ERP component? *Journal of Vision*, 4, 13-21.
- Royden, C. S., Wolfe, J. & Klempen, N. (2001). Visual search asymmetries in motion and optic flow fields. *Perception and Psychophysics*, 63, 436-444.
- Ruhnau, P., Herrmann, B. & Schröger, E. (2012). Finding the right control: the mismatch negativity under investigation. *Clinical Neurophysiology*, 123, 507–512.
- Ruusuvirta, T., Penttonen, M. & Korhonen, T. (1998). Auditory cortical event-related potentials to pitch deviances in rats. *Neuroscience Letters*, 248(1), 45–48.
- Salti, M., Bar-Haim, Y. & Lamy, D. (2012). The P3 component of the ERP reflects conscious perception, not confidence. *Consciousness and Cognition*, 21(2), 961-968.
- Sams, M., Alho, K. & Näätänen, R. (1984). Short-term habituation and dishabituation of the mismatch negativity of the ERP. *Psychophysiology*, 21, 434-441.
- Sawamura, H., Orban, G.A. & Vogels, R. (2006). Selectivity of neuronal adaptation does not match response selectivity: a single-cell study of the fMRI adaptation. *Neuron*, 49,307–318.
- Schweinberger, S. R., Pickering, E. C., Jentsch, I., Burton, A. M. & Kaufmann, J. M. (2002). Event-related brain potential evidence for a response of inferior temporal cortex to familiar face repetitions. *Cognitive Brain Research*, 14, 398–409.
- Shapiro, K. L., Raymond, J. E. & Arnell, K. M. (1997). The attentional blink. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(8), 291–296.
- Sigala, N. & Logothetis, N.K. (2002). Visual categorization shapes feature selectivity in the primate temporal cortex. *Nature*, 415, 318-320.

- Simons, D. J. & Levin, D. T. (1997). Change blindness. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 261–267.
- Simons, D.J., Chabris, C.F., Schnur, T. & Levin, D.T. (2002). Evidence for preserved representations in change blindness. *Consciousness and Cognition*, 11, 78-97.
- Simons, D.J. & Rensink, R.A. (2005). Change blindness: past, present, and future. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(1), 16-20.
- Singer, W. & Gray, C. M. (1995). Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 555-586.
- Stagg, C., Hindley, P., Tales, A. & Butler, S. (2004). Visual mismatch negativity: the detection of stimulus change. *NeuroReport*, 15, 659-663.
- Standing, L., Conezio, J. & Haber, R.N. (1970). Perception and memory for pictures: Single-trial learning of 2500 visual stimuli. *Psychonomic Science*, 19(2), 73–74.
- Starr, A., Sohmer, H. & Celesia, G.G. (1978). Some application of evoked potentials to patients with neurological and sensory impairment. In: Callaway, E., Tueting, P. & Koslow, S.H. (szerk.), *Event-related brain potentials in man*, (155-197), Academic Press, New York.
- Stefanics, G., Kimura, M. & Czigler, I. (2011). Visual mismatch negativity reveals automatic detection of sequential regularity violation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 46.
- Stefanics, G., Csukly, G., Komlósi, S., Czobor, P. & Czigler, I. (2012). Processing of unattended facial emotions: a visual mismatch negativity study. *NeuroImage* 59 (3), 3042–3049.
- 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.

- Stothart, G., Kazanina, N., Tales, A. & Näätänen, R. (2014). Early visual evoked potentials and mismatch negativity in Alzheimer's disease and Mild Cognitive Impairment: Cross-sectional findings and longitudinal follow-up. *International Journal of Psychophysiology*, 94(2), 156.
- Sulykos, I. & Czigler, I. (2011). One plus one is less than two: visual features elicit non-additive mismatch-related brain activity. *Brain Research*, 1398, 64-71.
- Susac, A., Ilmoniemi, R. J., Pihko, E. & Supek, S. (2004). Neurodynamic studies on emotional and inverted faces in an oddball paradigm. *Brain Topography*, 16(4), 265–268.
- Sussman, E., Winkler, I. & Wang, W. (2003). MMN and attention: Competition for deviance detection. *Psychophysiology*, 40, 430–435.
- Tales, A., Newton, P., Troscianko, T. & Butler, S.R. (1999). Mismatch negativity in the visual modality. *NeuroReport* 10, 3363-3367.
- Tanaka, K. (1996). Inferotemporal cortex and object vision. *Annual Review of Neuroscience*, 19, 109–139.
- Tarr, M. J. & Gauthier, I. (2000). FFA: a flexible fusiform area for subordinate-level visual processing automatized by expertise. *Nature Neuroscience*, 3(8), 764-769.
- Theeuwes, J. & Kooi, J. L. (1994). Parallel search for a conjunction of shape and contrast polarity. *Vision Research*, 34, 3013-3016.
- Tiitinen, H., May, P., Reinikainen, K. & Näätänen, R. (1994). Attentive novelty detection in humans is governed by pre-attentive sensory memory. *Nature*, 372(6501), 90-92.
- Todd, J., Harms, L., Schall, U., & Michie, P. T. (2013). Mismatch Negativity: Translating the Potential. *Frontiers in Psychiatry*, 4, 171.
- Treder, M. S. (2010). Behind the looking-glass: A review on human symmetry perception. *Symmetry*, 2, 1510–1543.

- Treisman, A. (1982). Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 8(2), 194–214.
- Treisman, A. & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15-48.
- Tsal, Y. & Lavie, N. (1988). Attending to color and shape: The special role of location in selective visual processing. *Perception and Psychophysics*, 44 (1), 15-21.
- Tsao, D. Y., & Livingstone, M. S. (2008). Mechanisms of face perception. *Annual Review of Neuroscience*, 31, 411–437.
- Ungerleider, L. G. & Haxby, J. V. (1994). “What” and “where” in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 4, 157–165.
- Urakawa, T., Inui, K., Yamashiro, K., Tanaka, E. & Kakigi, R. (2010). Cortical dynamics of visual change detection based on sensory memory. *NeuroImage*, 52(1), 302–308.
- Vogel, E. K., Luck, S. J. & Shapiro, K. L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 24, 1656–1674.
- Vogel, E. K. & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, 37, 190-203.
- Wagemans, J. (1995). Detection of visual symmetries. *Spatial Vision*, 9(1), 9-32.
- Wascher, E., Hoffmann, S., Sanger, J. & Grosjean, M. (2009) Visuo-spatial processing and the N1 component of the ERP. *Psychophysiology*, 46(6), 1270-1277.
- Wilson, H.R. & Wilkinson, F. (1998). Detection of global structure in Glass patterns: implications for form vision. *Vision Research*, 38(19), 2933-2947.
- Winkler, I., Reinikainen, K. & Naatanen, R. (1993) Event-related brain potentials reflect traces of echoic memory in humans. *Perception and Psychophysics*, 53, 443-449.

- Winkler, I., Czigler, I., Sussman, E., Horváth, J. & Balázs, L. (2005). Preattentive binding of auditory and visual stimulus features. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 320–339.
- Winkler, I. (2007). Interpreting the mismatch negativity. *Journal of Psychophysiology*, 21(3-4), 147-163.
- Winkler, I. & Czigler, I. (2012). Evidence from auditory and visual event-related potential (ERP) studies of deviance detection (MMN and vMMN) linking predictive coding theories and perceptual object representations. *International Journal of Psychophysiology*, 83(2), 132–143.
- Wolfe, J.M. (1998). What do 1,000,000 trials tell us about visual search? *Psychological Science*, 9, 33-39.
- Wolfe, J. M. (2001). Asymmetries in visual search: an introduction. *Perception & Psychophysics*, 63(3), 381–389.
- Woodman, G.F. (2010). A brief introduction to the use of event-related potentials in studies of perception and attention. *Attention, Perception and Psychophysics*, 72(8), 2031-2046.
- Woods, D.L., Alho, K. & Algazi, A. (1992). Intermodal selective attention. I. Effects on event-related potentials to lateralized auditory and visual stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 82, 341-355.
- Woods, D. L., Alho, K. & Algazi, A. (1992). Intermodal selective attention. I. Effects on event-related potentials to lateralized auditory and visual stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 82, 341–355.
- Yucel, G., McCarthy, G. & Belger, A. (2007). fMRI reveals that involuntary visual deviance processing is resource limited. *NeuroImage*, 34, 1245–1252.
- Zimmer, M. (2013). *Arcéshzlelés*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

- Zhong, W., Li, Y., Li, P., Xu, G. & Mo, L. (2015). Short- term trained lexical categories produce preattentive categorical perception of color: Evidence from ERPs. *Psychophysiology*, 52, 98-106.
- Zhao, L. & Li, J. (2006). Visual mismatch negativity elicited by facial expressions under non-attentional condition. *Neuroscience Letters*, 410, 126–131.

Ábrajegyzék

1. **Ábra:** *Forrás: Woodman, G.F. (2010). A brief introduction to the use of event-related potentials in studies of perception and attention. Attention, Perception and Psychophysics, 72(8) 2031-2046. 9*

2. **Ábra:** *Forrás: Ibáñez, A., Gleichgerrcht, E., Hurtado, E., González, R., Haye, A. & Manes, F.F. (2010). Early neural markers of implicit attitudes: N170 modulated by intergroup and evaluative context in IAT. Frontiers in Human Neuroscience, 4: 188..... 11*

3. **Ábra:** *Forrás: Garrido, M.I., Kilner, J.M., Stephan, K.E. & Friston, K.J. (2009). The mismatch negativity: A review of underlying mechanisms. Clinical Neuropsychology, 120, 453-463 17*
4. **Ábra:** *Forrás: Rensik, R.A., O'Regan, J.K. & Clark, J.J. (1997). To see or not see: The need for attention to perceive changes in scenes. Psychological Science, 8 (5). 22*

5. **Ábra:** *Forrás: Czigler, I. & Pató, L. (2009). Unnoticed regularity violation elicits change-related brain activity. Biological Psychology, 80, 339-347..... 24*

6. **Ábra:** *Forrás: Dux, P.E. & Marois, R. (2009). The attention blink: A review of data and theory. Attention, Perception and Psychophysics, 71 (8), 1683-1700. 26*

7. **Ábra:** *Egyéni illusztráció, felhasznált irodalom: Treisman, A (1982). Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 8 (2) 194-214. 30*

8. **Ábra:** *Forrás: Wolf, J.M. (2001). Asymmetries in visual search: An introduction. Perception and Psychophysics, 63 (3), 381-389. 31*

- 9. Ábra:** Egyéni illusztráció, felhasznált irodalom: Sulykos, I & Czigler, I. (2011). *One plus one is less than two: Visual features elicit non-additive mismatch-related brain activity.* Brain Research, 1398, 64-71. 37
- 10. Ábra:** Egyéni illusztráció, felhasznált irodalom: Stefanics, G., Kremlacek, J. & Czigler, I. (2014). *Visual mismatch negativity : a predictive coding view.* Frontiers in Human Neuroscience, 8, 666. 38
- 11. Ábra:** Egyéni illusztráció, felhasznált irodalom: Bruce, V. & Young, A. (1986) *Understanding face recognition.* British Journal of Psychology, 77, 305-327. 55

Táblázatok jegyzéke

<i>1. táblázat: Az eltérési negativitás komponens főbb jellemzőinek, háttér folyamatainak összefoglalása.</i>	<i>18</i>
<i>2. táblázat: Vizuális eltérési negativitás kutatásával foglalkozó tanulmányok.....</i>	<i>35</i>

Mellékletek

Publikációs lista

2015

1. Sulykos I, Kecskés-Kovács K, Czigler I
Asymmetric effect of automatic deviant detection: The effect of familiarity in visual mismatch negativity.
BRAIN RESEARCH (2015)
DOI:10.1016/j.brainres.2015.02.035.

2014

2. Czigler I, Sulykos I, Kecskés-Kovács K
Refractory issue and visual mismatch negativity: A skeleton in the cupboard
INTERNATIONAL JOURNAL OF PSYCHOPHYSIOLOGY 94:(2) p. 155. (2014)
PROCEEDINGS OF THE 17th World Congress of Psychophysiology (IOP2014) of the International Organization of Psychophysiology (IOP). Hiroshima, Japan: 2014.09.23 -2014.09.27. DOI:10.1016/j.ijpsycho.2014.08.689
3. 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
COGNITIVE AFFECTIVE AND BEHAVIORAL NEUROSCIENCE 14:(1) pp. 278-285. (2014). DOI: 10.3758/s13415-013-0193-3
4. Kecskés-Kovács K, Czigler I
Arcok nemi kategorizációs folyamatainak elektrofiziológiai korrelátumai
PSZICHOLÓGIA (MTA PSZICHOLÓGIAI INTÉZET) 34:(3) p. 207–224. (2014). DOI: 10.1556/Pszicho.34.2014.3.1 ; DOI: 10.1556/Pszicho.34.2014.4.9
5. Török Á, Sulykos I, Kecskés-Kovács K, Persa Gy, 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
In: [S n] (szerk.)
5th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications - CogInfoCom 2014 . Konferencia helye, ideje: Vietri sul Mare , Olaszország , 2014.11.05 -2014.11.07. New York: IEEE, 2014. pp. 599-603.
(ISBN:978-1-4799-7280-7) DOI: 10.1109/CogInfoCom.2014.7020414

2013

6. Kecskés-Kovács K, Sulykos I , Czigler I
Visual mismatch negativity is sensitive to symmetry as a perceptual category
EUROPEAN JOURNAL OF NEUROSCIENCE 37:(4) pp. 662-667. (2013)
Független idéző: 8 Függő idéző: 5 Összesen: 13; DOI: 10.1111/ejn.12061

7. 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.
FRONTIERS IN HUMAN NEUROSCIENCE 7: Paper 532. 11 p. (2013)
Független idéző: 2 Függő idéző: 2 Összesen: 4; DOI: 10.3389/fnhum.2013.00532

8. Sulykos I , Kecskés-Kovács K, Czigler I
Mismatch Negativity Does Not Show Evidence of Memory Reactivation in the Visual Modality
JOURNAL OF PSYCHOPHYSIOLOGY 27:(1) pp. 1-6. (2013)
Független idéző: 3 Függő idéző: 2 Összesen: 5; DOI: 10.1027/0269-8803/a000085

9. Kecskés-Kovács K , Sulykos I , Czigler I
The female is a real oddball between males: a vmn study to automatic gender face category changing.
PSYCHOPHYSIOLOGY 50: (1) pp. S23-S136 (2013) SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH 53rd Annual Meeting Firenze Fiera Congress & Exhibition Center Florence, Italy October 2–6, 2013;
DOI:10.1111/psyp.12120

Videó illusztráció:

Változási vakság illusztrációja: <https://www.youtube.com/watch?v=4-HxtKgKrL8>

Az értekezés magyar nyelvű összefoglalója

A vizuális eltérési negativitás (vEN) agyi eseményhez kötött potenciál (EKP) komponens a környezeti ingerlésben bekövetkező valamilyen változás következtében jelenik meg. Az értekezés központi témája e komponens és a háttérben működő mechanizmusok vizsgálata. Az értekezésben ismertetett tanulmányok alátámasztják, hogy tudatosulás nélkül is lehetséges jelentősebb kognitív vizuális folyamatok végbemenetele. Továbbá a viselkedés szervezés szempontjából irreleváns információk is feldolgozásra kerülnek, melyért egy rövid távú memória rendszer a felelős, mely képes összehasonlítani a vizuális események reprezentációit. Az értekezés tézis tanulmányai bemutatják, hogy a vEN komponens illetve, a mögötte álló szenzoros rendszer kapacitása túlmutat az egyszerű ingersajátságok (szín, téri frekvencia, mozgás) változásának detektálásán. Az értekezésben bemutatott tanulmányok fő kérdésfeltevése arra vonatkozott, hogy ezen implicit memória érzékeny lehet e bonyolultabban szerveződő vizuális objektumokra, természetes ingerkategóriákra (pl.: arcokra vagy szimmetrikus mintákra). A látórendszer képes az egymás után megjelenő ingereket automatikusan csoportokba osztani, mely folyamatot perceptuális kategorizációnak nevezzük. E tanulással kialakuló folyamat az észlelés alapvető, adaptív tulajdonsága). Szakirodalmi adatok alapján feltételeztük, hogy a vEN háttérben álló megismerési folyamatok működésébe bevonódnak automatikus kategorizációs folyamatok is. A tézis tanulmányok klasszikus kakukktojás kísérleti elrendezés során mérték a szabályos szekvenciában megjelenő ingerekre, illetve attól eltérő eseményekre adott agyi válaszokat. A kísérletek során nagyszámú ingeranyaggal dolgoztunk, hiszen a fizikailag eltérő vizuális események csoportosításának (kategóriák mentális reprezentációi) idegi korrelátumait vizsgáltuk. A tézis tanulmányok eredményeinek értelmében megállapítható, hogy a vEN rendszere érzékeny komplex, absztrakt környezeti eseményekre: ilyen komplex szerveződési formák a szimmetrikus alakzatok, homogén/heterogén minták és az arcok nemi kategóriái. Ennek értelmében megállapítható, hogy a szabályt alkotó ingerek kialakították az adott észlelési kategória mentális reprezentációját, így az ettől eltérő ingerek kiváltották a vEN-t. Értelmezésünk szerint, a mért EKP komponenseket a bemutatott kategóriális változás automatikus detekciója váltotta ki. A vEN komponensek latenciája (300 msec körüli csúcslatenciák) és eloszlása arra enged következtetni, hogy a vEN mögött álló memória folyamatokhoz, magasabb, kognitív funkcióval rendelkező, perceptuális kategorizációs folyamatok szorosan kapcsolódhatnak.

Kulcsszavak: automatikus változás detekció, eseményhez kötött potenciál, perceptuális kategorizáció, arcok nemi diszkriminációs folyamatai, szimmetria, vizuális keresési asszimetria.

Az értekezés angol nyelvű összefoglalója

The visual mismatch negativity (vMMN) event-related brain potential (ERP) component is elicited by violation of sequential regularity established by environmental stimulation. The aim of the doctoral thesis is to examine the memory system underlying vMMN. The thesis studies suggest that the vMMN is sensitive to changes of perceptual categories without the involvement of the attentional processes. VMMN component is an error signal to discrepancy between earlier perceived, represented stimuli and actual, input stimuli. VMMN has been evoked to deviations in elementary features such as color, orientation and spatial frequency. Additionally it was observed to changes in perceptual categories of more complex stimuli (e.g. laterality of hands, emotions). In the thesis studies, the stimuli were with complex objects and the changes associated to natural categories (e.g.: faces or symmetry). The visual system is capable of the configuration of incoming visual features and represent the categories. The general and basic principle is proposing formation the perceptual categoization. We suggested that the vMMN is sensitive to automatic registration of natural categories even if the visual stimulation is not related to the ongoing behavior. The vMMN is commonly investigated by passive oddball paradigm: a frequently presented type of stimuli (standards) acquires the representation of regularity, and another, infrequently presented type of stimuli (deviants) violates this regularity. Both the standards and deviants are unrelated to task-demand. In the doctoral thesis studies the number of stimuli were high and the consecutive stimuli were never physically identical. As the main results of experiments, both the abstract (symmetry/random; homogeneous/ heterogeneous pattern) and the meaningful (gender faces) complex stimuli elicited a change-related posterior negativity with ca. 300 ms peak latency. We interpreted the long-lasting negativity as a manifestation of the perceptual category effect. The frequent visual stimuli acquired the representation of the category (the extraction of the common feature required the presentation of one category) and the stimuli deviating from the sequential appearance of patterns belonging to such a category were automatically registered. In conclusion, in the thesis studies we found robust vMMN effect, showing that the vMMN is sensitive to perceptual categorization processes because the implicit memory registered the categorical rule and detected the violation of such rule. In sum, the doctoral thesis studies indicate strong connection between automatic change detection system and perceptual categorization processes.

Keywords: automatic change detection, event-related potentials, perceptual categorization, gender face discrimination processes, symmetry, visual search asymmetry effect

Az értekezésben szereplő tanulmányok eredeti formátumban

1. Kecskés-Kovács, K., Sulykos, I. & Czigler, I. (2013). Visual mismatch negativity is sensitive to symmetry as a perceptual category. *European Journal of Neuroscience* 37 (4), 662-667. DOI: 10.1111/ejn.12061.
2. Kecskés-Kovács, K. & Czigler, I. (2014). Arcok nemi kategorizációs folyamatainak elektrofiziológiai korrelátumai. *Pszichológia*, 34 (3), 207-224. DOI: 10.1556/Pszicho.34.2014.3.1. Affiliáció helyreigazítás: *Pszichológia*, 34 (4), 457. DOI: 10.1556/Pszicho.34.2014.4.9.
3. Kecskés-Kovács, K., Sulykos, I. & Czigler, I. (2013). Is it a face of a woman or man? Visual mismatch negativity is sensitive to gender category. *Frontiers in Human Neuroscience* 7, 532. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00532.
4. Czigler I, Sulykos I. & Kecskés-Kovács, K. (2014). Asymmetry of automatic change detection show by the visual mismatch negativity: An additional feature is identified faster than missing features. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience* 14 (1), 278-285. DOI: 10.3758/s13415-013-0193-3.

Visual mismatch negativity is sensitive to symmetry as a perceptual category

Krisztina Kecskés-Kovács,^{1,2} István Sulykos^{1,3} and István Czigler^{1,3}

¹Institute of Cognitive Neuroscience and Psychology, RCNS, Hungarian Academy of Sciences, PO Box 398, 1394 Budapest, Hungary

²Institute of Psychology, Debrecen University, Debrecen, Hungary

³Institute of Psychology, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

Keywords: event-related potentials, perception, visual attention

Abstract

We investigated the sensitivity of visual mismatch negativity (vMMN) to an abstract and non-semantic category, vertical mirror symmetry. Event-related potentials (ERPs) elicited by random and symmetric square patterns, delivered in passive oddball paradigm (participants played a video game), were recorded. In one of the conditions, symmetric patterns were frequent (standard) stimuli and the random patterns were infrequent (deviant) stimuli; in the other condition, the probabilities were reversed. We compared the ERPs elicited by symmetric stimuli as deviants and as standards, and, similarly, the ERPs elicited by the random deviants and random standards. As the difference between the ERPs elicited by random deviant and random standard stimuli, a posterior negativity emerged in two latency ranges (112–120 and 284–292 ms). These negativities were considered to be vMMN components. We suggest that the two vMMN components are organised in cascade error signals. However, there was no significant difference between the ERPs elicited by symmetric deviants and those elicited by symmetric standards. The emergence of vMMN in response to the deviant random stimuli is considered to be a deviation of a perceptual category (in the symmetric standard sequence presented). Accordingly, random stimuli acquired no perceptual category; for this reason, the symmetric deviant (in the random standard sequence presented) elicited no vMMN. The results show that the memory system underlying vMMN is capable of coding perceptual categories such as bilateral symmetry, even if the stimulus patterns are unrelated to the ongoing behavior.

Introduction

At the level of conscious experience, the visual system is surprisingly insensitive to environmental changes if such changes are outside the focus of attention (Simons & Levin, 1997). However, research on the visual mismatch negativity (vMMN) component of event-related potentials (ERPs) shows that non-attended visual changes violating the regularity of stimulation are registered in posterior brain structures. In fact, vMMN occurs even if participants cannot report the stimulus change (Czigler & Pató, 2009) or the change appears during a period of attentional blink (Berti, 2011).

Visual mismatch negativity (an ERP component in the 100–300-ms latency range) is a counterpart of auditory mismatch negativity [for reviews, see Kujala *et al.* (2007) and Näätänen *et al.* (2007)]. vMMN is elicited by various deviant visual features, such as color (Czigler *et al.*, 2002), orientation (Astikainen *et al.*, 2008), movement direction (Pazo-Alvarez *et al.*, 2004), spatial frequency (Helsenfeld, 2003), and contrast (Stagg *et al.*, 2004). Besides being

sensitive to single visual features, the system underlying vMMN is sensitive to more complex visual changes, such as deviant conjunction of visual features (Winkler *et al.*, 2005) and deviant sequential relationships (Stefanics *et al.*, 2011); for reviews, see Czigler (2007) and Kimura *et al.* (2011). Some ERP studies have shown that vMMN is sensitive to stimulus categorisation in the case of facial expressions (Astikainen & Hietanen, 2009; Stefanics *et al.*, 2012). Categorical sensitivity in the color domain has also been demonstrated.

Clifford *et al.* (2010) and Mo *et al.* (2011) reported that larger vMMNs were elicited if deviants and standards belonged to different color categories than if deviants and standards belonged to the same color category, irrespective of whether the distances in color space were identical.

The present study aimed to investigate whether the implicit system underlying vMMN was capable of registering vertical mirror symmetry as a perceptual category. Several behavioral studies have shown that the visual system is particularly sensitive to various forms of symmetry (for a review, see Treder (2010)). According to Carmody *et al.* (1977) and Tyler *et al.* (1995), stimulus duration in the 40–80-ms range is long enough for the recognition of symmetric patterns. Other behavioral studies have shown that symmetry can be

Correspondence: Krisztina Kecskés-Kovács, ¹Institute of Cognitive Neuroscience and Psychology, as above.

E-mail: kecskes.kovacs.krisztina@ttk.mta.hu

Received 18 June 2012, revised 17 October 2012, accepted 19 October 2012

detected automatically (Baylis & Driver, 1994; Wagemans, 1995; Huang *et al.*, 2004; Machilsen *et al.*, 2009).

Vertical mirror symmetry is a salient feature of living objects, and has obvious biological significance (Tyler & Hardage, 1996). However, so far, no ERP study has analysed the level of processing that is sensitive to symmetry and the automaticity of sensitivity to symmetry.

Few studies have investigated the processing of symmetric stimuli on the basis of event-related brain activity. Jacobsen & Höfel (2003) and Höfel & Jacobsen (2007) reported a posterior negative wave elicited by symmetric patterns. In these studies, symmetry as such was task-irrelevant; participants made aesthetic judgements, performed a detection task, or contemplated the beauty of the stimuli. The negativity emerged in the 380–890-ms poststimulus latency range, so this effect may not be a correlate of elementary perceptual processes. However, in a sequence of alternatively presented random and symmetric dot-patterns, the symmetric patterns elicited a sustained posterior negativity with ~220-ms onset, whereas random patterns elicited positivity with earlier onset (~130 ms) (Norcia *et al.*, 2002). Such activities were considered to be correlates of the appearance of global forms, i.e. an activity more general than a specific symmetry effect.

In the present study, we tested whether the system underlying vMMN is sensitive to symmetry as a perceptual category. If this is so, the regular presentation of stimuli belonging to the same perceptual category (symmetry) will establish a mental representation containing the sequential rule of the stimulation. Irregular stimuli (which do not belong to this category) will violate the prediction that derives from mental representation, and therefore elicit the vMMN component. For this reason, we infrequently embedded symmetric patterned stimuli (deviants) in a series of random patterned stimuli (standards), whereas, in another condition, random deviants appeared in the context of symmetric standards. Thus, we could compare the ERPs elicited by categorically identical standard and deviant stimuli. We expect an ERP difference between the deviant and standard random pattern; we hypothesise that the ERP difference is a vMMN, i.e. a posterior negativity within the 100–300-ms latency range. However, 'randomness' cannot be considered as a categorical rule, so a deviant symmetric pattern does not violate a perceptual regularity. We suggest that no significant difference is expected in the case of symmetric deviants.

The vMMN-related stimuli – high-contrast black-and-gray squares – were presented on the lower half of the visual field, as the lower half-field stimulation usually elicits more pronounced ERP components (Jeffreys & Axford, 1972) and vMMN (Sulykos & Czigler, 2011). The task-related stimuli were delivered on the opposite half of the visual field. The visual task required continuous fixation on the center of the task-field.

Materials and methods

Participants

Participants were 12 paid students (four women; mean age, 21.8 years; standard deviation, 1.7 years) with normal or corrected-to-normal vision. Written consent was obtained from all participants prior to the experimental procedure. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and approved by the United Committee of Ethics of the Psychology Institute in Hungary.

Stimuli

The stimuli were either bilaterally symmetric or random black-and-gray square patterns. Patterns with vertical symmetry were used,

because this type of symmetry is more prominent than horizontal symmetry (Barlow & Reeves, 1979; Wagemans *et al.*, 1991). The size of a square item was 1° from the 1.2-m viewing distance. The pattern consisted of two matrices of 16 items (four columns and four rows); therefore, the size of the pattern was $4^\circ \times 4^\circ$ in each half-field. The two halves of the pattern were separated by a vertical line of 0.3° , and the task-field and the patterns were separated by a horizontal line of 0.4° . Each matrix consisted of nine gray squares and seven black squares. Figure 1 shows a sample stimulus (A) and the experimental stimulus sequences (B).

The luminance of the gray squares was 20.1 cd/m^2 , and the (Weber) contrast was 3.54. The stimuli appeared on a 17-inch monitor (Samsung SyncMaster 740B; 60-Hz refresh rate) in a dimly lit and soundproof room. The stimulus duration was 167 ms, and the interstimulus interval was 417 ms. Before the repetition of a particular pattern, at least four physically different patterns were presented. Symmetric and random stimuli were delivered in oddball sequences. In one of the conditions, symmetric patterns were the frequent (standard) stimuli ($P = 0.84$) and random patterns were the deviant stimuli ($P = 0.16$). In the other condition, these probabilities were reversed; that is, the random patterns were standards, and the rare symmetric patterns were deviants. A sequence consisted of 400 stimuli. There were two sequences for both conditions. The sequences were delivered in alternate order (ABAB or BABA). The sequence orders were counterbalanced across participants.

Task

The stimuli for the task appeared on the upper half of the visual field (Fig. 1). To facilitate the participants' interest, the primary task was designed as a simple video game. The participants used a gamepad controller to maneuver a spaceship in a canyon. The canyon – a rectangular cross-section tube – lay in the surface of a schematic planet. In the canyon, there were three types of spaceship marked by different colors (blue, red, and green). The color of the controlled spaceship was blue. That was directed with the gamepad along the horizontal dimension of the canyon. In every second, one spaceship appeared at the start of the canyon and moved towards the blue spaceship. The color of the spaceship was red with 0.6 probability and green with 0.4 probability. The aim of the task was to avoid the red spaceships and to catch the green ones with the controlled spaceship. To perform the task properly, participants had to fixate in the location where the spaceships appeared. For more details, see Sulykos & Czigler (2011).

Measuring brain electrical activity

Electroencephalographic activity was recorded (DC, 70 Hz; sampling rate, 500 Hz; Synamps2 amplifier, NeuroScan recording system) with Ag/AgCl electrodes placed at 61 locations according to the extended 10–20 system by use of an elastic electrode cap (Easy-Cap). The reference electrode was on the nose tip, and offline re-referenced to the average activity. Horizontal electrooculographic activity was recorded with a bipolar configuration between electrodes positioned lateral to the outer canthi of the eyes. Vertical eye movement was monitored with a bipolar montage between electrodes placed above and below the right eye.

The electroencephalographic signal was bandpass-filtered offline, with cutoff frequencies of 0.1 and 30 Hz (24-dB slope). Epochs of duration 600 ms, including a 100-ms prestimulus interval, were extracted for each event, and averaged separately for the standard and deviant stimuli. The mean voltage during the 100-ms prestimu-

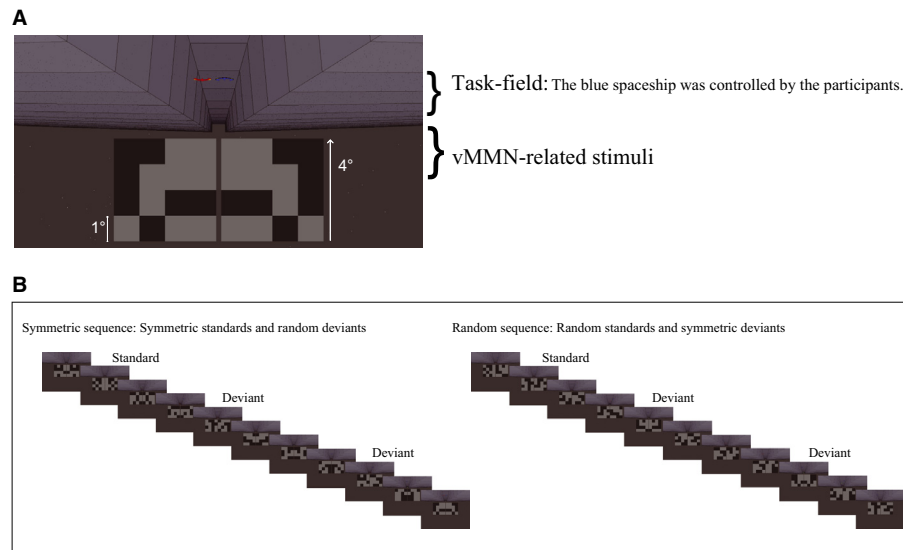


FIG. 1. Stimuli and illustration of the sequence applied. (A) A schematic illustration of the presented pattern and the task. (B) The two different probability conditions used in the experiment.

lus interval was used as the baseline for amplitude measurements, and epochs with an amplitude change exceeding $\pm 50 \mu\text{V}$ on any channel were excluded from further analysis.

Event-related potentials were averaged separately for the standard and deviant stimuli (symmetric and random) in the two conditions. Responses to the third to the seventh standards after a deviant were included in the standard-related ERPs. To identify change-related activities, ERPs elicited by standard stimuli were subtracted from ERPs elicited by deviant stimuli in the reverse condition.

Note that, in many studies, vMMN was calculated as the difference between the ERPs elicited by deviant and standard of the same stimulus sequence. With this method, the effect of physical differences between the deviant and standard and the effect of memory-related mismatch effects are confounded. Therefore, comparison of ERPs elicited by identical stimuli is highly recommended (Kujala *et al.*, 2007). Furthermore, comparison of physically identical stimuli (presented frequently/infrequently) in different conditions will not be sufficient to get rid of refractoriness effects adding to plain memory-related effects (Kimura *et al.*, 2009). However, this problem does not apply to our study, as we used different types of standard stimuli, making a contribution of refractoriness effects to our vMMN response rather unlikely.

Visual mismatch negativity was identified if, within the 100–300-ms latency range, deviant-minus-standard amplitude difference was different from zero at least at five subsequent points at any occipital location [for reviews of the characteristics of the range and surface distribution of the vMMN, see Czigler (2007) and Kimura (2011)]. In this way, we identified an earlier (112–120 ms) and a later (284–292 ms) range of the difference potentials. At six electrode locations (PO3, POz, PO4, O1, Oz, and O2) as regions of interest, the average amplitude values of these epochs were calculated, and entered into ANOVAs with factors of probability (deviant or standard), anteriority (parieto-occipital or occipital), and laterality (left, midline, or right). We compared, at the same electrode locations, the peak latencies and scalp distributions of the exogenous components and the difference potentials.

Note that, at lower half-field stimulation, the C1 and C3 components are positive and the C2 component is negative. Investigation of the relationship between a negative component and the vMMN is

relevant, because it is important to separate the refractoriness/habituation of an exogenous activity from vMMN. In this context, the similar analysis of the positive components (C1 and C3) is less important, because reduced exogenous positivities elicited by the deviant stimuli cannot be expected (in the case of stimulus-specific refractoriness/habituation, amplitude reduction is expected, i.e. positive deviant-minus-standard difference).

Peak latencies were measured at the maxima of the components. The distributions of the difference potential and the C2 component were compared with vector-scaled amplitude values (McCarthy & Wood, 1985). Where appropriate, Greenhouse–Geisser correction was applied. Effect size was characterised as partial eta-squared (η^2). *Post hoc* analyses were performed with Tukey's HSD test. In the reported effects, the alpha level was at least 0.05.

Results

Behavioral results

Participants avoided the red ship with a frequency of 82% (standard error of the mean, 1.53%), and caught the green ship with a frequency of 83% (standard error of the mean, 1.05%). This difference was not significant. There was no also difference in performance between the random and symmetric standard conditions.

Event-related potentials

Figure 2 shows the ERPs elicited by the symmetric (A) and random (B) stimuli, as both standards and deviants, and also the deviant-minus-standard difference potentials. The stimuli elicited a positive–negative–positive (C1–C2–C3) set of pattern-specific exogenous components (Jeffreys & Axford, 1972). Table 1 shows the latency values of the exogenous components, and Fig. 3 shows the scalp distribution of the C1, C2 and C3 components and the difference surface distributions. Figure 2 shows that the deviant and standard symmetric stimuli elicited similar ERPs. In fact, in the *t*-tests, the difference did not reach the criterion level (deviant-minus-standard amplitude difference is different from zero at at least five subsequent points). However, over the posterior–occipital locations, random

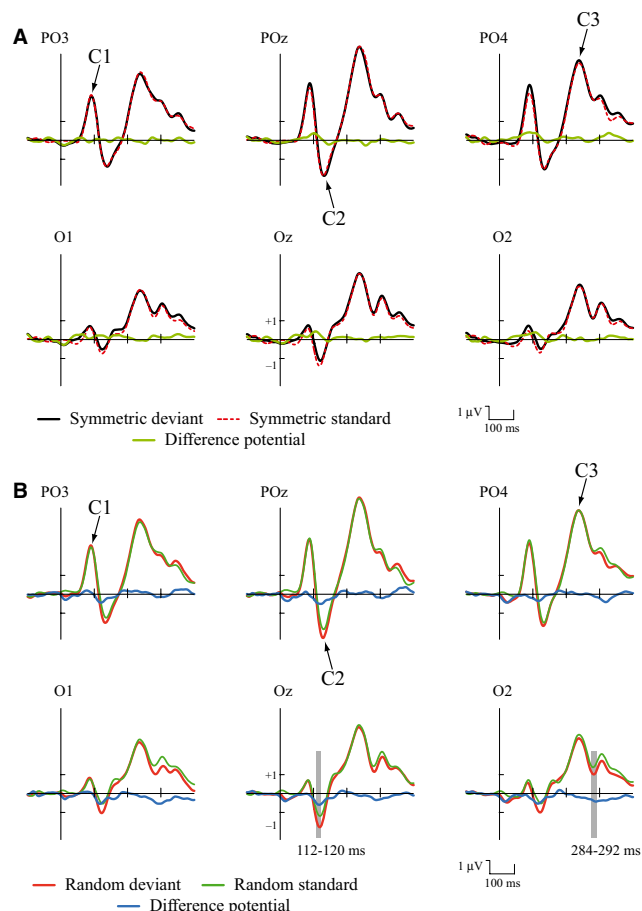


FIG. 2. Comparison of the categorically identical stimuli. Group average ERPs elicited by the standard and deviant stimuli, and difference potentials. (A) Responses to symmetric stimuli. (B) ERP responses to random stimuli. The random deviants elicited negativities in two latency ranges (earlier, 112–120 ms; later, 284–292 ms).

deviant and random standards were different in an earlier (112–120 ms) and in a later (284–292 ms) range. In both ranges, the difference was negative. Table 2 shows the amplitudes of the random deviants and standards in the two ranges.

Event-related potential amplitudes elicited by the deviant and standard random stimuli were compared in both latency ranges by the use of ANOVAs with factors probability (deviant and standard), anteriority (parieto-occipital and occipital) and laterality (left, midline, and right). In the 112–120-ms range, only the probability main effect was significant ($F_{1,11} = 6.31$, $P < 0.05$, $\eta^2 = 0.36$), showing the occipital/parieto-occipital distribution of the early negativity. In a similar analysis of the 284–292-ms range, the main effect of anteriority ($F_{1,11} = 7.13$, $P < 0.05$, $\eta^2 = 0.39$) and the probability $\times$ anteriority interaction ($F_{1,11} = 7.52$, $P < 0.05$, $\eta^2 = 0.41$) were significant. According to the Tukey HSD tests, the deviant-minus-

standard difference was significant only at the occipital locations ($P < 0.01$ in all cases). As the results show, vMMN appeared in two latency ranges. However, it is possible that, instead of the emergence of vMMN, the earlier effect was an amplitude modulation of the C2 component. Nevertheless, as Fig. 2 shows, the latency of the difference potential was shorter at the occipital locations. To investigate the latency difference (116 vs. 130 ms), we compared the C2 and difference potential latencies at the parieto-occipital and occipital locations (POz and Oz). In an ANOVA, the main effect of anteriority was significant ($F_{1,11} = 6.33$, $P < 0.05$, $\eta^2 = 0.36$) and the component (difference vs. standard) $\times$ anteriority interaction was significant ($F_{1,11} = 4.93$, $P < 0.05$, $\eta^2 = 0.30$). However, the main effect of component was only marginally significant ($F_{1,11} = 3.46$, $P < 0.09$, $\eta^2 = 0.24$). To further investigate the relationship between the C2 and the difference potential, we compared the surface distributions. As Fig. 3 indicates, the distribution of the difference potential was wider than the C2 distribution. To investigate the possibility of distribution difference, we added further electrodes to both sides on both rows (P7, P8, PO7, and PO8) to the previous electrode set (PO3, POz, PO4, O1, Oz, and O2), and vector-scaled the data (McCarthy & Wood, 1985). The C2 amplitude was measured as the average of a ± 4 -ms point around the peak of the component (130 ms). In an ANOVA with factors component (C2 and difference potential), anteriority and laterality, only the three-way interaction was significant ($F_{4,44} = 3.82$, $P < 0.05$, $\epsilon = 0.53$, $\eta^2 = 0.26$). According to the Tukey HSD test, C2 was larger at the anterior row, and C2 amplitude was larger at the midline. We found significant differences in the distribution of early vMMN and C2. Additionally, we compared the vector-scaled amplitude values of the two vMMNs in an ANOVA with factors difference potential (early and late) anteriority (parieto-occipital and occipital), and laterality (left, midline, and right). Owing to the lack of significant effects, we could not conclude that the surface distributions were different.

Discussion

Frequent (standard) and infrequent (deviant) symmetric patterns elicited identical ERPs. However, in the context of symmetric patterns, random deviant stimuli elicited two posterior negative components. The negative difference potentials cannot be explained as the refractoriness of low-level visual processes, for the following reasons. First, the scalp distribution of the exogenous activity (C2 component) differed from the characteristics of the difference potential in the earlier latency range. Second, there was a tendency for there to be peak latency differences between the C2 and the difference potentials. Third, in the later latency range, there was no exogenous difference corresponding to the posterior negativity. We consider the two difference potentials as sub-components of vMMN. The emergence of multiple vMMNs is not unprecedented (Maekawa *et al.*, 2005; Astikainen & Hietanen, 2009; Sulykos & Czigler, 2011). Considering the difference potentials as vMMN, we interpreted the asymmetry of the random and symmetry conditions as a manifestation of a category effect. Unlike the random patterns, symmetric

TABLE 1. Latency values (ms) of the pattern-specific event-related components (Standard error of the mean in parenthesis)

	C1		C2		C3	
	Symmetric	Random	Symmetric	Random	Symmetric	Random
Oz	86.16 (2.69)	86.83 (2.97)	124.8 (4.64)	125.2 (4.70)	243.3 (3.43)	242.0 (3.67)
POz	88.00 (2.17)	86.66 (1.98)	130.0 (3.32)	130.5 (3.52)	240.3 (3.02)	239.8 (2.87)

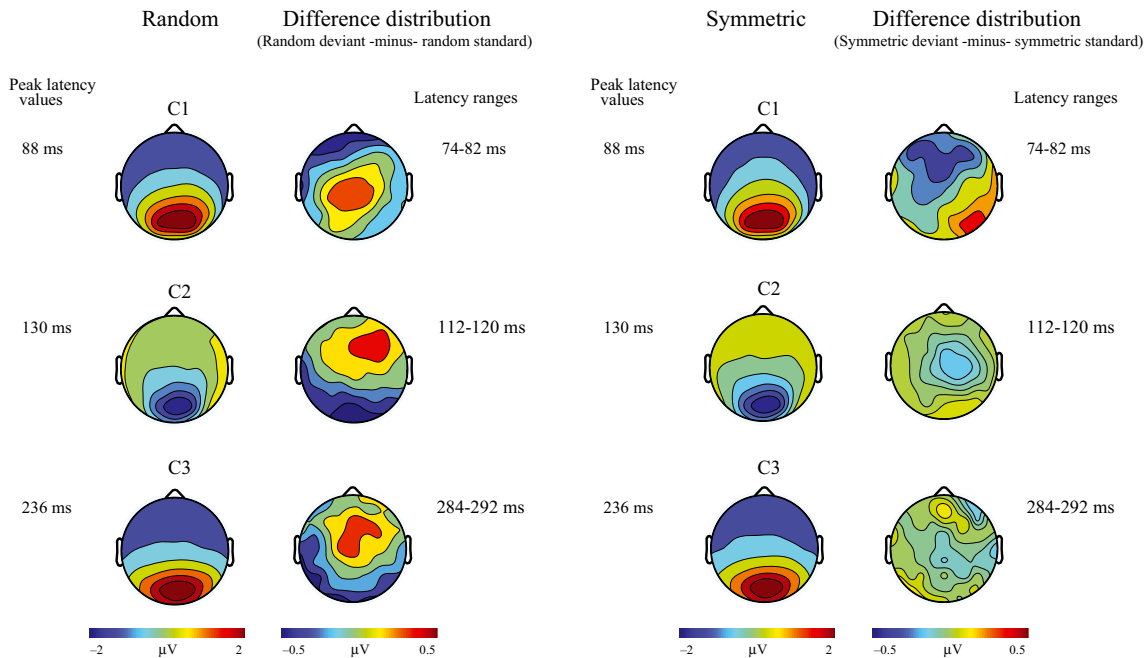


FIG. 3. Topographic maps of the random and symmetric exogenous components (C1, C2 and C3 scalp distributions at the peak latencies) and the surface distributions of the deviant-minus-standard difference potentials in the three ranges.

TABLE 2. Mean amplitude values (μV) of the event-related potentials elicited by random deviants and standards (Standard error of the mean in parenthesis)

	112–120ms		284–292 ms	
	Standard	Deviant	Standard	Deviant
Oz	–1.13 (0.47)	–1.71 (0.31)	1.67 (0.29)	1.35 (0.30)
POz	–0.96 (0.48)	–1.46 (0.45)	2.40 (0.48)	2.28 (0.49)

stimuli may acquire a category. Rare random (deviant) stimuli violated the representation of the category (symmetry) and elicited vMMN. Thus far, category influences on vMMN have been reported in the color domain (Athanasopoulos *et al.*, 2010; Clifford *et al.*, 2010; Mo *et al.*, 2011) and in the case of facial emotions (Zhao & Li, 2006; Astikainen & Hietanen, 2009; Stefanics *et al.*, 2012). According to the present results, high-order visual features acquired a category without the involvement of attentional processes, and stimuli deviating from the sequential appearance of patterns belonging to such a category were automatically registered.

The present findings are in line with behavioral results showing the fast and automatic sensitivity of the visual system to symmetry (Carmody *et al.*, 1977; Baylis & Driver, 1994; Tyler *et al.*, 1995; Wagemans, 1995; Huang *et al.*, 2004). According to some studies, short-latency vMMN is generated in retinotopic areas (Czigler *et al.*, 2004; Pazo-Alvarez *et al.*, 2004; Sulykos & Czigler, 2011). Nevertheless, according to neuroimaging and transcortical magnetic stimulation data, the loci of sensitivity to symmetry are above the retinotopic (i.e. V1 and V2) structures (Sasaki *et al.*, 2005; Tyler *et al.*, 2005; Cattaneo *et al.*, 2011). An early effect of symmetry on ERPs was reported by Norcia *et al.* (2002); however, neither the patterns nor the stimulus presentation methods in that study were comparable to the methods used in the present study. Considering both the early and the late negativities as vMMNs, emergence of the

successive components suggests a cascade of memory-related processes. This possibility fits the idea that mismatch responses are correlates of hierarchically organised error signals; i.e. the difference between a model predicting the characteristics of ongoing stimulation and bottom-up processes elicited by the actual stimulation (Winkler & Czigler, 2012). vMMNs in the earlier and later latency ranges had similar surface distributions. Therefore, it is unlikely that the early and late vMMNs are attributable to the structural hierarchy of the visual system. Instead, we consider the later component to be a manifestation of recurrent activity. So far, there have been only a few attempts to localise vMMNs. These studies identified the pre-triangular cortex as generator of vMMN (Czigler *et al.*, 2004; Kimura *et al.*, 2010; Sulykos & Czigler, 2011). According to a magnetoencephalography study, the middle occipital gyrus is an important cortical area whose activity reflects the sensory memory-based visual change-detection processes (Urakawa *et al.*, 2010). Furthermore, Yucel *et al.* (2007) reported a deviant-related extensive network (occipital–fusiform, posterior parietal, prefrontal and subcortical regions). In these regions, unattended deviants elicited blood oxygen level-dependent activation that decreased with the difficulty of a demanding visuomotor tracking task.

The emergence of vMMN elicited by random deviants and the lack of vMMN elicited by symmetric deviants are analogous to an effect in auditory modality. Within a series of legal syllables in a language, an irregular syllable elicited mismatch negativity, but a legal deviant in a series of irregular ones did not (Steinberg *et al.*, 2011). Accordingly, violation of an existing category resulted in automatic detection processes; however, in the absence of categorisation, there were no such processes. It seems that the role of category-related representation in the two modalities is similar.

In conclusion, the results of the present study show that bilateral vertical symmetry is a prominent stimulus category, and that stimuli violating the rule of successive appearance of such patterns elicit deviant-related components, even if the stimulus patterns are unrelated to the ongoing behavior.

Supporting Information

Additional supporting information can be found in the online version of this article:

Video. S1. The illustration of the experimental display. The vMMN-related stimuli were delivered on the lower half of the visual field. The task was, to maneuver the blue spaceship among another spaceships, on the upper half of the visual field.

Acknowledgements

This work was supported by the Hungarian Research Found (OTKA 71600). We thank Professor John Foxe for helpful comments and suggestions.

Abbreviations

ERP, event-related potential; vMMN, visual mismatch negativity.

References

- Astikainen, P. & Hietanen, J.K. (2009) Event-related potentials to task-irrelevant changes in facial expressions. *Behav. Brain Funct.*, **5**, 30.
- Astikainen, P., Lillstrang, E. & Ruusuvirta, T. (2008) Visual mismatch negativity for change in orientation – a sensory memory-dependent response. *Eur. J. Neurosci.*, **28**, 2319–2324.
- Athanasopoulos, P., Dering, B., Wiggett, A., Kuipers, J.-R. & Thierry, G. (2010) Perceptual shift in bilingualism: brain potentials reveal plasticity in pre-attentive colour perception. *Cognition*, **116**, 437–443.
- Barlow, H.B. & Reeves, B.C. (1979) The versatility and absolute efficiency of detecting mirror symmetry in random dot displays. *Vis. Res.*, **19**, 783–793.
- Baylis, G.C. & Driver, J. (1994) Parallel computation of symmetry but not repetition within single visual shapes. *Vis. Cogn.*, **1**, 377–400.
- Berti, S. (2011) The attentional blink demonstrates automatic deviance processing in vision. *NeuroReport*, **22**, 664–667.
- Carmody, D.P., Nodine, C.F. & Locher, P.J. (1977) Global detection of symmetry. *Percept. Mot. Skills*, **45**, 1267–1273.
- Cattaneo, Z., Mattavelli, G., Papagno, C., Herbert, A. & Silvanto, J. (2011) The role of the human extrastriate visual cortex in mirror symmetry discrimination: a TMS-adaptation study. *Brain Cogn.*, **77**, 120–127.
- Clifford, A., Holmes, A., Davies, I.R.L. & Franklin, A. (2010) Color categories affect pre-attentive color perception. *Biol. Psychol.*, **85**, 275–282.
- Czigler, I. (2007) Visual mismatch negativity – violation of nonattended environmental regularities. *J. Psychophysiol.*, **21**, 224–230.
- Czigler, I. & Pató, L. (2009) Unnoticed regularity violation elicits change-related brain activity. *Biol. Psychol.*, **80**, 339–347.
- Czigler, I., Balázs, L. & Winkler, I. (2002) Memory-based detection of task-irrelevant visual changes. *Psychophysiology*, **39**, 869–873.
- Czigler, I., Balázs, L. & Pató, L. (2004) Visual change detection: event-related potentials are dependent on stimulus location in humans. *Neurosci. Lett.*, **364**, 149–153.
- Heslenfeld, D.J. (2003) Visual mismatch negativity. In Polich, J. (ed.), *Detection of Change: Event-Related Potential and fMRI Findings*. Kluwer Academic Press, Boston, MA, pp. 41–59.
- Höfel, L. & Jacobsen, T. (2007) Electrophysiological indices of processing aesthetics: spontaneous or intentional processes? *Int. J. Psychophysiol.*, **65**, 20–31.
- Huang, L., Pashler, H. & Junge, J.A. (2004) Are there capacity limitations in symmetry perception? *Psychon. Bull. Rev.*, **11**, 862–869.
- Jacobsen, T. & Höfel, L. (2003) Descriptive and evaluative judgment processes: behavioral and electrophysiological indices of processing symmetry and aesthetics. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, **3**, 289–299.
- Jeffreys, D.A. & Axford, J.G. (1972) Source locations of pattern-specific components of human evoked potentials. I-II. *Exp. Brain Res.*, **16**, 1–40.
- Kimura, M. (2011) Visual mismatch negativity and unintentional temporal-context-based prediction in vision. *Int. J. Psychophysiol.*, **83**, 144–155.
- Kimura, M., Katayama, J., Ohira, H. & Schröger, E. (2009) Visual mismatch negativity: new evidence from the equiprobable paradigm. *Psychophysiology*, **46**, 402–409.
- Kimura, M., Ohira, H. & Schröger, E. (2010) Localizing sensory and cognitive systems for pre-attentive visual deviance detection: an sLORETA analysis of the data of Kimura *et al.* (2009). *Neurosci. Lett.*, **485**, 198–203.
- Kimura, M., Schröger, E. & Czigler, I. (2011) Visual mismatch negativity and its importance in visual cognitive sciences. *NeuroReport*, **22**, 669–673.
- Kujala, T., Tervaniemi, M. & Schröger, E. (2007) The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: theoretical and methodological considerations. *Biol. Psychol.*, **74**, 1–19.
- Machilsen, B., Pauwels, M. & Wagemans, J. (2009) The role of vertical mirror symmetry in visual shape detection. *J. Vis.*, **9**, 1–11.
- Maekawa, T., Goto, Y., Kinukawa, N., Taniwaki, T., Kanba, S. & Tobimatsu, S. (2005) Functional characterization of mismatch negativity to a visual stimulus. *Clin. Neurophysiol.*, **116**, 2392–2402.
- McCarthy, G. & Wood, C.C. (1985) Scalp distributions of event-related potentials: an ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **62**, 203–208.
- Mo, L., Xu, G., Kay, P. & Tan, L.H. (2011) Electrophysiological evidence for the left-lateralized effect of language on preattentive categorical perception of color. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **108**, 14026–14030.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T. & Alho, K. (2007) The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. *Clin. Neurophysiol.*, **118**, 2544–2590.
- Norcia, A.M., Candy, T.R., Pettet, M.W., Vildavski, V.Y. & Tyler, C.W. (2002) Temporal dynamics of the human response to symmetry. *J. Vis.*, **2**, 132–139.
- Pazo-Alvarez, P., Amenado, E. & Cadaveira, F. (2004) Automatic detection of motion direction changes in the human brain. *Eur. J. Neurosci.*, **19**, 1978–1986.
- Sasaki, Y., Vanduffel, W., Knutsen, T., Tyler, C. & Tootell, R. (2005) Symmetry activates extrastriate visual cortex in human and non-human primates. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **102**, 3159–3163.
- Simons, D.J. & Levin, D.T. (1997) Change blindness. *Trends Cogn. Sci.*, **1**, 78–89.
- Stagg, C., Hindley, P., Tales, A. & Butler, S. (2004) Visual mismatch negativity: the detection of stimulus change. *NeuroReport*, **15**, 659–663.
- Stefanics, G., Kimura, M. & Czigler, I. (2011) Visual mismatch negativity reveals automatic detection of sequential regularity violation. *Front. Hum. Neurosci.*, **5**, 46.
- Stefanics, G., Csukly, G., Komlósi, S., Czobor, P. & Czigler, I. (2012) Processing of unattended facial emotions: a visual mismatch negativity study. *Neuroimage*, **59**, 3042–3049.
- Steinberg, J., Truckenbrodt, H. & Jacobsen, T. (2011) Phonotactic constraint violation in German grammar are detected automatically in auditory speech processing: a human event-related potential study. *Psychophysiology*, **48**, 1208–1216.
- Sulykos, I. & Czigler, I. (2011) One plus one is less than two: visual features elicit non-additive mismatch-related brain activity. *Brain Res.*, **1398**, 64–71.
- Treder, M.S. (2010) Behind the looking-glass: a review on human symmetry perception. *Symmetry*, **2**, 1510–1543.
- Tyler, C.W. & Hardage, L. (1996) Mirror symmetry detection: predominance of second order pattern processing throughout the visual field. In Tyler, C.W. (ed.), *Human Symmetry Perception and its Computational Analysis*. VSP, Utrecht, pp. 157–171.
- Tyler, C.W., Hardage, L. & Miller, R.T. (1995) Multiple mechanisms for the detection of mirror symmetry. *Spat. Vis.*, **9**, 79–100.
- Tyler, C.W., Baseler, H.A., Kontsevich, L.L., Likova, L.T., Wade, A.R. & Wandell, B.A. (2005) Predominantly extra-retinotopic cortical response to pattern symmetry. *Neuroimage*, **24**, 306–314.
- Urakawa, T., Inui, K., Yamashiro, K., Tanaka, E. & Kakigi, R. (2010) Cortical dynamics of visual change detection based on sensory memory. *Neuroimage*, **52**, 302–308.
- Wagemans, J. (1995) Detection of visual symmetries. *Spat. Vis.*, **9**, 9–32.
- Wagemans, J., Van Gool, L. & d'Ydewalle, G. (1991) Detection of symmetry in tachistoscopically presented dot patterns: effects of multiple axes and skewing. *Percept. Psychophysiol.*, **50**, 413–427.
- Winkler, I. & Czigler, I. (2012) Evidence from auditory and visual event-related potential (ERP) studies of deviance detection (MMN and vMMN) link predictive coding theories to perceptual object representations. *Int. J. Psychophysiol.*, **83**, 132–143.
- Winkler, I., Czigler, I., Sussman, E., Horváth, J. & Balázs, L. (2005) Preattentive binding of auditory and visual stimulus features. *J. Cogn. Neurosci.*, **17**, 320–339.
- Yucel, G., McCarthy, G. & Belger, A. (2007) fMRI reveals that involuntary visual deviance processing is resource limited. *Neuroimage*, **34**, 1245–1252.
- Zhao, L. & Li, J. (2006) Visual mismatch negativity elicited by facial expressions under non-attentional condition. *Neurosci. Lett.*, **410**, 126–131.

KECSKÉS-KOVÁCS KRISZTINA*, CZIGLER ISTVÁN**

ARCOK NEMI KATEGORIZÁCIÓS FOLYAMATAINAK ELEKTROFIZIOLÓGIAI KORRELÁTUMAI¹

Beérkezett: 2014. január

Elfogadva: 2014. május

Az arcok felismerésének képessége alapvető észlelési funkció. A kísérletünk célja, hogy megvizsgáljuk, hogy a szenzoros memória alkalmas-e a nemi kategóriák (férfi/nő) kódolására, illetve a kategóriák közötti váltás észlelésére. A kérdést az eseményhez kötött potenciálok (EKP) módszerével vizsgáltuk, feladatfüggő kísérleti helyzetben. A különböző nemű arcingereket figyelt kakukktójtás elrendezésben mutattuk be, azaz a ritka célingerek egy gyakori arcokból álló szekvenciában kerültek bemutatásra. A kísérleti személyek ($n = 14$) feladatát a ritka nemi kategóriába tartozó arcok azonosítása alkotta, melyet gombnyomással jeleztek (női vagy férfiarcok változó szekvenciája; a célingerek 20 százalékos valószínűséggel jelentek meg a szekvencián belül). Az adott nemen belül az egyes képeken ábrázolt személyek különbözőek voltak. Az N170 komponens megjelenése mellett – mely az arcfeldolgozás neurális korrelátumaként ismert – a ritkán bemutatott arcok negatívabb EKP-t váltottak ki, mint a gyakori arcok. A 300 ms csúcslatenciával jelentkező negatív különbséget vizuális eltérési negativitás (vEN) komponensként értelmeztük, mely a nemi kategóriák közötti váltás automatikus detekciójának idegi korrelátuma. Az alkalmazott kísérleti helyzetből adódott, hogy a célingerként bemutatott arcok előhívták a P3 komponens családot (frontális P3a~290 ms csúcslatenciával és parietális P3b~550 ms csúcslatenciával). A férfi és női célingerekkel kiváltott válaszok között nem találtunk különbséget. Az eredmények szerint az észlelő rendszer automatikusan kódolja a nemi kategóriák közötti változást (vEN). Ehhez ki kell alakítania a nemi kategóriák reprezentációját, mely előrejelzi a várható arcinger megjelenését. A P3 komponensek megjelenése igazolja a különböző figyelmi és perceptuális kategorizációs folyamatok jelenlétét, melyek már függetlenek az ingerek fizikai megjelenésétől. Összességében elmondható, hogy kísérletünkkel demonstráltuk az észlelő rendszer érzékenységét a nemi arcok diszkriminációs folyamataira.

Kulcsszavak: nemi kategorizáció, arcfelismerés, vizuális eltérési negativitás, eseményhez kötött potenciálok, automatikus változás detekció, kakukktójtás paradigma

* MTA TTK KPI. E-mail: kecskes.kovacs.krisztina@ttk.mta.hu

** MTA TTK KPI. E-mail: czigler.istvan@ttk.mta.hu

¹ A kutatás az OTKA-K104462 pályázat támogatásának jóvoltából jött létre. Köszönjük Kecskés Józsefnek a kísérlettervezésben nyújtott technikai segítséget. Köszönettel tartozunk Sulykos Istvánnak, aki a tanulmány megírásához hasznos tanácsaival járult hozzá.

BEVEZETÉS

A kísérleti pszichológiában népszerű kutatási terület az arcok feldolgozási folyamatainak vizsgálata, melynek oka valószínűsíthetően az, hogy az arcok azonosításának mi magunk is szakértői vagyunk. Ekképpen minden egészséges arcpercepcióval rendelkező személy képes megkülönböztetni a bennünket körülvevő arcokat. Az arcok feldolgozásának egyik alapvető funkcionális modellje Bruce és Young (1986) nevéhez fűződik. A modell nyolc alapvető egységre osztja fel az arcokkal kapcsolatos információfeldolgozást. Minden egység különböző információ feldolgozásáért felelős.²

Jelen kutatás szempontjából releváns a strukturális kódolás szakasza, mely konfigurálja az arcokról készült leírásokat és elkészíti az arc mentális reprezentációját. A strukturális kódolás folyamatának van egy jól ismert elektrofiziológiai korrelátuma, mely az arc bemutatását követően 170 ms-os latenciával megjelenő negatív amplitúdójú hullám (N170, Bentin, Allison és mtsai, 1996; Kovács, 2008). E kétoldali, hátulsó eloszlású komponens jelzi, hogy az arcok mint alakzatok felismerése végbement. Az arcfeldolgozás egyes részfolyamatainak automatikus vagy figyelmi jellege számos kutatás témája. Ilyen terület az arcok azonosítása kategóriák szerint (pl.: férfi-nő, boldog-szomorú), vagy mint ismerős személy felismerése. További terület az emocionális kategóriák változása vagy egyéb arcdimenziók menti változás detekciója. Tehát a percepció folyamatok másik fontos állomása az objektumok azonosítása mellett az objektumok közötti változás detektálása. Kiemelt fontosságú, hogy észleljük a vizuális objektumok közötti változást is. Az automatikus változás detekció neurális mechanizmusát tükröző eseményhez kötött potenciál (EKP) komponens a vizuális eltérési negativitás (vEN; összefoglalásként lásd Czigler, 2014). A vEN érzékeny a szabályos ingerszekvenciában (standard ingerek) megjelenő szabálytalan inger (deviáns) megjelenésére abban az esetben is, ha az ingerek irrelevánsak a viselkedés szervezése szempontjából.

² A Bruce-Young-modell (1986) felosztása: A beérkező arc input először a strukturális kódolás egységébe érkezik, mely különböző leírásokat, reprezentációkat hoz létre, melyek nézőpontközpontú és nézőpontfüggetlen leírások egyaránt lehetnek. A *strukturális kódolás* egységéből három további lehetséges útvonalon továbbíthat az információ. Az első az *arc kifejezések elemzésének folyamata*, mely során az érzelmi jelzőingerek értelmezése történik (amennyiben tartalmaz a beérkező arc érzelmi információt), ezen információ már egyenesen a *kognitív rendszerbe* továbbítódik. Utóbbi tartalmazza az elsődleges tudásunkat a jelen arc felismerésével kapcsolatban, mint pl.: hajszín, kor, származás stb. A második egység – mely szintén még nézőpontközpontú strukturális információt kap bemenetként – a *száj- és arcmozgásokat vizsgáló egység*, elsősorban a beszédészlelésben van szerepe, innen is egyenes út vezet a kognitív rendszerbe. A harmadik egység már nézőpontfüggetlen leírást kap a strukturális kódoló egységtől, melyet a kognitív rendszernek továbbít. Ezen egység az *irányított vizuális feldolgozó* specifikus információkat tartalmaz, melyek segítenek az arcok kategorizációjában, pl. minden tudós szakállas. Ezzel párhuzamosan a strukturális kódolás nézőpontfüggetlen leírásai az *arcfelismerési egységbe* jutnak, mely az ismert arcokról tartalmaz leírásokat. Ezen egység, amennyiben szükséges, két további egységgel is kapcsolatba léphet. A *személyazonossági jegyzetek egység* speciális információt tartalmaz adott személyekről. A másik lehetséges csomópont a *névgenerálás*. Fontos megjegyezni, hogy minden út a kognitív rendszerben végződik. Tehát az észlelt információk, minden az arcról, személyről tárolt tudásunk ott kapcsolódik össze.

A vizuális eltérési negativitás kutatásában általánosan használt kísérleti helyzet a „kakukktojás elrendezés”, melyben a gyakori azonos ingerekből álló standard sorozatban kis valószínűséggel (pl. 20%) eltérő deviáns, azaz kakukktojás ingerek jelennek meg. A deviáns és a standard ingerek által kiváltott EKP-k közötti különbség a vEN komponens. A vEN a deviáns inger megjelenését követően 150–400 ms latenciával megjelenő poszterior eloszlású negatív amplitúdójú hullám (Czigler, Winkler és Balázs, 2002a). A standard és deviáns ingerek fizikai megjelenésének nagymértékű különbözőségével, illetve a deviáns alacsonyabb valószínűségével a vEN amplitúdója egyenesen arányos növekedést mutat (Kimura, 2011). A vEN kognitív pszichológiai magyarázata, hogy e komponens olyan hibajel, mely egy össze nem illési mechanizmus eredménye. Tulajdonképpen a gyakori ingerszekvencia által a szenzoros memóriában kialakított mentális reprezentációtól eltérő ingerrel váltható ki. Számos kutatás irányult arra, hogy feltárja, milyen ingersajátságokra érzékenyek a vEN háttérében álló agyi folyamatok. Ekképpen a vEN kiváltható a színek változásával (Czigler, Balázs és Winkler, 2002b); a mozgás irányának (Pazo-Alvarez, Amenedo és Cadaveira, 2004), az orientációnak (Astikainen, Lillstrang és Ruusuvirta, 2008) és a téri frekvenciának a változásával (Heslenfeld, 2003). Továbbá több kutatási eredmény tanúskodik arról, hogy nem csupán elemi ingersajátságok változására érzékeny a rendszer, hanem a deviánsok szekvenciális kapcsolataira (Kimura, 2011), illetve a deviánsok különböző ingersajátságainak a konjunkciójára is (lásd összefoglalást: Czigler, 2007). Mindemellett a vEN érzékeny a perceptuális kategorizáció folyamataira is, melyet több kutatócsoport eredményei is demonstráltak: Athanasopoulos, Dering és munkatársai (2010) kimutatták, hogy a vEN érzékeny a színek észlelése nyomán kialakuló nyelvi kategóriák változásaira, továbbá olyan Gestalt szerveződési elvekre, mint például a szimmetria (Kecskés-Kovács, Sulykos és Czigler, 2013a), illetve az emberi kezek (bal/jobb) kategóriájának változása is kiváltja a vEN-t (Stefanics és Czigler, 2012a).

Mielőtt bevezetnénk a jelen kutatás kérdésfelvetését, a kísérleti eljárásból adódóan szót kell ejtenünk egy másik eseményhez kötött potenciálról, nevezetesen a P3 komponensről (pontosabban komponensekről), illetve a hozzá kapcsolódó idegi folyamatokról. A P3 az inger megjelenése után 240–700 ms latenciával jelentkezik, pozitív amplitúdóval, frontális és parietális eloszlással. Hagyományosan figyelmi folyamatokkal és perceptuális kategorizációs folyamatokkal hozzák összefüggésbe. Az információfeldolgozás azon szakasza, melyre az ingerek fizikai megjelenésének tulajdonságai kevésbé vannak hatással, a P300 komponens „család” alkomponensei: a frontális maximummal jelentkező P3a és a parietális maximumú P3b. P3a valamilyen váratlan, ritka változás esetében jelenik meg. Másik alkomponense a P3b abban az esetben regisztrálható, ha az inger egy feladat szempontjából lényeges (célinger) (Polich és Kok, 1995; lásd összefoglaló: Polich, 2007).

A P3 komponens mögött álló folyamatok funkcionális magyarázata klinikai tapasztalatokból, illetve számos kísérleti eredményből származik. Hagyományosan kakukktojás ingerbemutatás során a résztvevőknek meg kell különböztetniük

a gyakori és a ritka ingereket, melyet válaszadással kell jelezniük (Molnár, 1992; Luck, 2005). A szakirodalomban nincsen konszenzus a két alkomponens törvényszerű megjelenése és a használt feladathelyzet tekintetében. Más szóval, egyes kísérleti paradigmák eredményeképpen mindkét komponens megjelenik, máskor pedig nem. Némely kutatók szerint a P3b komponens megjelenése feladatreleváns, míg a P3a feladat-irreleváns helyzetben jelenik meg (Luck, 2005). Más kutatócsoportok eredményei szerint váratlan, szokatlan feladathelyzetben is megjelenik mindkét komponens (Luck, 2005). Nincsen szakirodalmi konszenzus a P3b komponens hátterében álló neurális folyamatokról, illetve ezek kognitív funkcióiról sem (Donchin, 1981; Verleger, 1988; Luck, 2005). Különböző memóriafolyamatok, illetve a környezetről kialakított reprezentációk frissítése is ekképpen történik (Donchin, 1981; Molnár, 1992). Ugyanakkor tekintetbe véve a komponensek eloszlását, illetve a használt kísérleti paradigmákat, elmondható, hogy az agy hippocampusz és a medio-temporális lebeny területei jelentős szerepet játszanak a P3b komponens család neurális folyamataiban.

A jelen kutatás kérdésfeltevése, hogy az észlelő rendszer több fizikailag eltérő arcról automatikusan kialakítja-e a nemi kategória reprezentációját. Feltételezéseink szerint a szabályos ingerszekvenciában megjelenő szabálytalan inger kiváltja a vizuális eltérési negativitást, mely a változásdetektáció agyi folyamataihoz köthető agyi potenciál. Ennek előfeltétele, hogy a szabályos ingerszekvenciáról, az ingerek egymáshoz képesti viszonyáról – női arcokról vs. férfiarcokról – kialakuljon egy emlékezeti reprezentáció, mely önmagában már előfeltevéseket is kódol a következő vizuális objektum megjelenéséről. Minden egyes beérkező inger összemérésre kerül ezen emlékezeti reprezentációval, az elvárttól eltérő esetekben egy össze nem illési válaszreakció jelentkezik, azaz a vEN. A különböző vizuális objektumok detektálásából származó információ egy közös kontinuum mentén – nemi jelleg – kategóriába rendeződik, mely információt a memória fenntartja, frissíti, tárolja. Ezen folyamatok elektrofiziológiai korrelátuma a P3 komponens család megjelenése: az anterior eloszlású P3a komponens újdonságdetektorként definiálható, míg a P3b komponens bizonyos tanulási mechanizmusokat, kategorizációs folyamatokat tükröz. Ekképpen várható, hogy amennyiben az arcokra figyelünk a feladat során (relevánsak a feladat szempontjából), a P3b komponens megjelenik.

MÓDSZEREK

A kísérletünkben 14 egészséges, a kísérlet célját illetően naiv fiatal felnőtt vett részt (8 nő, átlagéletkoruk 22,21, SD = 2,11 év). A kísérleti személyek jobbkezesek voltak, normál vagy normálra korrigált látással rendelkeztek. A kísérleti személyek írásbeli tájékoztatást kaptak a kutatás jellegéről, mely a jelenleg érvényes etikai szabályok betartását figyelembe vette (Egyesített Pszichológiai Kutatás-etiikai Bizottság).

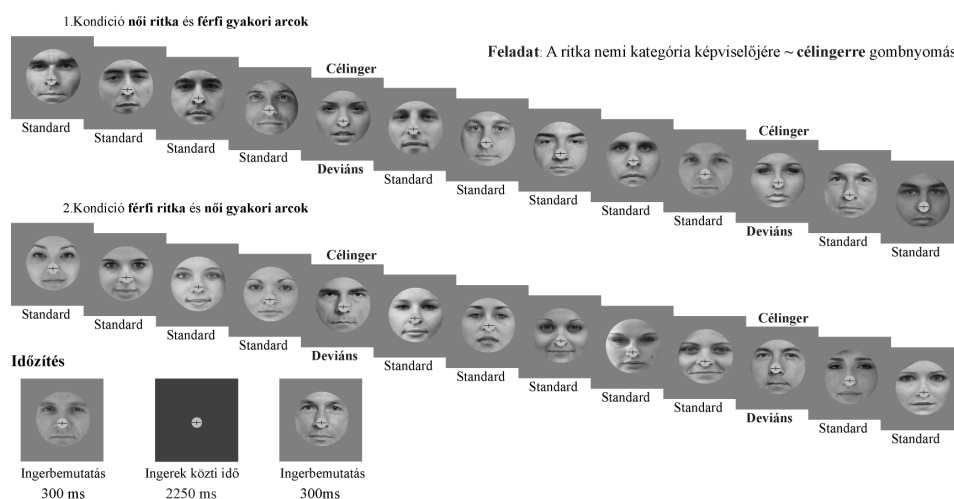
Feladat

A résztvevők az előzetesen ismertetett instrukció alapján a ritka nemi kategóriába tartozó arc megjelenésekor a lehető leggyorsabb és legpontosabb választ adták egy gomb megnyomásával (célinger detektálása). Minden blokk előtt informáltuk a résztvevőket az aktuális célinger nemi kategóriájáról.

A kísérlet során használt vizuális ingeranyag

Kutatásunk során egy internetes adatbázis fényképeit használtuk fel (www.findaface.ch); negyven női és negyven férfiarcot választottunk ki, melyekből a Photoshop (CS4) szoftver segítségével fekete-fehér, egyenlő méretű (12,90°) arcokat készítettünk, takarva a hajviseletet. Az arcok semlegesek voltak az érzelmkifejezés szempontjából (1. ábra). Az arcok bemutatási ideje 300 ms (milisecundum), az arcینگerek között eltelt idő (IKI) 2000–2500 ms között változott (átlagosan 2250 ms). A női arcok átlagos fény-sűrűségértéke 54,31 cd/m² (SD = 2,0 cd/m²), a férfiarcok átlagos fényerősségértéke 47,78 cd/m² (SD = 2,0 cd/m²) volt.

Az arcینگerek szürke háttér (36,57 cd/m²) előtt kerültek bemutatásra 17" monitoron (Samsung SyncMaster 740B, 60 Hz frissítési frekvencia). A résztvevők 1,2 méterrel az ingerbemutató monitor előtt, egy alacsony megvilágítású, hangszigetelt szobában foglaltak helyet.



1. ábra. A kísérlet során használt ingerek és az alkalmazott szekvenciák illusztrációja. Sematikus ábrázolása a bemutatott nemi arcok ingermintázatának és a középen megjelenített fixációs keresztnek. A kísérlet során 40–40 különböző férfi- és női arcot használtunk, melyeket két feltételben mutattunk be. A kép alsó felében a kísérlet során alkalmazott időzítéseket találjuk.

Az ingerek bemutatásának sorrendjét aktív (figyelt) kakukktójas paradigma keretében végeztük, melynek során a gyakori (standard) arcok 80%-os valószínűséggel, míg a ritka célingerek 20%-os valószínűséggel jelentek meg.

Két feltételt alkalmaztunk a kísérlet során; az első feltételben a férfiarcok voltak a gyakoriak és a női arcok a ritkák, a második feltételben a női arcok képezték a gyakori, a férfiarcok a ritka kategóriát. Egy feltételben 600 arcot mutattunk be a résztvevőknek (480 gyakori és 120 ritka), melyeket feltételenként három-három blokkra osztottunk fel. A blokkok bemutatásának sorrendjét véletlenszerűen változtattuk a személyek között.

Két ritka arc között legalább kettő és legfeljebb kilenc gyakori arc szerepelt. Lényeges kikötés, hogy az egymást követő arcok sosem voltak azonosak, azaz mindig más-más személy szerepelt a képeken.

EEG mérés

Az agyi elektromos tevékenységet (EEG) 500 Hz mintavételi frekvenciával DC és 70 Hz között regisztráltuk (Synamps2 erősítő, NeuroScan felvevő rendszer) 61 Ag/AgCl elektróda segítségével, melyeket a kiterjesztett 10–20 rendszer szerint kialakított elektródasapkában (EasyCap) rögzítettünk. A referencia elektróda az orr hegyén volt, majd az adatok elemzésekor átlagolt referenciával számoltunk. A vertikális szemmozgást (EOG) a jobb szem alatt és fölött lévő elektródákkal, míg a horizontális szemmozgásokat bipoláris elrendezésű elektródákkal rögzítettük. Az EEG és EOG jeleket offline 0,1 és 30 Hz (24 dB meredekség) közötti értékekre szűrtük, a jel/zaj arány javításaképp (ezen értékek alatti és fölötti frekvenciák nem szerepeltek a további elemzésekben). Az elektródák ellenállása az adatfelvétel során mindig 10 k Ω alatt volt. A további műtermékek (pl.: pislogások) kiszűrését számítógépes analízissel végeztük, a kiszűrés kritériuma $\pm 50 \mu\text{V}$ amplitúdóváltozás bármelyik elektróda csatornán. Az átlagolás során meghatároztunk egy 1100 ms-os intervallumot, mely magában foglalta a 100 ms-os inger előtti alapvonal idejét is. Külön átlagoltuk mindkét feltétel esetében a gyakori standard- és a célingereket.

EKP adatok elemzésének folyamata

Az eseményhez kötött potenciálok feldolgozásakor két ingersajátsághoz köthető (exogén) komponenst különböztettünk meg: P1, N1/N170, további két komponens pedig a kategóriaeltéréshez köthető: a célingerekkel kiváltott P3 hátulsó pozitív hullám és egy különbség-hullám (deviáns *mínusz* standard). Az EKP jelek összehasonlítása, illetve a különbségek képzése az alkalmazott kísérleti feltételeken belül történt (női célinger vs. férfi gyakori ingerek, illetve a férfi célingerek vs. női gyakori ingerek). Az összehasonlítás alapját az adta, hogy nem találtunk különbséget a kondíciók között a kiváltott válaszokban (női célinger vs. női gyakori

ingerek, illetve férfi célingerek vs. férfi gyakori ingerek), így az aktív kakukktojás kísérleti elrendezésnél hagyományosnak számító felosztást alkalmaztuk (Molnár, 1992). Továbbá az adatfeldolgozás során előre meghatározott sávok átlag amplitúdó értékeit használtuk (a csoportgörbén látható csúcs amplitúdója körüli átlag-értékek, ahol a sávok szélességét t-próbák értékei alapján számítottuk). Az elemzésekhez szükséges csatornakiosztást a célinger *mínusz* standard ingerrel kiváltott aktivitás különbségeivel végzett t-értékek alapján határoztuk meg az egyes komponensekre vonatkozó elemzés előtt. Az amplitúdóadatokról három szempontos varianciaanalízist (ANOVA) számítottunk, az alábbi faktorokkal: 1. *Ingerek Típusa* (Célinger vs. Standard); 2. *Anterioritás* (elülső vs. hátulsó területek); 3. *Lateralitás* (bal, balközép, közép, jobbközép, jobb oldali elvezetések). Az eredményeket minden esetben $p < 0,05$ szinten értékeltük szignifikánsnak. Amennyiben szükséges volt, úgy a szabadságfok korrekcióját Greenhouse-Geisser-próbával végeztük el (ϵ értékkel jelöltük az elemzésben). A hatások mértékét a parciális eta-négyzet (η^2) jelöli. Ezenkívül a szignifikáns interakciók további elemzése során Tukey HSD post-hoc tesztet alkalmaztunk. A kiváltott potenciálok eloszlásának összehasonlítása előtt McCarthy és Wood (1985) módszere alapján transzformációt végeztünk (lásd 3. *lábjegyzet*). Az egyes komponensek esetében összehasonlítást végeztünk a két feltétel között.

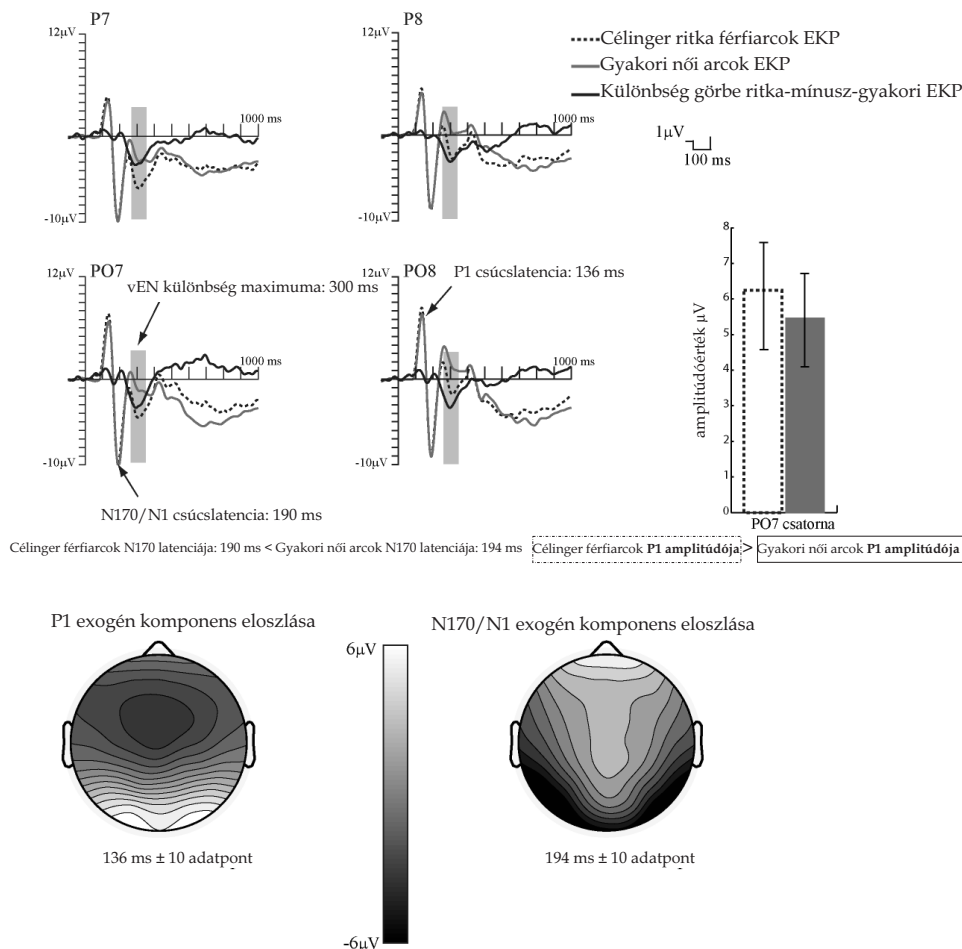
Eredmények

A célingerek detektálási teljesítménye 80% fölött volt (a célinger átlagos találati aránya 98,21% volt, SD = 3,6). A reakcióidő mediánja 504,16 ms, SD = 65,52 ms). Nem találtunk különbséget a célingerek között a két feltételben, azaz ugyanolyan gyorsan és pontosan észlelték a ritka férfiarcokat a gyakori női arcok között, mint a ritka női arcokat a gyakori férfiarcok között.

Kiváltott potenciál adatok

A 2. és 3. ábrán láthatók a két kísérleti feltétel eseményhez kötött potenciál eredményei négy bilaterális hátulsó elvezetésen.

Exogén komponensek: A P1 komponens (134–136 ms csúcslatencia) amplitúdó maximuma a jobb oldali parieto-okcipitális elvezetésben (PO8) volt. Az egyetlen lényeges különbség az volt, hogy a férfiarc célinger feltételben a célinger nagyobb P1 választ váltott ki, mint a standard női arcok [$F(1,13) = 5,79$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,30$]. Az arcok esetében speciálisan nagy N170 (N1) összetevő csúcslatenciája 190–194 ms volt, bal oldali parieto-okcipitális (PO7) maximummal. A női arc célinger feltételben a célinger amplitúdója nagyobb volt, mint a standardé [$F(1,13) = 10,25$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,44$]. Hasonló eltérés a férfiarc célingerek esetében nem mutatkozott. E feltételben viszont latenciakülönbség adódott, a célinger csúcslatenciája rövidebb volt (190 ms vs. 194 ms) [$F(1,13) = 7,86$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,37$].



2. ábra. A csoport átlagának eseményhez kötött potenciálgörbéi a hátulsó-két oldalsó elvezetéseken.

Az ábrán a ritka férfiarok és a gyakori női arcok átlag kiváltott válaszai és különbségpotenciál értékei szerepelnek. A szürkített területek jelölik azon sávot, melyben a különbség a legnagyobb az EKP-k között. A kép alsó felén az exogén komponensek skalpeloszlása látható (az EKP görbéket megjelenítő ábrák vertikális tengelye az ingerbemutató kezdetét jelzi, míg a horizontális tengely az értékek alapvonalát jelöli).

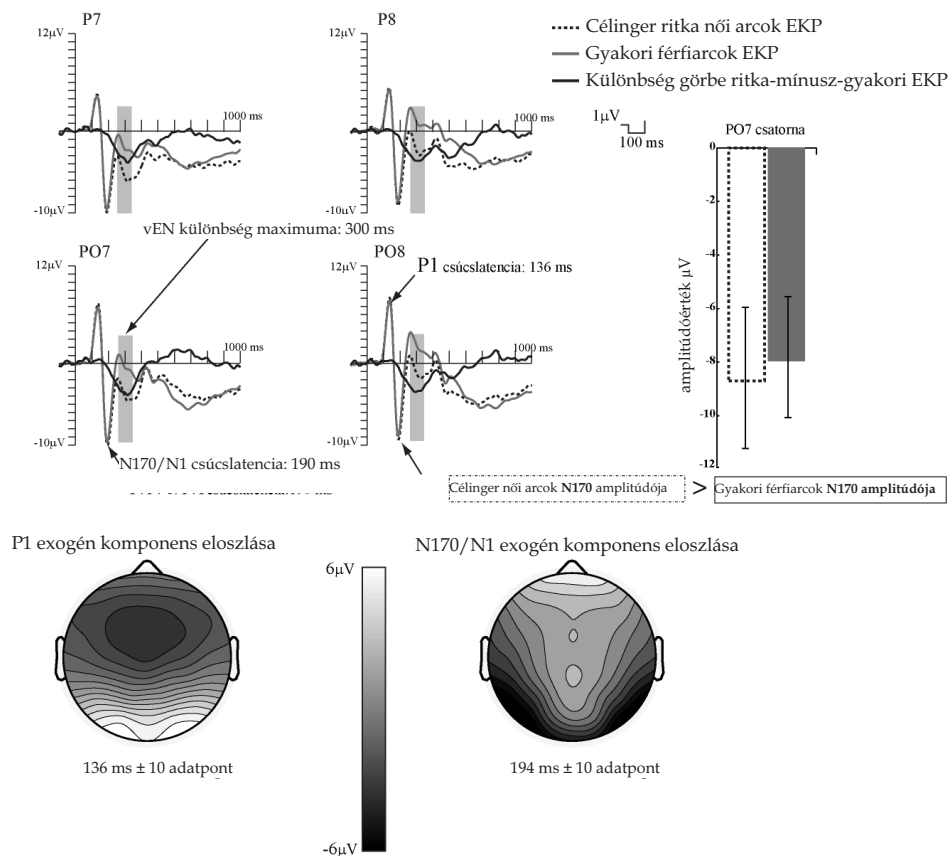
Hátulsó negatív különbségpotenciál (vEN): A t-próbák értékei alapján a különbség maximuma 300 ms-os latenciával jelentkezett. A statisztikai elemzéshez egy 260–340 ms (összesen 41 adatpontot tartalmazó) latenciasávot határoztunk meg 3 × 5 elektróda rácson (Anterioritás három értéke: Poszterior (P) sor, Poszterior-okcipitális (PO) sor és egy Okcipitális (O) sor. A Lateralitás öt értéke: bal-P7 és PO7, balközép-PO3 és O1, közép-POz és Oz, jobbközép-PO4 és O2, jobb-P8 és PO8 csatornákon). *I. feltétel (női arc célinger):* a ritka női arcokkal kiváltott válasz szigni-

1. táblázat. A két kísérleti feltétel exogén komponenseinek átlag amplitúdó értékei (μV) az első négy sorban, majd átlag latencia értékek az alsó négy sorban (ms). A standard hiba a zárójelben

Elvezetés	P1		136 ms		N170		190 ms	
	Gyakori férfi- arcok	Ritka női arcok	Gyakori férfi- arcok	Ritka női arcok	Gyakori férfi- arcok	Ritka női arcok	Gyakori férfi- arcok	Ritka női arcok
P7	3,09 (0,47)	3,64 (0,45)	2,99 (0,48)	3,64 (0,54)	-8,44 (1,18)	-8,89 (1,36)	-8,81 (1,14)	-8,69 (1,16)
P8	3,86 (0,39)	4,38 (0,45)	3,67 (0,32)	4,35 (0,40)	-7,28 (1,09)	-8,1 (1,14)	-7,42 (1,11)	-7,66 (1,24)
PO7	5,61 (0,62)	6,34 (0,56)	5,46 (0,62)	6,53 (0,67)	-8,35 (1,2)	-8,63 (1,41)	-8,97 (1,24)	-8,44 (1,24)
PO8	6,19 (0,57)	6,85 (0,69)	6,02 (0,53)	7,03 (0,75)	-7,38 (1,55)	-7,93 (1,7)	-7,70 (1,67)	-7,50 (1,65)
P7	130 (2,87)	131 (2,81)	130 (2,63)	128 (2,47)	190 (2,05)	191 (2,38)	190 (1,91)	187 (1,39)
P8	134 (2,44)	134 (2,14)	135 (2,1)	133 (1,59)	189 (1,86)	190 (1,84)	189 (1,87)	187 (1,54)
PO7	133 (2,52)	134 (2,52)	133 (2,4)	132 (2,1)	192 (1,93)	193 (2,17)	192 (1,59)	189 (1,45)
PO8	136 (2,13)	136 (1,99)	135 (2,21)	134 (1,53)	191 (2,01)	193 (2,02)	191 (1,90)	189 (1,68)

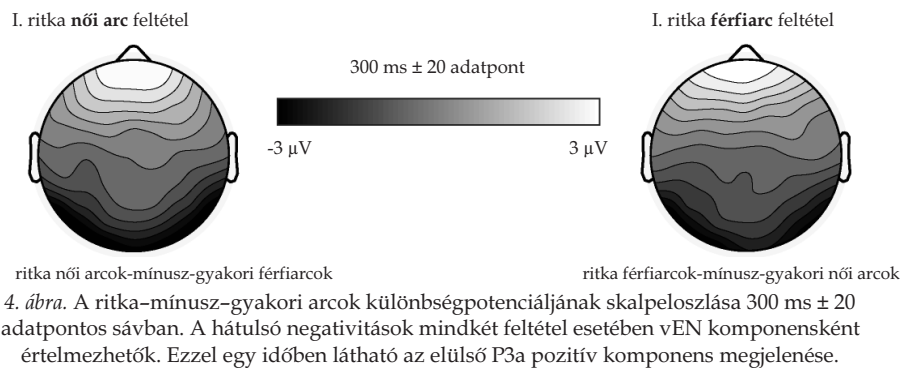
fikánsan negatívabb volt, mint a standard (férfi)arcokkal kiváltott válasz. A különbség maximuma az oldalsó területeken volt a legnagyobb (Inger-fóhatás [$F(1,13) = 42,71$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,76$], illetve Lateralitás-fóhatás [$F(4,52) = 27,84$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,68$]). A II. feltétel (férfiarc célinger): a ritka férfiarcok, illetve a gyakori női arcok által kiváltott válaszok hasonló szignifikáns különbségeket eredményeztek, mint amit az I. feltételben megfigyelhettünk (Inger és Lateralitás fóhatások [$F(1,13) = 66,59$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,83$], [$F(4,52) = 25,85$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,66$]). A két feltételben kapott különbségek eloszlását összehasonlítottuk. Az elemzés során (McCarty és Wood, 1985) nem kaptunk szignifikáns különbséget a két feltétel különbségi potenciáljának eloszlása között³ (4. ábra).

³ A McCarty és Wood-féle (1985) statisztikai eljárás célja, hogy különböző skalpeloszlások összehasonlítását teszi lehetővé különböző kísérleti feltételek, kísérleti csoportok vagy komponensek között. A skalpeloszlások vizsgálata fontos kritériumát képezi az EKP komponensek azonosításának, hiszen a skalpon megjelenő különböző potenciálú mezők eloszlása jelzi az intrakraniális forrásoknak a különböző téri konfigurációját. Ezen értelmezés keretében elmondható, hogy a különböző eloszlások különböző neurális aktivitást tükröznek. Természetesen adott a tény, hogy a különböző kísérleti manipulációkból különböző eloszlások keletkeznek, ekképpen a skalpeloszlások statisztikai elemzésére nem használható a hagyományos kétutas varianciaanalízis (ANOVA), mivel a lokalizációs fóhatás egyértelműen megjelenne. McCarthy és Wood (1985) tanulmányukban ezen „ál-fóhatás” probléma feloldására keresnek megoldást, melyet elsősorban az adatok újraskálázásában látnak. Az eljárás lényege, hogy a statisztikai elemzés előtt a kísérleti feltételeknek megfelelő egyéni amplitúdóértékek sávátlagának – a megadott csatornákon – normalizált amplitúdóértékeit vesszük olyan módon, hogy megkeressük a feltételekben a legnagyobb és a legkisebb értékeket, az összes értékből kivonjuk a legkisebbet, majd elosztjuk a maximum és a minimum különbségével. Ezen skálázott amplitúdóértékek képezik az eloszlásvizsgálat alapját.



3. ábra. A csoport átlag amplitúdó értékeihez tartozó hullámok a ritka női arcok és a gyakori férfiarcok esetében. Szürkített sávok jelölik a különbség maximumát. A kép alsó felén a P1 és N170 komponensek skalpeloszlása látható (az EKP görbéket megjelenítő ábrák vertikális tengelye az ingerbemutatás kezdetét jelzi, míg a horizontális tengely az értékek alapvonalát jelöli).

Hátulsó negatív különbség potenciál



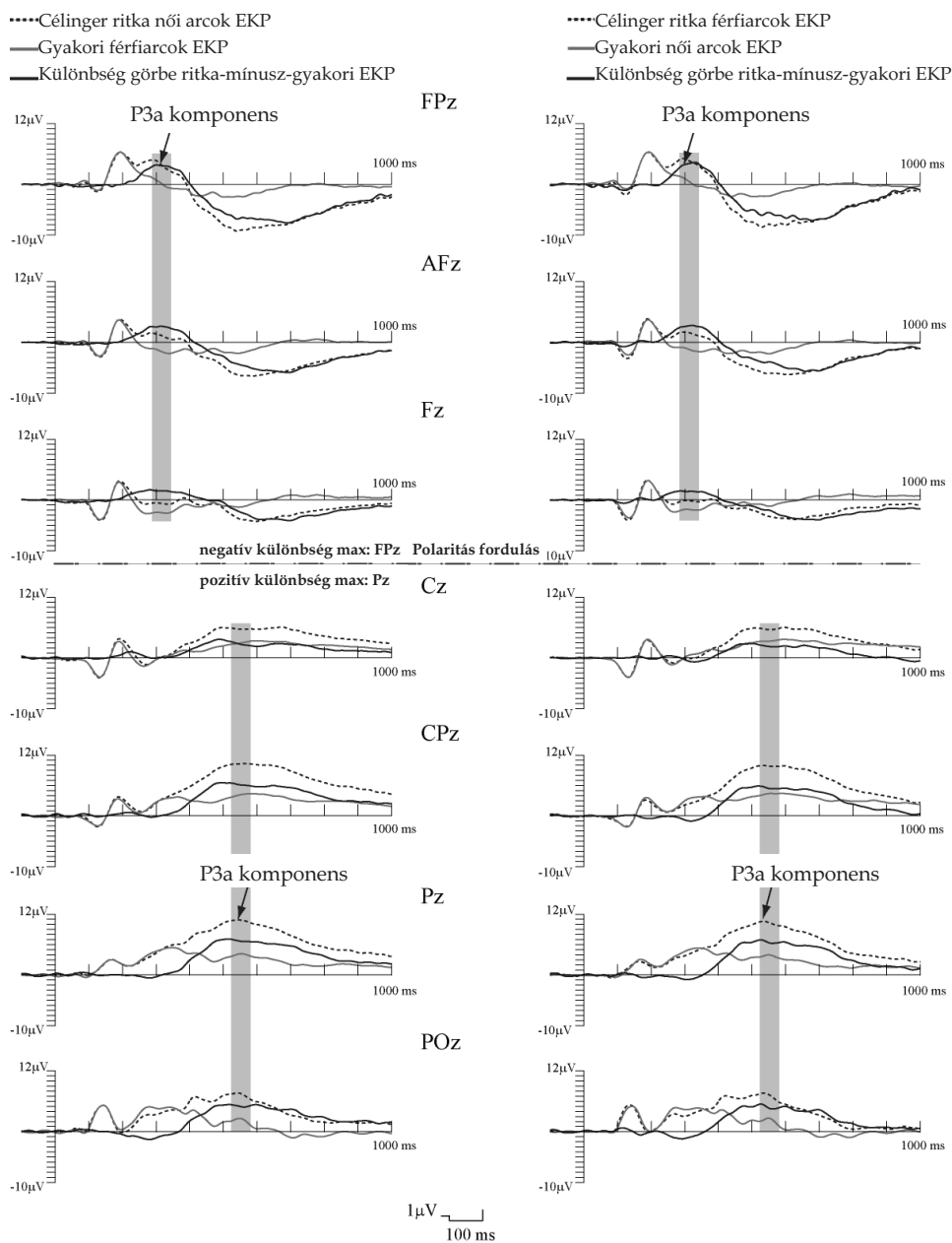
4. ábra. A ritka-mínusz-gyakori arcok különbségpotenciáljának skalpeloszlása 300 ms $\pm$ 20 adatpontos sávban. A hátulsó negativitások mindkét feltétel esetében vEN komponensként értelmezhetők. Ezzel egy időben látható az elülső P3a pozitív komponens megjelenése.

2. táblázat. Hátsó negatív különbség potenciált (ritka-mínusz-gyakori) képző EKP-k átlag amplitúdó értékei (μV) a két kísérleti feltételben. A standard hiba a zárójelben

Elvezetés	vEN		300 ms	
	Ritka férfi- arcok	Gyakori női arcok	Ritka női arcok	Gyakori férfi- arcok
P7	-5,14 (0,73)	-2,12 (0,70)	-5,19 (0,75)	-1,81 (0,70)
P8	-1,48 (1,06)	1,15 (0,98)	-1,90 (0,97)	1,52 (0,99)
PO7	-3,58 (0,84)	-0,66 (0,82)	-3,67 (0,78)	-0,15 (0,80)
PO8	-0,55 (1,12)	2,19 (1,15)	-0,79 (1,11)	2,47 (1,12)

P3a és P3b hullám: A célingerek detektálásához köthető agyi elektromos tevékenység kései széles hullámként jelent meg ~ 550 ms-os csúcslatenciával a középvonali területeken (5. ábra). A komponens maximális pozitivitást a parietális területek felett mutat, fronto-centrálisan a polaritás megfordul (negatív lassú hullám). A pozitivitás a célingerekre jellemző P3b, továbbá az elülső területek felett a negatív lassú hullámot megelőzi egy pozitivitás, a P3a komponens 290 ms-os csúcslatenciával. Külön elemzéseket végeztünk a hátsó és elülső területek esetében. A hátsó területek elemzésében a t-próba értékei alapján az alábbi rács szerepelt: C3, Cz, C4; CP3, CPz, CP4; P3, Pz, P4; PO3, POz és PO4 csatornák. A középvonali elvezetések (Centrális; Centro-parietális; Parietális és Parieto-okcipitális, melyek a varianciaanalízisben az Anterioritás 4 faktora) mellett egy-egy oldalsó csatorna is szerepelt (Lateralitás 3 faktora: Bal oldali, Középvonali és Jobb oldali). Az elülső területeken a rács kilenc elektródát tartalmazott (Fp1, Fpz, Fp2; AF3, AFz, AF4; F3, Fz, F4), melyben az Anterioritás faktor 3 sort, a Lateralitás faktor 3 oszlopot tartalmazott. Mindkét elemzés során a különbség maximuma 550 ms-os latenciával jelentkezett. A P3a komponens esetében az amplitúdóértékek sávtartományát 21 adatpont képezte a 270–310 ms latencia tartományban. A P3b komponens esetében az (összesen 51 adatpontot tartalmazó) 500–600 ms-os latencia tartományban számoltunk.

Az I. feltétel (női arc célinger): A P3a komponens esetében a ritka női arcok a frontális területeken a 270–310 ms latenciasávban szignifikánsan pozitívabb választ váltottak ki, mint a gyakori férfiarok (Inger főhatás [$F(1,13) = 38,81$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,74$], illetve Anterioritás főhatás [$F(2,26) = 60,27$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,82$]). P3b komponens 500–600 ms latenciasáv esetében: a célingerek szignifikánsan pozitívabb választ váltottak ki, mint a standard ingerek (Inger főhatás [$F(1,13) = 35,21$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,73$]). Az elülső elektródarácson végzett elemzés értelmében elmondható, hogy az ugyanezen latenciasávban mért amplitúdóértékek a célinger esetében szignifikánsan negatívabb aktivitást mutattak, mint a standard ingerek esetében (Inger főhatás [$F(1,13) = 16,37$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,55$]). *A II. feltétel: a célingereket az alacsony valószínűséggel megjelenő férfiarok alkották, melyre a kapott EKP-k eloszlása igen hasonló az előző feltételben szereplő ritka női arcok EKP-hoz.* A P3a komponens esetében szignifikánsan pozitívabb válasz látható a ritka arcok esetében az elülső területeken (Inger főhatás [$F(1,13) = 45,59$, $p < 0,001$,

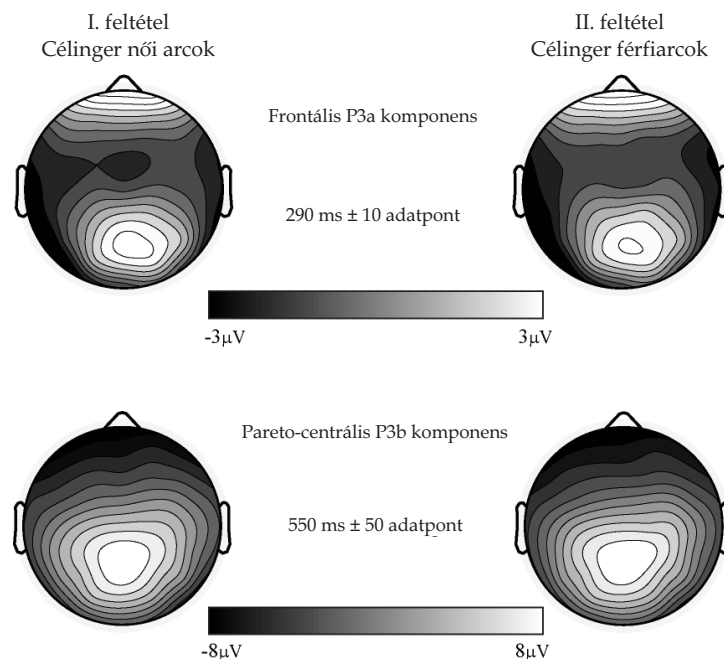


5. ábra. A két kísérleti feltétel EKP-i a középvonal elvezetések az első területektől hátrafelé. A szürkített sávok jelölik a frontális P3a komponens és a parietális P3b komponens megjelenését (az EKP görbék megjelenítő ábrák vertikális tengelye az ingerbemutatás kezdetét jelzi, míg a horizontális tengely az értékek alapvonalát jelöli).

3. táblázat. Az elülső (FPz elvezetésen) P3a komponens és a hátulsó (Pz elvezetésen) P3b komponens átlag amplitúdó értékei (μV) a két kísérleti feltételben. A standard hiba a zárójelben

	Férfi- arcok	Női arcok	Női arcok	Férfi- arcok
FPz csatorna				
P3a komponens	4,82	1,37	4,67	1,19
290 ms	(0,91)	(0,68)	(0,93)	(0,79)
Pz csatorna				
P3b komponens	10,32	3,84	10,80	4,08
550 ms	(1,28)	(0,65)	(1,30)	(0,75)

$\eta^2 = 0,77$], illetve Anterioritás főhatás [$F(2,26) = 58,45$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,81$]). Továbbá a célingerekhez tartozó kiváltott potenciálok szignifikánsan pozitívabbak az 500–600 ms latenciasávban a középilonali poszterio-centrális és poszterior területeken (Inger főhatás [$F(1,13) = 56,76$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,81$]), míg ugyanezen időben az elülső területeken szignifikánsan negatívabb EKP-t váltanak ki a gyakori női arcokhoz képest (Inger főhatás [$F(1,13) = 23,20$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,64$]). Amennyiben összehasonlítjuk a két feltétel célingereihez tartozó eloszlást, mind a P3a, mind a P3b komponens tekintetében (McCarthy és Wood, 1985), nem találunk szignifikáns különbséget köztük (6. ábra).



6. ábra. A két kísérleti feltételben megjelenő P3a (290 ms $\pm$ 10 adatpont) és P3b (550 ms $\pm$ 50 adatpont) komponensek skalpeloszlása

Diskusszió

Vizsgálatunk az arcok sajátosságainak feldolgozásával foglalkozott, így érdekesnek tartjuk, hogy bemutassuk, a vEN mögött álló mechanizmus az arc egyéb, kategóriajellegű sajátságaira is érzékeny. Több, az eseményhez kötött potenciál módszerével vizsgálódó tanulmány fő kutatási kérdései elsősorban az arcok automatikus feldolgozásának emocionális dimenziói köré csoportosultak, mint például Zhao és Li (2006) kutatásában, melyben egy akusztikus feladathelyzet során vizsgálták meg a feladattól független érzelmetli arckifejezések automatikus változásának detekcióját. Az érzelmet megjelölt arcok kategóriájának változására egy 300 ms-os latenciával jelentkező vEN-t regisztráltak. Ugyanakkor szükséges megjegyezni, hogy az arckifejezések fényképei csupán egy színésztől származtak. Ekképpen elképzelhető, hogy a regisztrált negatív különbség a gyakori és a ritka érzelmi arcok között csupán egy alacsony szintű ingersajátság változási hatás volt (hasonló eredmények és problémák egy másik tanulmányban: Susac, Ilmoniemi és mtsai, 2004). Astikainen és Hietanen (2009) kiküszöbölték e problémát, azaz több különböző személytől származó arckifejezést használtak. A szerzők eredményei értelmében 280–320 ms latenciasávban jelentkezett negatív különbség a ritkán és a gyakran megjelenő érzelmi arcok kategóriája között. Stefanics, Csukly és munkatársai (2012b) az érzelmi kategória változásra érzékeny komponens mellett (vEN 250–350 ms közötti latencia tartományban) féltekei oldal különbségeket találtak a pozitív és negatív arckifejezések feldolgozásának folyamatai során (az ijedt arcok jobb oldali, míg a boldog arcok inkább bal oldali eloszlású válaszokat váltottak ki).

A kísérleti elrendezés megtervezése során kizártuk az alacsony szintű ingersajátság változás hatását a kategorizációs folyamatokra (képről képre más-más arcot mutattunk). Ugyanakkor különbséget találtunk a ritka és a gyakori arcok által kiváltott korai komponensekben (a célinger férfiarcok P1 csúcs amplitúdója, illetve a célinger női arcok N170 csúcs amplitúdója nagyobb volt, mint a gyakori arcoké). Ekképpen valószínűsíthető, hogy e korai különbség az ingersajátsághoz köthető fizikai változásokat tükrözheti. A korai komponensek ugyanakkor nem kötődnek a perceptuális kategorizációs folyamatokhoz és a reprezentált kategóriák változásaihoz, mivel a különbség nem jelent meg konzekvensen mindkét feltételben. Továbbá ismeretes, hogy az arcok strukturális kódolásának idegi megfelelői ezen korai komponensek (P1 kapcsán: Dering, Martin és mtsai, 2011; N170 kapcsán: Bentin, Allison és mtsai, 1996). Ugyanakkor a fizikai különbségekből adódó eltéréseknek nem volt hatása a későbbi – 300 ms utáni – nemi diszkriminációs folyamatokra, azaz a vEN folyamatokban nemi kategorizációs változások lelhetők fel.

A kísérlet során figyelt kísérleti helyzetet alkalmaztunk, ily módon feltételeztük a P3 komponens család megjelenését. A bemutatott ingerszekvencia váratlan, újszerű ingerei (20% valószínűséggel megjelenő férfiarcok a gyakori női arcok között, illetve ritka női arcok a gyakori férfiarcok között) frontális P3a komponens kiváltását idézték elő (290 ms latenciával). Továbbá a feladat jellegéből adódóan (ritka nemi kategória azonosítása) elvártuk a P3b komponens megjelenését is,

mely az ingerek feladatfüggőségével hozható kapcsolatba. Megállapíthatjuk, hogy a P3 hullámok megjelenése összefüggésben van az arcok felismerésével, nemi kategóriájuk azonosításával, illetve az ezzel kapcsolatos döntéssel (válasz gombnyomás). Desmedt és Debecker (1979) szerint a P3 komponens funkciója szerint a perceptuális döntéshozatali folyamatok lezárását tükröző agyi aktivitás. Tulajdonképpen a célinger kategorizációja kapcsán végbemenő diszkriminációs mechanizmusokat írja le, melyek már függetlenek az ingerek fizikai sajátosságaitól (Desmedt és Debecker, 1979). A P3b összetevő megjelenését kapcsolatba hozzák magával a perceptuális folyamatok befejeződésével (pl. Verleger, 1988), a perceptuális folyamatok befejezését követő emlékezeti frissítéssel (Donchin, 1981), így avval az információfeldolgozási szakasszal, melyen a döntés alapul. A lehetőségek bármelyike értelmében jelen kísérletben a P3b megjelenése az arcok feladatfüggő (mondhatjuk figyelmi kontroll alatt álló) kategorizációjának mutatója. A késői pozitív együttes számos kísérleti paradigmában vizsgálható. Eredményeink azt mutatják, hogy a legtöbb vizsgálatban alkalmazott egyszerű ingerek (pl. geometriai ábrák, színes foltok, szinuszhangok) mellett a gyakorlati felhasználásban érdekesebb a résztvevőket jobban motiváló ingeranyag használata. Ahogy eredményeink mutatják, az ilyen ingeranyag előnye, hogy komplexebb, több változós statisztika nélkül is lehetővé teszi a két (P3a, P3b) komponens azonosítását, így mind a frontális, mind pedig a hátsó területekhez kötődő folyamatok vizsgálatát. Ehhez hozzájárulhat az arcok észlelésének evolúciósan kialakult fontossága.

Mint említettük, az arcok nemi jellegének feldolgozásával csak igen kevés számú tanulmány foglalkozik. Az első témájában releváns kutatás Campanella és munkatársai (2001) nevéhez fűződik. A viselkedéses kísérlet során egy késleltetett összemérési feladatban kellett döntést hozni morfolált arcpárokról. A kísérleti személyek jobban teljesítettek, amennyiben a *nemek között* és nem pedig *nemen belül* kellett diszkriminálni az arcpárok között, még abban az esetben is, ha a morfolás szintje megegyezett (Campanella, Chrysochoos, Bruyer, 2001).⁴ Az arcok nemi diszkriminációjának EKP korrelátumait vizsgálta Mouchetant-Rostaing, Giard és munkatársai (2000). Kísérletük során a nemi kategóriákat, illetve a kísérleti feladatot szisztematikusan változtatták. Fő eredményük szerint a nemek közötti diszkrimináció automatikus folyamat, mely eltér a strukturális kódolás szakaszától (későbbi EKP hullámot regisztráltak, mint az N170). Ezen adatok alapján valószínűsítettük saját kísérleti eredményeinket, azaz a jelen kísérletünkben az alacsony valószínűséggel megjelenő ritka nemi kategóriájú arcok eltérő agyi elektromos

⁴ A morfolási technika fokozatos egymásba alakítást jelent, mely során kiválasztunk egy-egy női és/vagy férfiarcot. Meghatározzunk a legfontosabb pontokat az arcokon (szem, orr, száj, illetve ezek távolságát egymáshoz képest), majd egy számítógépes szoftver segítségével (pl. WinMorph) száz lépésben egymásba transzformáljuk őket. Ekképpen hozhatunk létre pl. 40%-ban férfi és 60%-ban női arcot, vagy összemorfolhatunk 30%-70%-os arányban két különböző női arcot. A szoftverek által használt algoritmus részleteiről lásd: Beier és Neely (1992). A morfolási technika használata lehetővé tenné, hogy az automatikus változást detektáló rendszer érzékenységét teszteljük a nemek kategóriáján belül és között is. Jelen kutatás azonban nem alkalmas a prototípus hatás mérésére, azaz nem állapítható meg, hogy melyek a „jó” és „kevésbé jó” képviselői a kategóriának.

potenciált váltottak ki, mint a szekvencia gyakori képviselői. Ezen eltérő agyi kiváltott válasz a vizuális eltérési negativitás volt (lásd Czigler, Winkler és Balázs, 2002a), melyet kategóriafüggetlen vEN-ként értelmezhetünk (összefoglaló, Czigler, 2014). Az elemi szenzoros emlékezeti folyamatokon kívül magasabb rendű perceptuális kategorizációs folyamatokról is beszélhetünk, hiszen a vEN háttérben álló emlékezeti rendszer képes kódolni az arcok nemi kategóriáját is. Az arcok mint komplex ingerek egyéni tulajdonságainak felismerése, majd a közös jegyek alapján a nemi kategóriák reprezentálása megtörtént. A ritka nemi arcok megsértik a szekvenciálisan bemutatott ellenkező nemű arcok kategóriájának szabályát, ekképpen egy „hiba jelzést” azaz vEN-t regisztrálhattuk.

Jelen kísérleti eredmények összecsengnek a korábban említett hasonló kiváltott potenciál kutatások eredményeivel, melyek az arcok emocionális kategóriájára összpontosítottak (Zhao és Li, 2006; Astikainen és Hietanen, 2009; Stefanics, Csukly és mtsai, 2012b). Mivel a regisztrált kategória változásra érzékeny komponens (vEN) 300 ms különbségi maximummal jelentkezett, mindenképpen a strukturális kódolás egységétől eltérő folyamatokról beszélhetünk. Az N170 komponens következetesen megjelent a használt kísérleti feltételekben, ekképpen elmondható, hogy a strukturális kódolás sikeresen lezajlott. Ugyanakkor sem a P1, sem az N170 komponens nem érzékeny az arcok nemi kategorizációs információjának feldolgozására. Egy időben és funkcióban is elkülönült feldolgozó egység állhat a nemi információ feldolgozás háttérben, mely vagy valamilyen már ismert egység (pl. érzelmi feldolgozó) párhuzamos részfeladatát látja el, vagy egy speciális egység felelős a nem automatikus detektálásáért. Ezen kérdés megválaszolása további kutatásokat igényel (pl. erőteljes érzelmeket kifejező különböző férfi- és női arcok bemutatása).

Jelen kísérleti eredményeink kiegészítik egy korábbi tanulmányunkat, melyben az arcok nem figyelt, ún. passzív feldolgozásának folyamatait vizsgáltuk (Kecskés-Kovács, Sulykos és Czigler, 2013b). A kísérlet során az arcokat a háttérben mutattuk be, az előtérben pedig egyszerű reakcióidő (RI) feladatot. Az eredményeink értelmében elmondható, hogy a feladattól független arcok automatikus kódolása megtörtént. Továbbá a sorozatosan megjelenő, fizikailag különböző arcok egy közös kategóriába rendeződtek, azaz a két nem kategóriája is reprezentálódott. Ezenfelül megjelent a kategóriák váltásakor egy negatív különbségi komponens (vEN) hátulsó eloszlással és 350 ms különbség maximummal. A két kísérlet vEN komponensét összehasonlítva (jelen figyelt vEN-t 300 ms latenciával és közel $-4 \mu V$ csúcs-amplitúdóval regisztráltuk, míg a passzív kísérlet vEN komponense 350 ms latenciával és $-1 \mu V$ csúcs-amplitúdóval jelent meg) nem találtunk eltérést a két komponens eloszlása között (McCarty és Wood, 1985). Ekképpen elmondható, hogy az arcok nemi információja automatikusan kódolódik – figyelemtől függetlenül is (figyelt helyzetben korábbi és nagyobb amplitúdóval jelentkezett a komponens). Következésképpen, egy általánosabb feldolgozó rendszer folyamatai állhatnak a háttérben.

Eredményeink értelmében elmondható, hogy a vEN komponens megjelenése – melyet a ritka nemi kategóriájú arcok megjelenése váltott ki – bizonyossá teszi,

hogy a hátsó vizuális agyi területek képesek automatikusan regisztrálni a nemi információt és detektálni a szekvenciális szabályszerűségeket a megjelenő arc-
ingerek mentén.

IRODALOM

- Astikainen, P., Lillstrang, E., Ruusuvirta, T. (2008): Visual mismatch negativity for change in orientation a sensory memory-dependent response. *European Journal of Neuroscience*, 28, 2319–2324.
- Astikainen, P., Hietanen, J. K. (2009): Event-related potentials to task-irrelevant changes in facial expressions. *Behavioral and Brain Functions*, 5, 30.
- Athanasopoulos, P., Dering, B., Wigget, A., Kuipers, J. R., Thierry, G. (2010): Perceptual shift in bilingualism: Brain potentials reveal plasticity in pre-attentive colour perception. *Cognition*, 116, 437–443.
- Beier, T., Neely, S. (1992): Feature-based image metamorphosis. In: Proceedings of SIGGRAPH'92. ACM, New York. *Computer Graphics*, 26, 35–42.
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., McCarthy, G. (1996): Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(6), 551–565.
- Bruce, V., Young, A. (1986): Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77, 305–327.
- Campanella, S., Chrysochoos, A., Bruyer, R. (2001): Categorical perception of facial gender information: Behavioural evidence and face-space metaphor. *Visual Cognition*, 8, 237–262.
- Czigler István, Winkler István, Balázs László (2002a): Automatikus változásdetekció a látásban. In: Czigler I., Halász L., Marton L. M. (szerk.), *Az általánostól a különöségig*. Gondolat Kiadó, MTA Pszichológiai Kutatóintézete, 132–148.
- Czigler, I., Balázs, L., Winkler, I. (2002b): Memory-based detection of task-irrelevant visual changes. *Psychophysiology*, 39, 869–873.
- Czigler, I. (2007): Visual mismatch negativity: Violating of nonattended environmental regularities. *Journal of Psychophysiology*, 21, 224–230.
- Czigler, I. (2014): Visual mismatch negativity and categorization. *Brain Topography*, 1–9.
- Dering, B., Martin, C. D., Moro, S., Pegna, A. J., Thierry, G. (2011): Face-sensitive processes one hundred milliseconds after picture onset. *Front. Hum. Neurosci*, 5, 93.
- Desmedt, J. E., Debecker, J. (1979): Wave form and neural mechanisms of decision P350 elicited without pre-stimulus CNV or readiness potential in random sequence of near-threshold auditory clicks and finger stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 47, 648–670.
- Donchin, E. (1981): Surprise! Surprise? *Psychophysiology*, 18, 493–513.
- Heslenfeld, D. J. (2003): Visual mismatch negativity. In: J. Polich (ed.), *Detection of change: Event-related potential and fMRI findings*. Kluwer Academic Press, Boston, 41–59.
- Kecskés-Kovács, Krisztina, Sulykos, István, Czigler, István (2013a): Visual mismatch negativity is sensitive to symmetry as a perceptual category. *European Journal of Neuroscience*, 37, 662–667.
- Kecskés-Kovács, Krisztina, Sulykos, István, Czigler, István (2013b): Is it a face of a woman or a man? Visual mismatch negativity is sensitive to gender category. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7.
- Kimura, M. (2011): Visual mismatch negativity and unintentional temporal-context-based prediction in vision. *International Journal of Psychophysiology*, 83, 144–155.
- Kovács Gyula (2008): Az arcpercepció és arcadaptáció elektrofiziológiája. *Magyar Pszichológiai Szemle*, 63, 9–17.
- Luck, S. J. (2005): *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, MA: The MIT Press, 42–45.
- McCarthy, G., Wood, C. C. (1985): Scalp distributions of event-related potentials: An ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62, 203–208.
- Molnár Márk (1992): A központi idegrendszer egyes részeinek szerepe a P300 kiváltott potenciál-összetevő genesisében. *Pszichológia*, 12, 91–123.

- Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Bentin, S., Aguera, P. E., Pernier, J. (2000): Neurophysiological correlates of face gender processing in humans. *European Journal of Neuroscience*, 12, 303–310.
- Pazo-Alvarez, P., Amenedo, E., Cadaveira, F. (2004): Automatic detection of motion direction changes in the human brain. *European Journal of Neuroscience*, 19, 1978–1986.
- Polich, J. (2007): Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neuropsychology*, 118, 2128–2148.
- Polich, J., Kok, A. (1995): Cognitive and biological determinants of P300: An integrative review. *Biological Psychology*, 41, 103–146.
- Stefanics, G., Czigler, I. (2012a): Automatic prediction error responses to hands with unexpected laterality: An electrophysiological study. *Neuroimage*, 63, 253–261.
- Stefanics, G., Csukly, G., Komlósi, S., Czobor, P., Czigler, I. (2012b): Processing of unattended facial emotions: A visual mismatch negativity study. *Neuroimage*, 59, 3042–3049.
- Susac, A., Ilmoniemi, R. J., Pihko, E., Supek, S. (2004): Neurodynamic studies on emotional and inverted faces in an oddball paradigm. *Brain Topography*, 16, 265–268.
- Verleger, R. (1988): Event-related potentials and cognition: A critique of context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioral Brain Science*, 11, 343–356.
- Zhao, L., Li, J. (2006): Visual mismatch negativity elicited by facial expressions under non-attentional condition. *Neuroscience Letters*, 410, 126–131.

Krisztina Kecskés-Kovács, István Czigler

EVENT-RELATED POTENTIALS CORRELATES OF GENDER FACE DISCRIMINATION PROCESSES

Face recognition is a fundamental perceptual function. We investigated whether the sensory system is capable of encoding changing of gender face categories. In an active oddball paradigm event-related potentials (ERPs) were recorded, particularly the visual mismatch negativity (vMMN). Participants ($n=14$) were instructed to identify the rare ($p = 0.2$) gender category and to respond with button press. The successive stimuli were never physically identical. Face stimuli elicited N170 component, i.e. the face-related component. Additionally, the infrequent faces evoked parieto-occipital negativity with 300 ms peak latency, relative to the frequent faces. This component is considered as a valid vMMN that is generated by automatic detection of gender category change. Furthermore, the appearance of P3 family (frontal P3a ~290 ms peak latency and parietal P3b ~550 ms peak latency) reflects attentional and perceptual categorization processes. No significant difference appeared between the responses to female and male target stimuli. The pattern of results is interpreted as evidence for the comparison of the representation of the regularly (standard) and irregularly (deviant) presented gender categories. In conclusion, we found robust ability of discrimination between gender face categories.

Keywords: gender categorization, face recognition, visual mismatch negativity, event-related potentials, automatic change detection, oddball paradigm



Is it a face of a woman or a man? Visual mismatch negativity is sensitive to gender category

Krisztina Kecskés-Kovács^{1,2*}, István Sulykos^{1,3} and István Czigler^{1,3}

¹ Experimental Psychology, Research Centre for Natural Sciences, Institute of Cognitive Neuroscience and Psychology, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary

² Department of Experimental Psychology, Institute of Psychology, University of Debrecen, Debrecen, Hungary

³ Department of Cognitive psychology, Institute of Psychology, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

Edited by:

Piia Astikainen, University of Jyväskylä, Finland

Reviewed by:

George Stothart, University of Bristol, UK

Kairi Kreegipuu, University of Tartu, Estonia

*Correspondence:

Krisztina Kecskés-Kovács, Research Centre for Natural Sciences, Institute of Cognitive Neuroscience and Psychology, Hungarian Academy of Sciences, Pusztaszeri str. 59-67, 1394 Budapest, PO Box 398, Hungary
e-mail: kecskes.kovacs.krisztina@ttk.mta.hu

The present study investigated whether gender information for human faces was represented by the predictive mechanism indexed by the visual mismatch negativity (vMMN) event-related brain potential (ERP). While participants performed a continuous size-change-detection task, random sequences of cropped faces were presented in the background, in an oddball setting: either various female faces were presented infrequently among various male faces, or vice versa. In Experiment 1 the inter-stimulus-interval (ISI) was 400 ms, while in Experiment 2 the ISI was 2250 ms. The ISI difference had only a small effect on the P1 component, however the subsequent negativity (N1/N170) was larger and more widely distributed at longer ISI, showing different aspects of stimulus processing. As deviant-minus-standard ERP difference, a parieto-occipital negativity (vMMN) emerged in the 200–500 ms latency range (~350 ms peak latency in both experiments). We argue that regularity of gender on the photographs is automatically registered, and the violation of the gender category is reflected by the vMMN. In conclusion the results can be interpreted as evidence for the automatic activity of a predictive brain mechanism, in case of an ecologically valid category.

Keywords: event-related potential (ERP), gender, perceptual categorization, automatic change detection, facial processing, visual mismatch negativity (vMMN), passive oddball paradigm

INTRODUCTION

In social interactions of everyday life face recognition is a fundamental function. The human perceptual system can identify categorical attributes of faces, e.g., female, male, happy, fearful, unfamiliar, familiar, etc. Research on face perception concentrated on active, attended paradigms, while contrarily face perception is associated with automatic processes. In our study we were interested in the automaticity of category-formation, more specifically discrimination of female and male faces. On this end we examined this issue using event-related potentials (ERPs), particularly the visual mismatch negativity (vMMN) component. This component is sensitive to registration of environmental regularities and environmental changes even if the visual stimuli are not connected to the attended events, i.e., vMMN is an index of mismatch between the representation of the regularities and the deviant event, without the involvement of attentional processing. VMMN is considered as an error signal to the discrepancy between the expected and actual stimulation (Kimura, 2011; Winkler and Czigler, 2012). VMMN is usually investigated using passive oddball paradigms. In such paradigms, a frequently presented type of stimuli (standard) acquires the representation of regularity, and another, infrequently presented type of stimuli (deviant) violates this regularity. The difference between the ERPs to the deviant and standard is the vMMN component. VMMN is

elicited by events physically different from the regular members of stimulus sequences (e.g., color, Czigler et al., 2002; orientation, Astikainen et al., 2008; spatial frequencies, Heslenfeld, 2003; movement, Pazo-Alvarez et al., 2004). Results of a number of studies provide evidence that the sensitivity of vMMN is not restricted to the detection of infrequent changes of elementary features; vMMN is elicited by deviant sequential relationships (Kimura et al., 2011), and the conjunction of visual deviant features (Winkler et al., 2005). Furthermore, it has been shown that the system underlying vMMN is sensitive to perceptual categorization in the color domain (Athanasopoulos et al., 2010; Clifford et al., 2010; Mo et al., 2011), and in Gestalt organization, like vertical symmetry (Kecskés-Kovács et al., 2013), and laterality of human hands as a category (Stefanics and Czigler, 2012).

Before we introduce the main question and procedure of the current study, it is worth to mention some of potentially relevant characteristics of face recognition. The influential functional model of facial processing, developed by Bruce and Young (1986) suggested several face processing units. Among these units the structural encoding module is especially prominent in the context of the present study. This module configures the representation and description of the faces. A well-investigated ERP correlate of the structural encoder is a negative ERP component with 170 ms post-stimulus latency (N170) that reflects the neural mechanisms of face detection (for a review see Bentin et al., 1996).

Concerning the categorical aspects of facial processing, in vMMN studies so far only emotional expressions were

Abbreviations: ANOVA, analysis of variance; ERP, event-related potential; vMMN, visual mismatch negativity; ISI, inter-stimulus-interval.

investigated (Zhao and Li, 2006; Astikainen and Hietanen, 2009; Stefanics et al., 2012). Zhao and Li (2006), in a modified cross-modal delayed response paradigm where participants performed an acoustic tone discrimination task and ignored the face stimuli (neutral standards vs. happy or sad deviants), obtained vMMN to emotional deviants in an earlier (110–120 ms) and a later (~300 ms) latency range. In this study the negative difference was termed as expression mismatch negativity (EMMN). However, in this experiment the different facial expressions were produced by a single actor (the various emotions were produced by only one person). Therefore, it is possible that the ERP difference was due to low-level feature changes. Similarly, in another study (Susac et al., 2004) the facial emotions were expressed by a single actor. The possibility of low-level visual effects was eliminated by Astikainen and Hietanen (2009). In their study emotions were presented by different actors. In this study the passive oddball paradigm and the task-related events were in the auditory modality. The ERPs to the deviant face stimuli (happy vs. fearful) were more negative in an earlier (140–160 ms) and in a later (280–320 ms) latency range. Astikainen et al. regarded the second vMMN as the relevant index of emotional change detection. The authors suggested that in an earlier latency range (140–160 ms) deviant-related negativity was a consequence of the change of the face-related N170 ERP component.

In a passive oddball paradigm Stefanics et al. (2012) introduced a visual detection task at the center of the visual field with a fixation cross. The vMMN-related face stimuli were presented parafoveally. They observed deviant-related negativities in two latency ranges (150–220 and 250–360 ms). Furthermore, they found different hemispheric lateralization for the positive and negative automatic emotional processes (fearful-right, happy-left hemisphere).

In the majority of studies face identity varied within sequences, consequently at the level of elementary visual features different cell populations were stimulated. Therefore, stimulus variability decreased the possibility of stimulus-specific refractoriness of exogenous activity (May and Tiitinen, 2010). However, the similar latency (Astikainen and Hietanen, 2009) and the decreased effect in an equal probability control (Li et al., 2012) indicates, refractoriness of higher order processing structures, specific to face processing may be involved in the early sub-component of emotion-related vMMN¹. However, the later negative effect (in the 250–360 ms range) seems to be a valid genuine vMMN. On the basis of the results of vMMN studies with facial stimuli we expected a similar latency range for the gender-related deviant-minus-standard difference potentials. This vMMN component would reflect the higher level of the automatic change detection that is related to facial gender categories.

¹The term of N1/N170 is an indication that visual stimuli in general elicit a posterior negative exogenous component. However, this negativity is usually larger when the facial stimuli were presented. Therefore, the negative peak can be considered as an aggregate of the N1 component and a putative face-related activity. The equal probability control refers to a method that was developed by Schröger and Wolff (1996). Two aspects are prominent in the control design: 1, the control and deviant stimuli are presented with same features and probabilities; 2, the control sequence is without a sequential regularity rule (Schröger and Wolff, 1996; Jacobsen and Schröger, 2001).

Gender-related categorical perception was investigated less frequently than the emotional categories. In their behavioral study, Campanella et al. (2001) examined the processes of gender perception in a delayed matching task with morphed unfamiliar face pairs. They found a morphing main effect (the participants identified gender easily if the distance of morph was large between pictures). Additionally, and more interestingly, it was easier to discriminate between-gender pairs than within-gender pairs, even if the morphing differences were identical.

In a second relevant study Mouchetant-Rostaing et al. (2000) recorded three types of gender-processing. In the first condition all faces were identical gender (female vs. male—preventing gender discrimination). In the second condition, both types of gender were presented, but gender itself was irrelevant for the participant's task. The third condition was an explicit gender discrimination task. The main finding was that gender processes are different from the structural encoding of faces (N170). Gender categorization effect was observed (in the second and third conditions) in the later epoch range (200–250 ms) which might reflect more general gender categorization processes. As results of ERP data suggests, it seems that representation and encoding of gender information on the face is automatic.

In the present study, we investigated whether gender category was capable of eliciting vMMN, when male faces as deviants were presented in a sequence of female faces and *vice versa*.

EXPERIMENT 1

MATERIALS AND METHODS

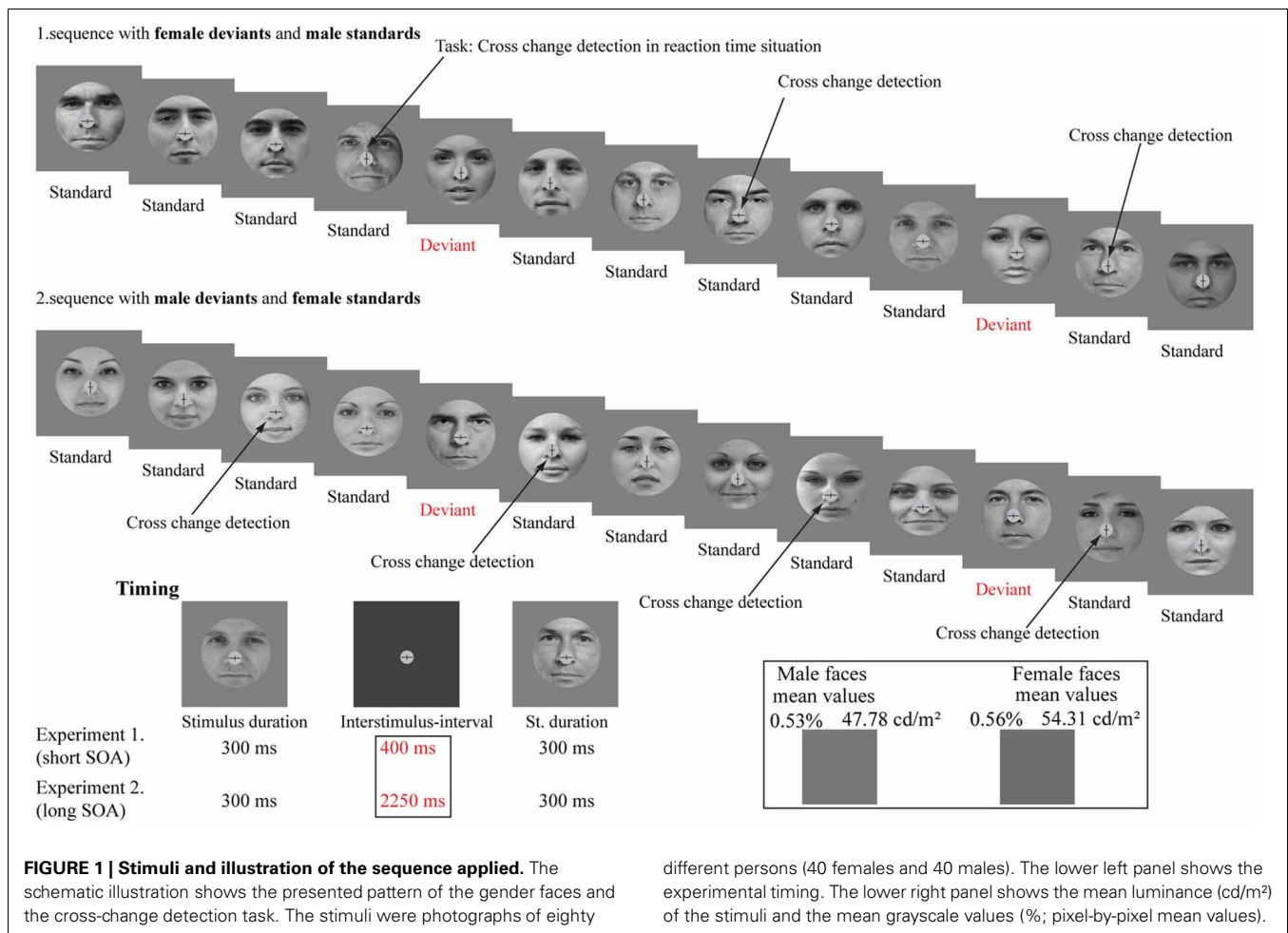
Participants

Participants were 14 healthy adults [6 women; mean age = 21.16 years, standard deviation (SD) = 1.52 years]. They had normal or corrected-to-normal vision. Written informed consent was obtained from every participant before the experimental procedure. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and accepted by the United Committee of Ethics of the Psychology Institutes in Hungary.

Stimuli

The stimuli were 80 cropped faces with neutral expression, 40 from each gender taken from public internet databases (from internet database: www.findaface.ch, we attempted to avoid pictures with emotional experiences, i.e., the photographs were “college yearbook” types). Using Photoshop (CS4) software, black and white pictures were created with a specific cropping (the size of the cropping mask was 1024 × 1024 pixels i.e., 12.9°)².

²In a control experiment we assessed the gender-related discriminability of the stimuli. It was an active two-stimulus oddball paradigm (active attending) with the infrequent stimuli as target. The sequences were similar to the vMMN sequences, the participants ($n = 14$) were instructed to identify the rare gender category and to respond with button press. We measured RT response and accuracy. Before each block (the block order was randomized) the participants were informed about the current target category (female or male). According to the results, the hit rate was over 80% (mean hit rate of targets = 98.21%, SD = 3.61%). Median reaction time was 504.16 ms (SD = 65.52 ms). There was no difference between male and female target stimuli. Therefore, we concluded that the two faces were valid and discriminable members of the two categories. However, it must be noted that the experiment design used



Stimulus duration was 300 ms and the inter-stimulus-interval (ISI; i.e., non-stimulated interval) was 400 ms (see **Figure 1**).

The background was gray (36.67 cd/m²). The mean luminance of female faces was 54.31 cd/m² ($SE = 2.0$ cd/m²). Male faces were presented with 47.78 cd/m² mean luminance value ($SE = 2.0$ cd/m²). Stimuli appeared on a 17" monitor (Samsung SyncMaster 740B, 60-Hz refresh rate) from a 1.2 m viewing distance in a dimly lit and soundproof room.

did not make it possible to examine prototype effect (good and worse members of the categories). Therefore, it is conceivable that if we had used only prototype faces, the vMMN effect would have been more prominent. In a subsequent study by using morphing methods (e.g., 50% female and 50% male or 20% male and 80% female etc.) we could examine the sensitivity of vMMN to within category or between category effects. Finally, to ensure the neutral ecological validity of our stimuli, we ran a control behavioral experiment. It was a three-alternative forced-choice task. The participants ($n = 14$) were instructed to judge emotional expressions of faces on the basis of the following categories: negative facial expression (1st value), neutral facial expression (2nd value) or positive facial expression (3rd value). According to the results, the mean score of male faces was 2.04 ($SD = 0.53$) and the average score of female faces was 2.26 ($SD = 0.50$). We consider the emotional expression of faces were counterbalanced between two face categories i.e., we measured no emotional-related vMMN. Therefore, the difference between the ERPs to the deviant and standard would be a valid gender effect.

The probability of frequent stimuli (standard) was 0.8% and the probability of infrequent stimuli (deviant) was 0.2%. We applied two conditions (female deviant and male deviant). In one of the conditions female faces were the frequent (standard) and male faces were the infrequent (deviant) stimuli. In the other condition these probabilities were reversed. There were 600 stimuli (480 standards and 120 deviants) in a condition. The order of presentation of conditions was counterbalanced across participants. The number of consecutive standards was changed in pseudo random order from two to nine. The successive stimuli were never physically identical.

Task

Participants performed a simple reaction time (RT) task. The center of the screen was the task-field, which included a gray circle (0.81° with 36.67 cd/m²). The target was a dark cross (0.45 cd/m²), continuously presented at the center of the circle. The participants were instructed to detect the change of dark cross (the cross changed random between 5 and 15 s). The cross comprised of a shorter (0.37°) and a longer line (0.75°), and responses were required for each reversal of the size of the lines. Central fixation was required, and participants were asked to respond as quickly and as correctly as possible. The participants responded to the changes by pressing a button.

EEG measuring

EEG was recorded (DC–30 Hz, sampling rate 500 Hz; Synamps2 amplifier, NeuroScan recording system) with Ag/AgCl electrodes placed at 61 locations according to the extended 10–20 system using an elastic electrode cap (EasyCap). The right mastoid was used as reference, off-line re-referenced to average activity. Horizontal EOG was recorded with a bipolar configuration between electrodes positioned lateral to the outer canthi of the two eyes. Vertical eye movements were monitored with a bipolar montage between electrodes placed above and below the right eye. The EEG signal was band pass filtered offline, with cutoff frequencies of 0.1 and 30 Hz (24 dB slope). Epochs of 800 ms duration (including a 100 ms pre-stimulus interval) were extracted for each event and averaged separately for standard and deviant stimuli (from the two conditions female and male deviants). The mean voltage during the 100 ms pre-stimulus interval was used as the baseline for amplitude measurements, and epochs with an amplitude change exceeding $\pm 70 \mu\text{V}$ on any channel were rejected from further analysis.

Only responses from the third to ninth standard after a deviant were included in the standard-related ERPs. To identify change-related activities, ERPs from standard stimuli were subtracted from ERPs from deviant stimuli of the respective condition.

Analyses and comparisons

As the results of the majority of vMMN studies suggest, we expected the emergence of deviant-*minus*-standard difference over the posterior electrode locations. However, to reinforce this expectation, we defined a channel matrix on the basis of results of point-by-point *t*-tests (criterion: minimum 10 consecutive significant data points, i.e., 20 ms; see e.g., Guthrie and Buchwald, 1991) applied on the whole scalp location. The largest significant difference (deviant-*minus*-standard) appeared on the matrix of ten electrodes (P7, PO3, POz, PO4, P8, PO7, O1, Oz, O2, and PO8). This matrix consisted of two rows (factor of anteriority: anterior and posterior) and five columns (factor of laterality: left, left-middle, middle, right-middle, and right).

On the basis of previous face-related vMMN (e.g., Stefanics et al., 2012; face stimuli elicited vMMN-related negativity in 150–360 ms latency range) difference potentials as vMMN were identified from grand-average waveforms in the 202–498 ms range. In vMMN-related analyses of variance (ANOVAs) the mean amplitude values of this epoch were used.

Three-Way ANOVAs were introduced with factors of *Stimulus Type* (standard and deviant), *Anteriority* (anterior and posterior), and *Laterality* (left, left-middle, middle, right-middle, and right). Amplitude and peak latency values of the P1 and N1/N170 components were analyzed in similar ANOVAs. However, faces elicit a more negative response at lateral occipital electrode locations, especially over the right hemisphere (especially PO8 electrode and PO7, P7, P8; see Bentin et al., 1996, for a review).

When appropriate, Greenhouse-Geisser correction of the degrees of freedom was applied and the ϵ values are reported in the results. Significant effect's sizes were represented by the partial eta-squared. Furthermore, significant interactions were further specified by Tukey HSD *post-hoc* tests. Surface distributions were compared under method of the vector-scaled amplitude values

(McCarthy and Wood, 1985). Additionally, we calculated the mean amplitude value of two exogenous components (P1 and N1/N170) in a ± 20 ms epoch around the peak amplitude value of the group average. Moreover, rare deviant responses included both types (female and male) of visual events violating sequential regularities.

RESULTS

Behavioral results

The participants performed the primary task with hit rates over 80% (mean hit rate = 95.30%, $SD = 5.18\%$). The median RT was 485.5 ms ($SD = 125.00$ ms). There was no difference in performance between the conditions.

Event-related potentials

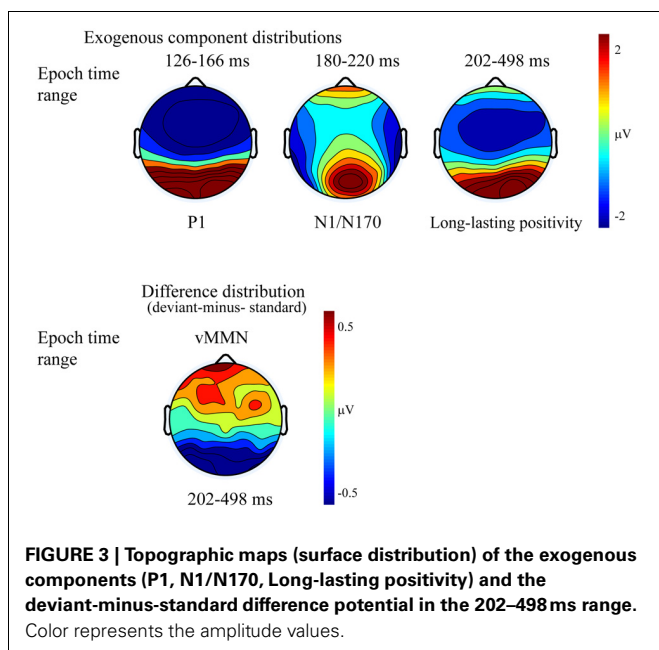
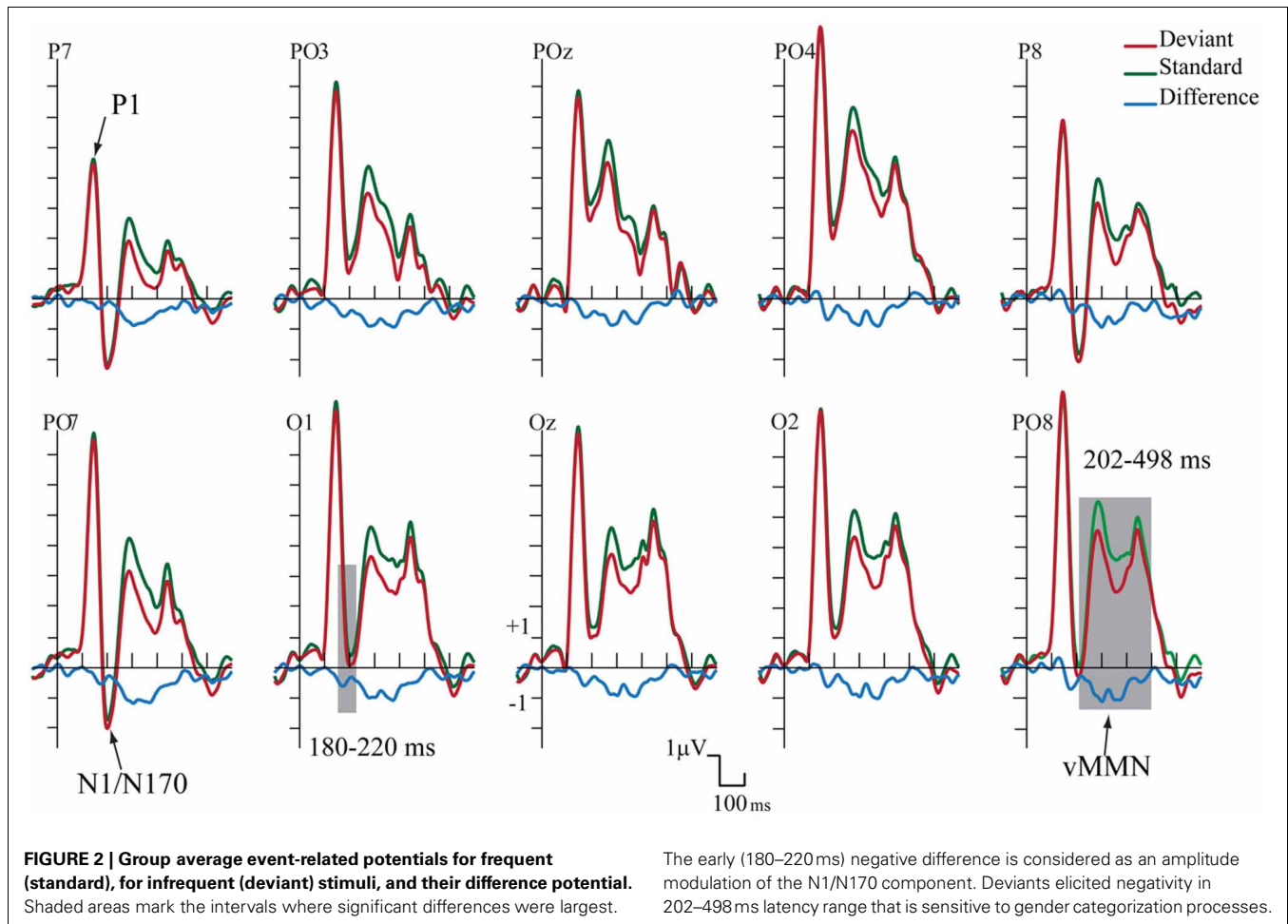
Figure 2 shows the ERPs to deviant and standard stimuli, and the deviant-*minus*-standard difference potentials. As Figure 2 shows, stimuli elicited a large positive component within the 126–166 ms range (P1) with amplitude maximum at the PO8 channel location (146 ms). We obtained no P1 amplitude and latency difference for frequent and infrequent stimuli. The P1 was followed by a small negative component in the 180–220 ms latency range (N1/N170), and a long-lasting positivity in the 202–498 ms range. Figure 3 (upper panel) shows the topographic maps of exogenous components to standard stimuli and the surface distribution of the deviant-*minus*-standard difference potentials in the 202–498 ms range. Furthermore, Table 1 shows the peak amplitude values of the P1 and N1/N170 components and the largest negative values of the difference potentials.

As Figure 2 shows in the 202–498 ms latency range the ERP to deviants was more negative than the ERP to standards.

On the basis of *t*-tests we obtained significant deviant-*minus*-standard difference within the 160–498 ms latency range. Due to the similarity of the earlier part of this range to the latency range of a negative epoch of the ERPs (N1/N170) and the dissimilarity of the later deviant-related negativity to the long-lasting ERP positivity, we conducted separate ANOVAs for earlier and later effects.

As for the P1 component, amplitudes (mean of the 126–166 ms range) were compared to deviant and standard stimuli. We obtained no significant difference. However, in the N1/N170 range (180–220 ms) the negativity was larger to deviant stimuli than standards. In the Three-Way ANOVA *Stimulus Type* and *Laterality* main effects were significant [$F_{(1, 13)} = 9.75$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.42$ and $F_{(4, 52)} = 14.84$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.53$, $\epsilon = 0.48$, respectively]. These significant effects indicate larger negative responses to deviant compared to standard gender face stimuli, and both type of stimuli elicited larger response at the lateral electrode locations than in the midline (PO7, P7 and PO8, P8). Finally, *Anteriority X Laterality* interaction [$F_{(4, 52)} = 14.03$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.51$, $\epsilon = 0.48$] was due to the larger negativity over the posterior locations in the extreme lateral locations. The latencies of P1 to standard and deviant stimuli were almost identical within the electrode matrix.

It is possible that, instead of the emergence of early memory mismatch effect (vMMN; Zhao and Li, 2006; Stefanics et al., 2012), the deviant-related negativity effect is an amplitude modulation of the N1/N170 component. For that reason we



compared the surface distribution of the N1/N170 to the standard stimuli and the distribution of early difference potential (deviant-minus-standard difference). On this end vector-scaled amplitude values (McCarthy and Wood, 1985) were used in an ANOVA with factors of *Component* (standard and difference potential), *Anteriority* and *Laterality*. In this analysis there were neither significant main effects of component [$F_{(1, 13)} = 0.22$, $p = 0.64$, $\eta^2 = 0.01$] nor interactions. Accordingly, we obtained no evidence of genuine mismatch activity in the earlier latency range, i.e., the early difference is an increased amplitude value of the N1/N170 component.

The deviant-related activity (vMMN) was analyzed in the 202–498 ms latency range. All main effects were significant, *Stimulus Type* main effect [$F_{(1, 13)} = 18.83$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.59$]; *Anteriority* main effect [$F_{(1, 13)} = 14.86$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.53$]; and *Laterality* main effect [$F_{(4, 52)} = 43.84$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.50$, $\epsilon = 0.59$, respectively]. We consider the significant difference between deviant and standard as vMMN component. Furthermore, the interaction of *Anteriority* and *Laterality* was also significant [$F_{(4, 52)} = 11.09$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.46$, $\epsilon = 0.73$], showing that ERPs were larger over the posterior, extreme right locations.

Table 1 | Mean amplitude values (μV) and mean latency values (ms) of the event-related potentials to standard and deviant face stimuli (Standard error of the mean in parenthesis).

	P1 126–166 ms		N170 180–220 ms		vMMN 202–498 ms
	Standard	Deviant	Standard	Deviant	Deviant- <i>minus</i> -Standard
PO7 Amplitude values	6.75 (0.48)	6.52 (0.41)	−1.17 (1.35)	−1.53 (1.33)	−0.76 (0.15)
PO7 Latency values	146 (1.49)	145 (1.43)	205 (5.22)	209 (5.49)	347 (6.95)
PO8 Amplitude values	8.06 (0.81)	8.06 (0.82)	0.67 (1.12)	0.19 (1.20)	−0.63 (0.18)
PO8 Latency values	146 (1.09)	145 (1.83)	203 (4.14)	202 (4.30)	358 (6.44)

DISCUSSION

Experiment 1 demonstrated that the face stimuli elicited two ERP components in the earlier latency range (up to 220 ms). The large P1 component was insensitive to the probability of genders. Faces elicited an N1/N170 component, however the negativity had small amplitude. More importantly, we recorded more negative responses to rare (deviant) stimuli than to standard stimuli although this difference (deviant-*minus*-standard) can be an amplitude modulation of the N1/N170 component.

The ISI of Experiment 1 was shorter (400 ms) than the ISI of the typical studies of reported fairly large N170. The short ISI might contribute to the attenuated exogenous activity (e.g., Czigler, 1979; Liu et al., 2010). On the one hand, considering the N170 component as an index of the structural encoding of faces (c.f. Bentin et al., 1996), it is possible that the repeated presentation of the structural features characteristic to a gender (male or female) may saturate the processes underlying this component, therefore, as mentioned above, the early deviant-*minus*-standard difference effect was a manifestation of the refractoriness of the face-specific activity. On the other hand, in this experiment genders were effectively discriminated, and considering that structural encoding is a necessary stage of such discrimination, (N170 component is an index of structural encoding processes), it seems that the amplitude of the N170 component is unrelated to successful encoding. As an alternative, there is no close connection between the processes underlying the N170 component and the encoding processes necessary for gender discrimination³.

The main finding of this experiment is the long-lasting deviant-related posterior negativity to facial stimuli of the infrequent gender. Emergence of this deviant-related negativity in the later latency range cannot be explained as a refractoriness effect, because in this range exogenous activity was mainly positive. Refractoriness of positive ERP components to standard, and the lack of refractoriness to deviant stimuli should result in positive, instead of negative difference potential. Therefore, the posterior negativity of the 202–498 ms range is considered as a vMMN, elicited by the ecologically significant change of gender category. The findings of Experiment 1 provided further evidence that the violation of the rule: “members of a particular category are

presented sequentially,” automatically registered in the perceptual system.

In summary, in the present Experiment, due to the short ISI the face-related exogenous activity was unexpectedly small. In Experiment 2 we introduced longer ISI. Besides the possibility of an enlarged N1/N170 component, we investigated the ISI-effect on the vMMN component. Because this component is considered to depend on the short-term registration of sequential rules (Astikainen et al., 2008), we expect an enlarged N1/N170 and the reduction of vMMN amplitude in Experiment 2.

EXPERIMENT 2

MATERIALS AND METHODS

Participants

Participants were 12 healthy adults (3 women; mean age = 21.50 years, $SD = 1.78$ years). They had normal or corrected-to-normal vision. Written informed consent was obtained from every participant before the experimental procedure. The study was conducted according to the Declaration of Helsinki, and accepted by the United Committee of Ethics of the Psychology Institutes in Hungary.

Stimuli, procedure, EEG measuring, and data processing

Experiment 2 was almost identical to Experiment 1. We manipulated only the ISI that was between 2000 and 2500 ms (mean ISI: 2250 ms; we calculated with a pseudorandom value drawn from the standard uniform distribution on the interval). The other stimulus parameters, the participant's task, EEG recording (except the online filter: DC–100 Hz) and data processing were the same as Experiment 1.

RESULTS

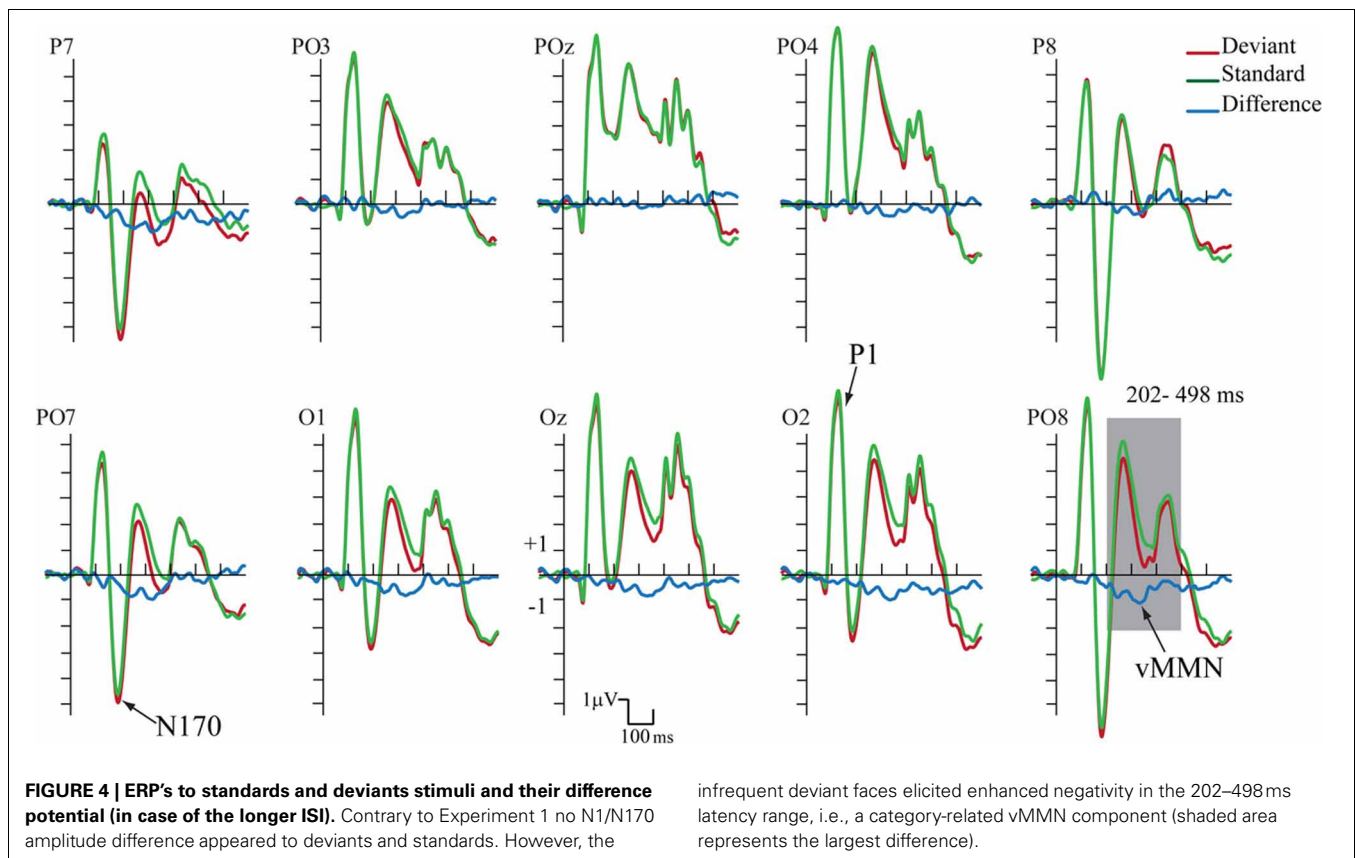
Behavioral results

All participants performed the primary task with hit rates over 80% [mean hit rate = 97.84% ($SD = 5.56\%$)]. The median RT was 463.38 ms ($SD = 123.16$ ms). There was no difference in performance between the conditions.

Event-related potential data

Figure 4 shows the ERPs to deviant and to standard stimuli, and the deviant-*minus*-standard difference potential. As the figure shows, in this experiment the P1 component was followed by a large N1/N170 component. The other aspects of the ERPs were similar to the ERPs in Experiment 1, since deviant stimuli elicited a long-lasting negativity within the 202–498 ms latency

³Dering et al. (2011) claim that the N170 component is sensitive to cropped face stimuli, whereas the face processes are related to an earlier positive component, to the P1.



infrequent deviant faces elicited enhanced negativity in the 202–498 ms latency range, i.e., a category-related vMMN component (shaded area represents the largest difference).

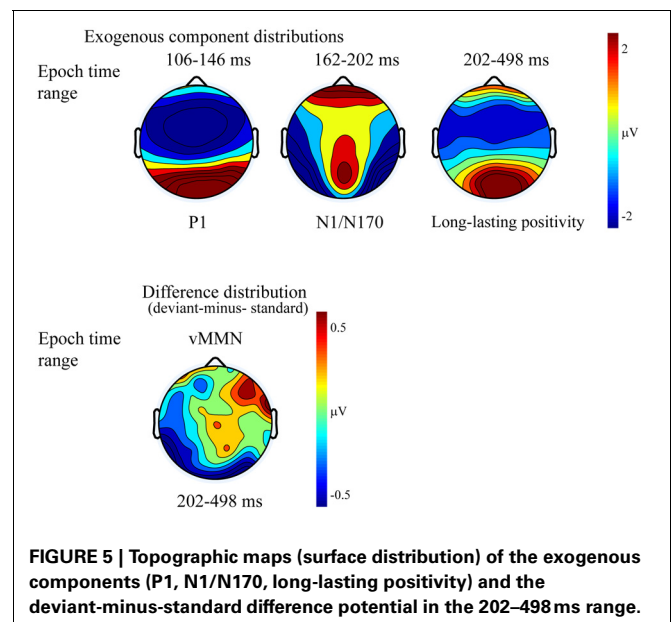
range. **Figure 5** shows the surface distribution of the exogenous components and the difference potential (in construction identical to that of **Figure 3**), and **Table 2** shows the amplitude values of the exogenous components and the difference potential.

The P1 had a wide posterior distribution, while the N1/N170 component emerged over the bilateral posterior locations. The difference potential had a restricted distribution over the posterior locations.

We applied the same statistical analyses as in Experiment 1. The deviant-minus-standard difference potential was statistically significant within the 120–480 ms latency range.

The P1 component had maximum on the PO8 channel location (126 ms). We obtained no significant *Stimulus Type* effect on this component. However, *Anteriority* [$F_{(1, 11)} = 12.12, p < 0.01, \eta^2 = 0.52$] and *Laterality* [$F_{(4, 44)} = 5.92, p < 0.001, \eta^2 = 0.35, \varepsilon = 0.40$] main effects were significant. According to the Tukey HSD tests, the P1 component was larger at the posterior row and the P1 amplitude was larger at the midline locations ($p < 0.01$ in all cases). As for latency values, in a similar ANOVA no significant effect appeared.

Unlike in Experiment 1, we obtained no significant N1/N170 amplitude difference between the ERPs to deviants and standards. In the Three-Way ANOVA the bilateral maxima of this component is reflected by the significant *Laterality* main effect [$F_{(4, 44)} = 22.30, p < 0.001, \eta^2 = 0.67, \varepsilon = 0.50$]. In addition, *Anteriority* main effect was also significant: [$F_{(1, 11)} = 9.96, p < 0.01, \eta^2 = 0.47$]. According to the Tukey HSD test, the N1/N170



component had larger negative values at the bilateral posterior locations (at the P7, PO7 and P8, PO8 channels $P < 0.01$ in all cases). *Anteriority* $\times$ *Laterality* interaction was also significant [$F_{(4, 44)} = 12.45, p < 0.001, \eta^2 = 0.53, \varepsilon = 0.50$]; this effect was due to the more negative values (for both deviants and standards)

Table 2 | Mean amplitude values (μV) and mean latency values (ms) of the event-related potentials to standard and deviant face stimuli (Standard error of the mean in parenthesis).

	P1 106–146 ms		N170 162–202 ms		vMMN 202–498 ms
	Standard	Deviant	Standard	Deviant	Deviant-minus-Standard
PO7 Amplitude values	4.37 (0.46)	3.94 (0.47)	−3.97 (0.86)	−4.24 (0.29)	−0.50 (0.25)
PO7 Latency values	129 (3.29)	124 (3.85)	189 (3.84)	190 (4.15)	345 (5.58)
PO8 Amplitude values	6.04 (1.37)	5.71 (1.40)	−5.26 (0.83)	−5.62 (1.42)	−0.63 (0.11)
PO8 Latency values	123 (3.05)	124 (2.83)	183 (3.62)	185 (3.68)	344 (3.64)

at the posterior and lateral locations. In ANOVAs on the N1/N170 latency values there were neither significant main effects nor interactions.

In the 202–498 ms latency range the Three-Way ANOVA resulted in significant main effects of *Stimulus Type* [$F_{(1, 11)} = 7.40$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.40$] and *Laterality* [$F_{(4, 44)} = 17.37$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.61$, $\epsilon = 0.57$]. *Stimulus Type* main effect indicated enhanced negativity to the changes of gender category (vMMN), even if the ISI increased to 2250 ms. Besides, the *Laterality* main effect showed that the vMMN maxima was located at the PO7 and PO8 channel locations. Finally, significant *Stimulus Type* $\times$ *Anteriority* interaction [$F_{(1, 11)} = 7.00$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.38$] reflected larger vMMN at the posterior locations. Latency values of the late long-lasting components to standards and deviants were not different.

DISCUSSION

The vMMN effect of Experiment 2 replicated the results of Experiment 1, even if the ISI was longer. The amplitude of the exogenous activity (N1/N170) increased at longer ISI. As a plausible explanation, at longer ISI the refractory effect on this component dissipated, and the lack of deviant-related N1/N170 difference was due to the saturation of the amplitude, even in the case of standard stimuli.

COMPARISON OF THE FIRST AND SECOND EXPERIMENT'S RESULTS

Figure 6 compares the ERPs and difference potentials of Experiment 1 (short ISI) and Experiment 2 (long ISI) at the PO8 channel location. The figure illustrates three obvious differences: the latency of P1 and N1/N170 components were longer in Experiment 1, and the N1/N170 amplitude was more negative in Experiment 2. As a less evident difference, the P1 amplitude was larger in Experiment 1.

The P1 amplitude difference was investigated in an ANOVA with factors of *Experiment* (short ISI in Experiment 1 vs. long ISI in Experiment 2; between group factors) and *Laterality* (PO7 and PO8 channels). *Experiment* main effect was significant [$F_{(1, 24)} = 5.16$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.17$], showing that the amplitude values of the P1 component was really larger in Experiment 1.

As for the latency difference, in a similar ANOVA the main effect of *Experiment* was significant [$F_{(1, 24)} = 39.56$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.62$], indicating that the latency was shorter in Experiment 2. Furthermore, for the latency values the significant *Experiment* $\times$ *Laterality* interaction [$F_{(1, 24)} = 4.64$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.16$]

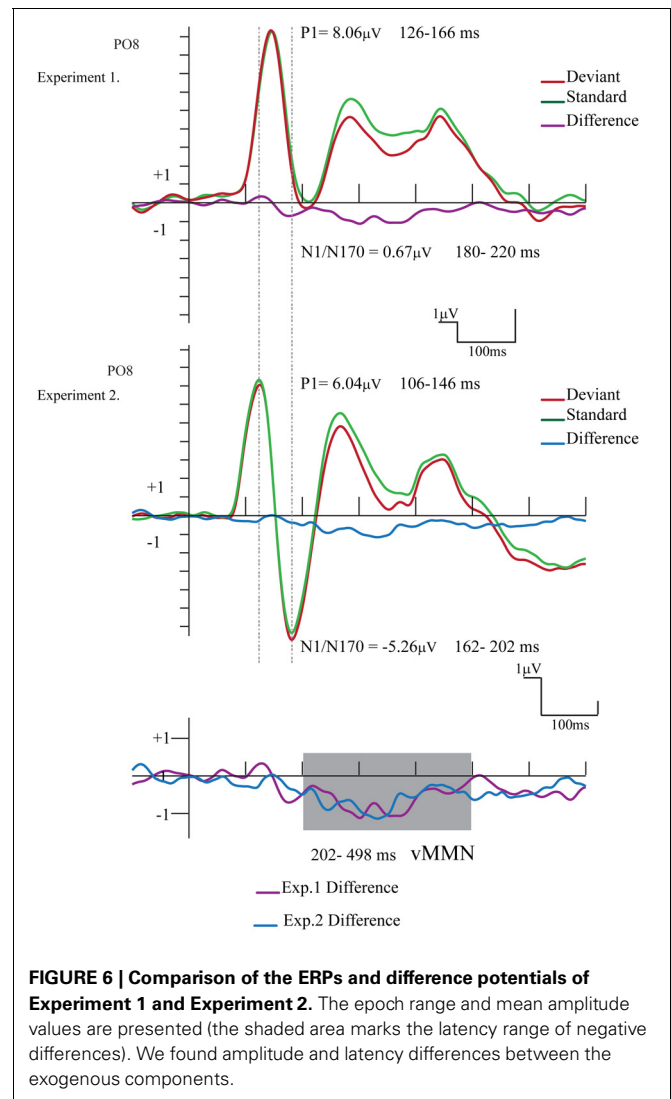


FIGURE 6 | Comparison of the ERPs and difference potentials of Experiment 1 and Experiment 2. The epoch range and mean amplitude values are presented (the shaded area marks the latency range of negative differences). We found amplitude and latency differences between the exogenous components.

shows that in Experiment 2 the P1 latency was longer over the right (PO8) side.

The N1/N170 amplitudes and latencies were analyzed in similar ANOVAs. The amplitude values of the N1/N170 component were different between the two experiments [$F_{(1, 24)} = 8.61$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.26$]. Furthermore, the difference was larger over the right side, as indicated by the significant *Experiment* $\times$

Laterality interaction [$F_{(1, 24)} = 10.85$, $p < 0.005$, $\eta^2 = 0.31$]. Latency values of the N1/N170 component were also significantly different in the two experiments [$F_{(1, 24)} = 10.74$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.30$], showing a shorter latency in case of longer ISI (Experiment 2).

Finally, we compared the vMMN scalp distributions (202–498 ms) in the two experiments at a 2×5 electrode matrix (P7, PO3, POz, PO4, P8, PO7, O1, Oz, O2, PO8). In this ANOVA we used vector-scaled amplitude values (McCarthy and Wood, 1985). In ANOVA the main effect of *Experiment* and the interactions (*Experiment* $\times$ *Anteriority*; *Experiment* $\times$ *Laterality*; *Experiment* $\times$ *Anteriority* $\times$ *Laterality*) were not significant i.e., we obtained no significant difference between the vMMN distributions.

GENERAL DISCUSSION

Concerning the exogenous components, the P1 component had larger amplitude in Experiment 1 than in Experiment 2, (8.06 vs. 6.04 μ V), therefore there was no ISI (400 vs. longer 2250 ms) and so there was no refractory effect on P1. In general, the processes of refractoriness attributed to the decreased responsiveness of neurons for the “fast” repeated input (see Näätänen and Picton, 1987, for a review). Therefore, in the case of the longer interval between the successive stimuli, larger exogenous components should have occurred. However, the characteristic of the exogenous P1 component (i.e., larger amplitude and latency) did not follow the prediction based on the refractory theory.

On the contrary, at longer ISI (2250 ms) the human face stimuli elicited an enlarged N1/N170 component ($\leq 5.26 \mu$ V at PO8). The posterior bilateral distribution of the negativity corresponded to the findings reporting the face-related N170 component (e.g., Bentin et al., 1996). In case of short ISI (Experiment 1) we obtained a small deviant-related difference on N1/N170-effect of infrequent deviant gender stimuli were embedded in a sequence of frequent patterns. However, this difference disappeared at longer ISI (Experimental 2). Therefore, the small early amplitude difference, as a N1/N170 modulation in Experiment 1 has to be treated carefully. Nevertheless, category specific refractoriness is a possible explanation, although the long ISI of the present study is beyond the interval which is sensitive to refractoriness effect (Coch et al., 2005).

In both experiments facial stimuli belonging to the infrequent gender category of a sequence elicited vMMN. The results of the present study are in line with the behavioral results of Campanella et al. (2002) showing the sensibility of the perceptual system to gender as category. VMMN in this study emerged as a long lasting ERP component with the onset of ~ 200 ms post stimulus, and terminated at ~ 500 ms. The onset time corresponds to the results of other vMMNs studies, where another facial category, emotional expression established the sequential regularity (Zhao and Li, 2006; Astikainen and Hietanen, 2009; Li et al., 2012; Stefanics et al., 2012). The results of Susac et al. (2004) also supported the possibility of late vMMN to facial category change without an amplitude difference in an earlier (N1/N170) latency range.

In comparison to the emotion-related vMMN, in the present study the duration of the vMMN component was unusually long. As a possible explanation for this long-lasting negativity, gender category processes might be tested on many levels and/or in some circles of re-entrant mechanisms. In other word, we suggest that the automatic identification of the gender difference is a fairly complex process,—hence the vMMN activity was extended to 200–500 ms post stimulus interval—especially in case of cropped faces (i.e., without the ears and hair).

As the results of Experiment 2 show, vMMN emerged even if the ISI was longer than ~ 2000 ms. This finding provided ample evidence that the representation of this facial category survives several seconds. Contrary to the absence of ISI effect on vMMN, P1 and N1/N170 components were sensitive to the ISI, but these relationships were complex. As a function of ISI the latency of these components decreased in both cases. However, P1 amplitude decreased and N1/N170 amplitude increased at longer ISI. The ISI effect on the N1/N170 amplitude is attributed to the refractoriness at short ISI, but at this stage we have no explanation for the other ISI-related differences. As for the N1/N170 component, Mouchetant-Rostaing et al. (2000) demonstrated that the N170 component is insensitive to the processing of genders, and supporting this finding, the present results show gender-related facial processing even in case of compromised N1/N170. However, the contribution of the processes underlying the P1 component in facial processing is a viable possibility (Dering et al., 2011).

At a more general level, the present results provide converging evidence about the automatic development of category-related information, and the automatic detection of events different from the predicted category. Athanasopoulos et al. (2010) obtained larger vMMN in Greek participants for two variants of blue than in British participants. In the Greek language the two variants have different labels, whereas in English only one. Clifford et al. (2010) obtained larger vMMN to between-category colors than to within-category ones, even if the distances in the color space were equal. Finally, Mo et al. (2011) obtained larger within category vMMN if deviants were presented to the right side (i.e., left hemisphere processing). No category-specific difference appeared to left half-field stimulation. VMMN appeared to be sensitive to symmetry as perceptual category (Kecskés-Kovács et al., 2013), hand laterality (Stefanics and Czigler, 2012), and vMMN emerged to deviant facial emotions (Stefanics and Czigler, 2012). The question to be answered in relation to such vMMN results is whether these effects are based on the activation of a common set of physical features, or the stimuli activate the category code, and this code has a top-down effect on stimulus processing. In comparison to other categories, the specificity of the color domain is that the physical stimuli are continuous (visible spectrum) and the categories are products of the perceptual system. Not surprisingly, this characteristic of the color system provided a methodological possibility for investigating language-related effects of vMMN in the studies by Clifford et al. (2010) and Mo et al. (2011); the within and between category stimuli were in equal distance within the color space, therefore such results are difficult to explain without

the activation of a category code. Hand laterality is a markedly different category type, it is inherently dichotomous, the distinctive features are relatively simple, and it seems to be impossible to produce continuity between the left and right hand. Gender as perceptual characteristic of facial stimuli seems to be an “immediate” case, the category (female and male) is obviously dichotomous, but on the basis of present results it is challenging to decide whether vMMN was the result of the emergence of the category representation or as an effect of a set of different physical stimulus features. In this study a large set of photographs with different individual features and structural characteristics were presented, therefore the latter possibility is less probable. However, using morphing methods, it is possible to create immediate stimuli. In further studies it would be possible to investigate the sensitivity of vMMN to within category and between category photographs, using similar distance in a morph scale.

In sum, the vMMN components were elicited in both first and second experiments. Deviants elicited a posterior

negativity within a comparable latency range in both experiments. The processes of automatic change detection of gender face category are unattached to ISI manipulation, especially as the distributions of vMMNs were similarly enhanced negativities.

In conclusion, in both experiments we found robust vMMN effects, showing that vMMN is sensitive to perceptual categorization processes. Accordingly, emergence of a vMMN response to deviant gender of human faces demonstrates that posterior visual areas automatically registered the unattended gender information, and detected regularities of gender facial stimuli.

ACKNOWLEDGMENTS

Supported by the Hungarian Research Found (OTKA 104462). We thank Krisztián Samu, PhD (Budapest University of Technology and Economics- MOMEI) for technical support. We thank Orsolya Kolozsvári for the helpful comments.

REFERENCES

- Astikainen, P., and Hietanen, J. K. (2009). Event-related potentials to task-irrelevant changes in facial expressions. *Behav. Brain Funct.* 5, 30. doi: 10.1186/1744-9081-5-30
- Astikainen, P., Lillstrang, E., and Ruusuvirta, T. (2008). Visual mismatch negativity for change in orientation- a sensory memory-dependent response. *Eur. J. Neurosci.* 28, 2319–2324. doi: 10.1111/j.1460-9568.2008.06510.x
- Athanasopoulos, P., Dering, B., Wiggett, A., Kuipers, J.-R., and Thierry, G. (2010). Perceptual shift in bilingualism: brain potentials reveal plasticity in pre-attentive colour perception. *Cognition* 116, 437–443. doi: 10.1016/j.cognition.2010.05.016
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., and McCarthy, G. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *J. Cogn. Neurosci.* 8, 551–565. doi: 10.1162/jocn.1996.8.6.551
- Bruce, V., and Young, A. (1986). Understanding face recognition. *Br. J. Psychol.* 77, 305–327. doi: 10.1111/j.2044-8295.1986.tb02199.x
- Campanella, S., Chrysochoos, A., and Bruyer, R. (2001). Categorical perception of facial gender information: behavioural evidence and face-space metaphor. *Vis. Cogn.* 8, 237–262. doi: 10.1080/13506280042000072
- Campanella, S., Gaspard, C., Debatise, D., Bruyer, R., Crommelinck, M., and Guerit, J. M. (2002). Discrimination of emotional facial expression in visual oddball task: an ERP study. *Biol. Psychol.* 59, 171–186. doi: 10.1016/S0301-0511(02)00005-4
- Clifford, A., Holmes, A., Davies, I. R. L., and Franklin, A. (2010). Color categories affect pre-attentive color perception. *Biol. Psychol.* 85, 275–282. doi: 10.1016/j.biopsycho.2010.07.014
- Coch, D., Skendzel, W., and Neville, H. J. (2005). Auditory and visual refractory period effects in children and adults: an ERP study. *Clin. Neurophysiol.* 116, 2184–2203. doi: 10.1016/j.clinph.2005.06.005
- Czigler, I. (1979). Effects of the inter-stimulus interval on visual evoked potentials to patterned stimuli. *Act. Nerv. Super.* 2, 81–89.
- Czigler, I., Balázs, L., and Winkler, I. (2002). Memory-based detection of task-irrelevant visual changes. *Psychophysiology* 39, 869–873. doi: 10.1111/1469-8986.3960869
- Dering, B., Martin, C. D., Moro, S., Pegna, A. J., and Thierry, G. (2011). Face-sensitive processes one hundred milliseconds after picture onset. *Front. Hum. Neurosci.* 5:93. doi: 10.3389/fnhum.2011.00093
- Guthrie, D., and Buchwald, J. (1991). Significance testing of difference potentials. *Psychophysiology* 28, 240–244. doi: 10.1111/j.1469-8986.1991.tb00417.x
- Heslenfeld, D. J. (2003). “Visual mismatch negativity,” in *Detection of Change: Event-Related Potential and fMRI Findings*, ed J. Polich (Boston, MA: Kluwer Academic Press), 41–59.
- Jacobsen, T., and Schröger, E. (2001). Is there pre-attentive memory-based comparison of pitch? *Psychophysiology* 38, 723–727. doi: 10.1111/1469-8986.3840723
- Kecskés-Kovács, K., Sulykos, I., and Czigler, I. (2013). Visual mismatch negativity is sensitive to symmetry as a perceptual category. *Eur. J. Neurosci.* 37, 662–667. doi: 10.1111/ejn.12061
- Kimura, M. (2011). Visual mismatch negativity and unintentional temporal-context-based prediction in vision. *Int. J. Psychophysiol.* 83, 144–155. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.11.010
- Kimura, M., Kondo, H., Ohira, H., and Schröger, E. (2011). Unintentional temporal context-based prediction of emotional faces: an electrophysiological study. *Cereb. Cortex* 22, 1774–1785. doi: 10.1093/cercor/bhr244
- Li, X., Lu, Y., Sun, G., Gao, L., and Zhao, L. (2012). Visual mismatch negativity elicited by facial expression: new evidence from the equiprobable paradigm. *Behav. Brain Funct.* 8, 7. doi: 10.1186/1744-9081-8-7
- Liu, Z. M., Rios, C., Zhang, N., Yang, L., Chen, W., and He, B. (2010). Linear and nonlinear relationships between visual stimuli, EEG and BOLD fMRI signals. *Neuroimage* 50, 1054–1066. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.01.017
- May, P. J. C., and Tiitinen, H. (2010). Mismatch negativity (MMN), the deviance-elicited auditory deflection, explained. *Psychophysiology* 47, 66–122. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00856.x
- McCarthy, G., and Wood, C. C. (1985). Scalp distributions of event-related potentials: an ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 62, 203–208. doi: 10.1016/0168-5597(85)90015-2
- Mo, L., Xu, G., Kay, P., and Tan, L. H. (2011). Electrophysiological evidence for the left-lateralized effect of language on preattentive categorical perception of color. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108, 14026–14030. doi: 10.1073/pnas.1111860108
- Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Bentin, S., Aguera, P. E., and Pernier, J. (2000). Neurophysiological correlates of face gender processing in humans. *Eur. J. Neurosci.* 12, 303–310. doi: 10.1046/j.1460-9568.2000.00888.x
- Näätänen, R., and Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response of sounds: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology* 24, 375–424. doi: 10.1111/j.1469-8986.1987.tb00311.x
- Pazo-Alvarez, P., Amenedo, E., and Cadaveira, F. (2004). Automatic detection of motion direction changes in the human brain. *Eur. J. Neurosci.* 19, 1978–1986. doi: 10.1111/j.1460-9568.2004.03273.x
- Schröger, E., and Wolff, C. (1996). Mismatch response of the human brain changes in sound location. *Neuroreport* 7, 3005–3008. doi: 10.1097/00001756-199611250-00041

- Stefanics, G., Csukly, G., Komlósi, S., Czobor, P., and Czigler, I. (2012). Processing of unattended facial emotions: a visual mismatch negativity study. *Neuroimage* 59, 3042–3049. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.10.041
- Stefanics, G., and Czigler, I. (2012). Automatic prediction error responses to hands with unexpected laterality: an electrophysiological study. *Neuroimage* 63, 253–261. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.068
- Susac, A., Ilmoniemi, R. J., Pihko, E., and Supek, S. (2004). Neurodynamic studies on emotional and inverted faces in an oddball paradigm. *Brain Topogr.* 16, 265–268. doi: 10.1023/B:BRAT.0000032863.3990/cb
- Winkler, I., and Czigler, I. (2012). Evidence from auditory and visual event-related potential (ERP) studies of deviance detection (MMN and vMMN) linking predictive coding theories and perceptual object representations. *Int. J. Psychophysiol.* 83, 132–143. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.10.001
- Winkler, I., Czigler, I., Sussman, E., Horváth, J., and Balázs, L. (2005). Preattentive binding of auditory and visual stimulus features. *J. Cogn. Neurosci.* 17, 320–339. doi: 10.1162/0898929053124866
- Zhao, L., and Li, J. (2006). Visual mismatch negativity elicited by facial expressions under non-attentional condition. *Neurosci. Lett.* 410, 126–131. doi: 10.1016/j.neulet.2006.09.081
- Conflict of Interest Statement:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.
- Received: 04 April 2013; accepted: 16 August 2013; published online: 04 September 2013.
- Citation: Kecskés-Kovács K, Sulykos I and Czigler I (2013) Is it a face of a woman or a man? Visual mismatch negativity is sensitive to gender category. *Front. Hum. Neurosci.* 7:532. doi: 10.3389/fnhum.2013.00532
- This article was submitted to the journal *Frontiers in Human Neuroscience*. Copyright © 2013 Kecskés-Kovács, Sulykos and Czigler. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Asymmetry of automatic change detection shown by the visual mismatch negativity: An additional feature is identified faster than missing features

István Czigler · István Sulykos ·
Krisztina Kecskés-Kovács

Published online: 23 July 2013
© Psychonomic Society, Inc. 2013

Abstract In two experiments, we demonstrated that an asymmetric effect of the brain electric activity that is elicited by nonattended visual stimuli is similar to the one found in responses observed in the performance of visual search tasks. The automatic detection of violated sequential regularities was investigated by measuring the visual mismatch negativity (vMMN) component of event-related brain potentials (ERPs). In Experiment 1, within a sequence of stimulus displays with O characters, infrequently presented Q characters elicited an earlier vMMN than did infrequent O characters within a sequence of Q characters. In Experiment 2, similar asymmetric results emerged if only 16 % of the characters were different within an infrequent display. In both experiments, these stimuli were irrelevant; during the stimulus sequences, participants performed a demanding videogame. We suggest that the underlying match/mismatch and decision processes are similar in the vMMN and in the attention-related visual search paradigm, at least in the case of the stimuli in the present experiments.

Keywords Change detection · Visual perception · Visual mismatch negativity · Search asymmetry

I. Czigler · I. Sulykos · K. Kecskés-Kovács
Institute of Cognitive Neuroscience and Psychology, RCNS, HAS,
Budapest, Hungary

I. Czigler · I. Sulykos
Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

K. Kecskés-Kovács
Debrecen University, Debrecen, Hungary

I. Czigler (✉)
Institute of Cognitive Neuroscience and Psychology, RCNS, HAS,
P.O. Box 398, 1394 Budapest, Hungary
e-mail: czigler.istvan@tk.mta.hu

The detection of environmental events that deviate from the regularity of previous and/or expected events is an important task for our perceptual system. However, the possibility of detecting deviant events is not independent of the relationship between the specific regularity and the specific deviant event. In studies of visual search—that is, studies on the topic of attention—search asymmetry has been demonstrated for target stimuli that contain a feature that is absent in the distractor stimuli—that is, such targets are easier to find than targets without such a feature (e.g., Treisman & Gormican, 1988; Treisman & Souther, 1985; for a review, see Wolfe, 2001). In the former case, the number of distractors had only a slight effect on search efficiency, whereas in the latter case, reaction times increased steeply as a function of the number of distractors. As another case of search asymmetry, a search for familiar objects among unfamiliar ones is more effective than a search for unfamiliar objects among familiar ones (e.g., Malinowsky & Hübner, 2001; Shen & Reingold, 2001; Wang, Cavanagh, & Green, 1994). In the present study, we demonstrated a similar asymmetry in automatic change detection by using the visual mismatch negativity (vMMN) component of event-related potentials (ERPs). The vMMN (an analogue of the auditory mismatch negativity; for a review, see Näätänen, Jacobsen, & Winkler, 2007) is usually investigated in “oddball” sequences. The frequent stimuli (standards) of the sequence acquire the representation of regularity, and the infrequent stimuli (deviants) violate it. The vMMN is the difference between the ERPs to the deviant and to the standard (for reviews, see Czigler, 2007; Kimura, Schröger, & Czigler, 2011). The emergence of vMMNs does not depend on attentional processing of the standard and deviant events; therefore, the processes that underlie these ERP components are considered to be a type of automatic change detection (for reviews, see Czigler, 2007; Kimura et al., 2011). Usually, the vMMN is investigated in the passive visual oddball paradigm. In this paradigm, the standard and deviant stimuli are irrelevant;

participants perform a demanding task that is unrelated to the stimuli that elicit the vMMN.

In a recent study, in a sequence of standard symmetric patterns, infrequent random patterns (deviants) elicited a vMMN, but when the roles of the stimulus categories were reversed, no vMMN emerged (Kecskés-Kovács, Sulykos, & Czigler, 2013). This result was interpreted as a category-related effect: A sequence of symmetric patterns elicited a perceptual category, and the regular presentation of this category was violated by the random deviant. However, there is no category of “randomness”; therefore, infrequent symmetric patterns did not violate a categorical rule. Consequently, no vMMN emerged for the symmetric deviants. Accordingly, a standard–deviant arrangement elicited a vMMN, but reversing the roles of the deviant and standard stimuli did not.

In the present study, we attempted to demonstrate that a deviant with an additional visual feature elicits a different vMMN effect than does a deviant with the absence of a feature. For this goal, we used one of the most frequently used stimuli in search asymmetry tasks: O-like and Q-like stimuli. (We use the terms *O-like* and *Q-like* here because, in such studies, the stimuli are circles with or without a vertical bar at the bottom part of the circle [see Fig. 1]. For brevity, we will use the terms *O stimuli* and *Q stimuli* henceforth.) More recent

explanations of search asymmetry have attributed the effect to a processing difference in low-level features (Carrasco, McLean, Katz, & Frieder, 1998; Rosenholtz, 2001; Spratling, 2012) or to a variability difference between the representations of the stimuli (Saiki, 2008). Considering that the vMMN is a consequence of memory comparison processes (Czigler, 2007; Winkler & Czigler, 2012), we expected a more efficient mismatch process in response to deviant Q stimuli—that is, an effect similar to more efficient visual search.

In Experiment 1, the displays were homogeneous (32 O or 32 Q characters); in Experiment 2, the infrequent display contained only 16 % deviant characters. In both tasks, irrelevant vMMN-related stimuli were presented in the lower half of the visual field, whereas participants paid attention to the upper part of the field.

Experiment 1

Method

Participants The participants were 14 paid students (four female, ten male; mean age = 21.9 years, range = 19–24 years) from Budapest. All had normal or corrected-to-

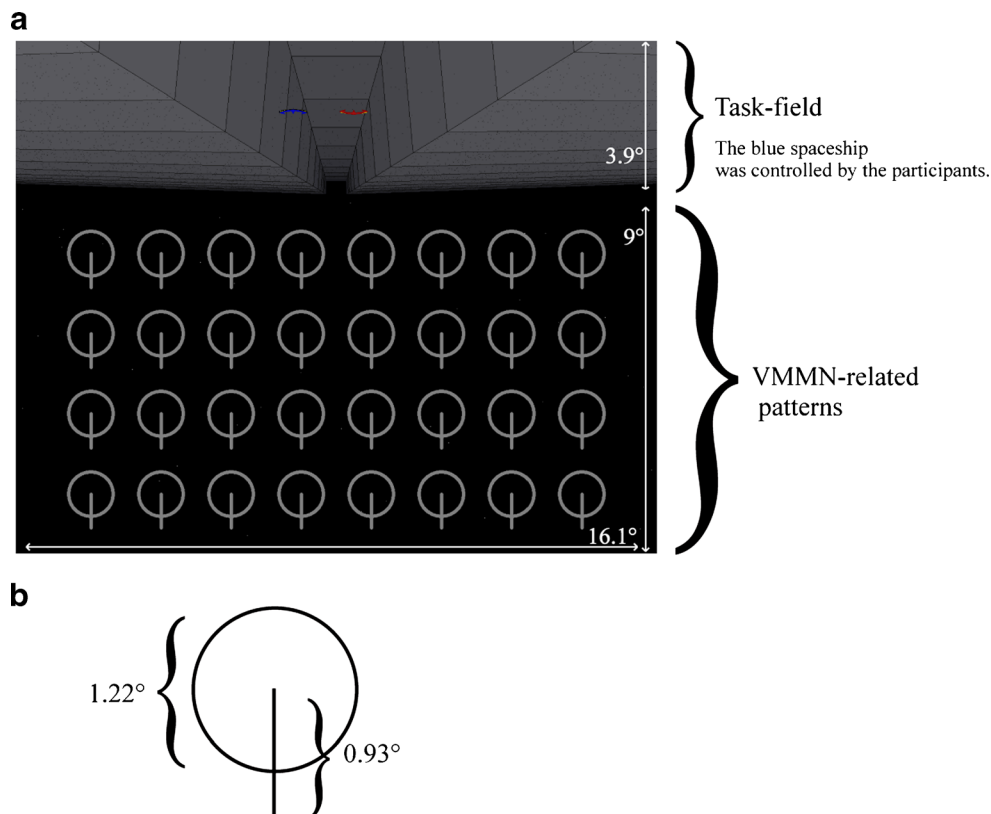


Fig. 1 (A) Stimulus display. We investigated the visual mismatch negativity (vMMN) elicited by the stimuli in the $9.0^\circ \times 16.1^\circ$ part of the visual field. Above this part of the field, the stimuli of the videogame were

presented: Participants maneuvered a spaceship (blue color) along a canyon, caught objects with a green color (not seen in the figure), and avoided objects with a red color. (B) Size of the vMMN-related stimulus elements

normal vision and gave written informed consent to participate in the study. The study was accepted by the local committee on professional ethics.

Stimuli and procedure The vMMN-related stimuli were matrices of O or Q characters (Fig. 1). A matrix was composed of eight columns and four rows—that is, 32 characters—and subtended 16.1×9.0 deg of visual angle from 120 cm. These stimuli were presented for 300 ms, with a 417- to 617-ms (mean = 517 ms) interstimulus interval. Within a stimulus sequence, 350 stimuli were presented. In the *Q*-deviant sequence, 59 of the stimuli were Q matrices and 291 stimuli were O matrices; in the *O*-deviant sequences, the numbers were reversed. Within a session, two *Q*-deviant and two *O*-deviant sequences were presented, in random order.

The participants performed a videogame that was displayed on the upper part of the screen (Fig. 1). The task was to maneuver a spaceship along a canyon and to catch objects with a green color and avoid objects with a red color. To perform the task properly, a continuous central fixation was needed (for more details, see Kecskés-Kovács et al., 2013).

Recording and measuring brain electric activity Electroencephalographic activity was recorded (DC, 70 Hz; 500-Hz sampling rate; Synamps2 amplifier, NeuroScan recording system), with Ag–AgCl electrodes that were placed at 61 locations according to the extended 10–20 system, using an elastic electrode cap (Easy-Cap). The reference electrode was placed on the nose tip and was re-referenced offline to the average activity. Horizontal electrooculographic activity was recorded with a bipolar configuration between electrodes that were positioned lateral to the outer canthi of the eyes. Vertical eye movements were monitored with a bipolar montage between electrodes that were placed above and below the right eye. The electroencephalographic signal was bandpass-filtered offline, with cutoff frequencies of 0.1 and 30 Hz (24-dB slope). Epochs of 600 ms, including a 100-ms prestimulus interval, were extracted for each event and were averaged separately for the standard and deviant stimuli. The mean voltage during the 100-ms prestimulus interval was used as the baseline for amplitude measurements, and epochs with an amplitude change exceeding $\pm 100 \mu\text{V}$ on any channel were excluded from further analysis. ERPs were averaged separately for the standard and deviant stimuli in the two conditions. ERPs were included in the averaging only if the stimuli were preceded by at least three standards. To identify change-related activity, the ERPs elicited by the standard stimuli were subtracted from the ERPs elicited by the deviant stimuli in the opposite sequences (Kujala, Tervaniemi, & Schröger, 2007). The vMMN amplitudes and latencies were measured in a typical latency range of this component (150–250 ms in the present study). Within

these ranges, the amplitudes and latencies were measured separately for earlier (150–200 ms) and later (200–250 ms) epochs. Within these epochs, the mean amplitude and the latency of the largest negativity were calculated.

Results and discussion

The participants avoided 88.5 % of the red ships and hit 82.5 % of the green ships; that is, they performed the task successfully. In the two types of sequences, we observed no performance differences. Figure 2 shows the ERPs (A), the deviant-minus-standard difference potentials for the *O*- and *Q*-deviant stimulus sequences (B), and the surface distributions of the differences in a ± 10 -ms range around the largest negative value (measured at Oz).

The stimuli elicited P1, N1, and P2 exogenous components. We found no significant difference between the standard stimuli and the *O* and *Q* patterns. However, as the figure shows, in the ~150- to 350-ms range, over the posterior locations, the ERPs to the deviant stimuli were more negative/less positive than the ERPs to the standards. Furthermore, for the *Q* stimuli, the negative difference potentials emerged earlier than the difference potentials to the *O* deviants. The latency range of the negativity corresponds to the expected latencies and the scalp distribution of the vMMN component. These observations were supported by the results of ANOVAs calculated for the main amplitudes of the 150- to 200-ms and 200- to 250-ms ranges and for the latency of the largest negative values within the ranges above. Activity was measured with a 2×3 grid of electrodes (PO3, POz, PO4, O1, Oz, and O2). According to a three-way analysis of variance (ANOVA: Stimulus Type [*Q* vs. *O* difference] $\times$ Anteriority [parieto-occipital vs. occipital locations] $\times$ Laterality [left vs. midline vs. right locations]), for the main amplitude of the 150- to 200-ms range, the main effects of stimulus type [$F(1, 13) = 4.99, p < .05, \eta^2 = .28$] and laterality [$F(2, 26) = 5.43, p < .05, \epsilon = 0.77, \eta^2 = .29$] were significant. The stimulus type main effect was due to the larger negativity from the *Q* deviants. According to post hoc Tukey HSD tests, the negativity was smaller on the left side than in the midline ($p < .01$). An ANOVA on the latency values of the posterior negativity supported the amplitude results; the main effect of the stimulus type again was significant [$F(1, 13) = 31.78, p < .0001, \eta^2 = .71$]. The mean latencies of the vMMN for the *Q* and *O* deviants were 210.3 ms and 249.8 ms, respectively.

Both *Q* and *O* deviants elicited a vMMN. However, in the earlier latency range, *Q* deviants elicited a larger vMMN, whereas in the later latency range, *O* deviants did so. In other words, the latency of the vMMN to *Q* deviants was shorter. Accordingly, irregular irrelevant stimuli with an additional feature were detected faster than irregular stimuli characterized by the absence of a feature.

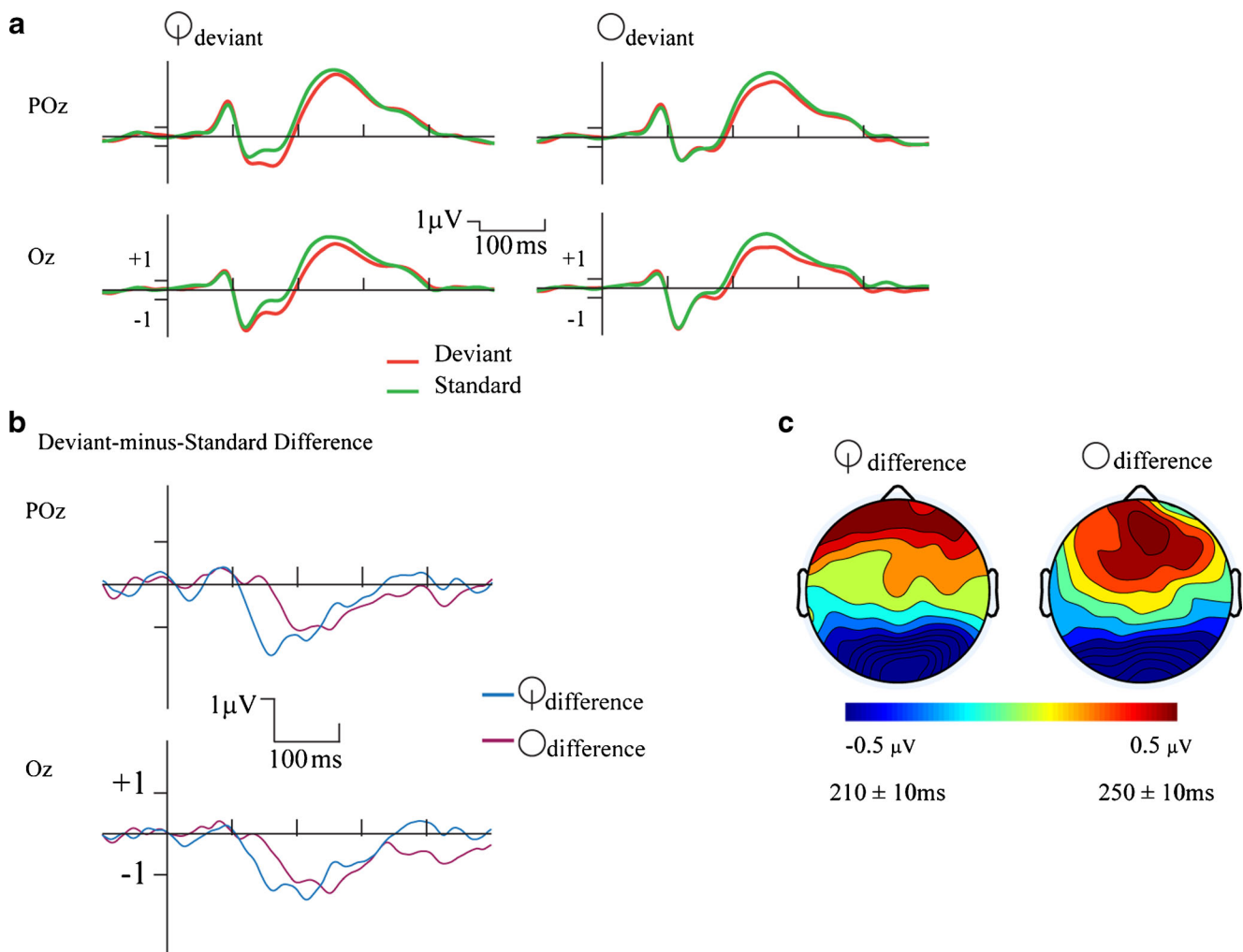


Fig. 2 (A) Event-related potentials in Experiment 1 in the Q-deviant and O-deviant sequences. (B) Deviant-minus-standard difference potentials for the Q and O stimuli. (C) Surface distributions of the deviant-minus-standard difference potential at the latency of maximal negativity

Experiment 2

The participants were 14 paid students (five female, nine male [three of them had participated in Exp. 1]; mean age = 22.5 years, range = 19–26 years) from Budapest. All had normal or corrected-to-normal vision and gave written informed consent to participate in the study. The study was accepted by the local committee on professional ethics.

Method

Stimuli, procedure, and measurement of brain electric activity All but the deviant stimuli were identical to those of Experiment 1. In this experiment, the stimulus matrix of the standard stimuli was homogeneous; that is, it comprised either O or Q characters. Within the deviant matrices, 16% of the characters were of the alternative type. The positions of these characters varied randomly within the deviant stimuli.

In this experiment, the within-sequence standard and deviant were physically more similar than the between-sequence standard and deviant; therefore, in the difference potentials, within-sequence deviant-minus-standard subtractions were used. In this experiment, the vMMN emerged later than in Experiment 1; therefore, amplitude and latency values were calculated for the 200- to 250-ms and 250- to 300-ms epochs.

Results and discussion

The participants avoided 83.4 % of the red ships and hit 88.2 % of the green ships; that is, they performed the task successfully. The performance was similar across the two experiments.

Figure 3 shows the ERPs (A), the deviant–standard difference potentials for the O and Q deviants (B), and the surface distributions of the differences in a $\pm$ 10-ms range around the largest negativity (measured at Oz).

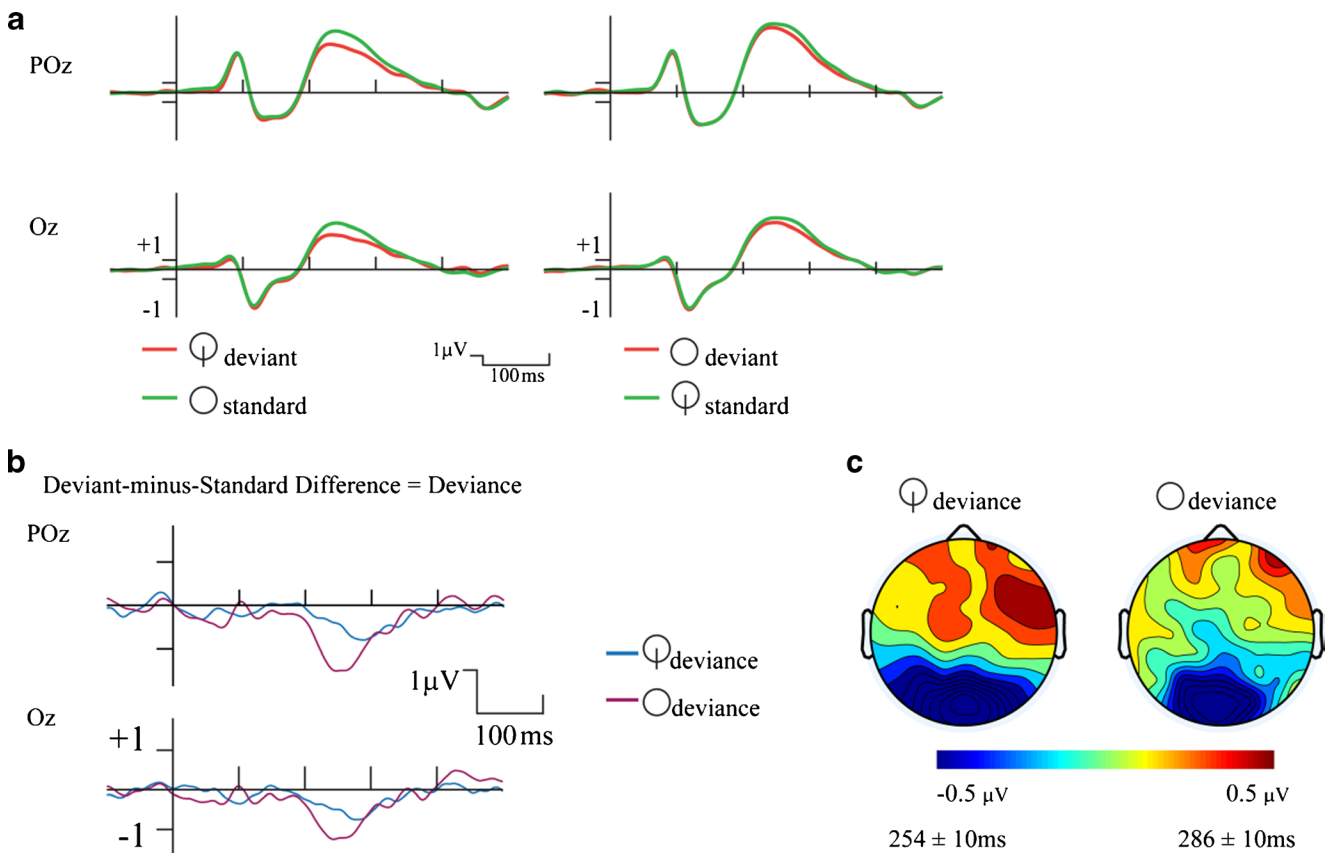


Fig. 3 (A) Event-related potentials in Experiment 2 in the Q-deviant and O-deviant sequences. (B) Deviant-minus-standard difference potentials for the Q and O stimuli. (C) Surface distributions of the deviant-minus-standard difference potential at the latency range of maximal negativity

The P1, N1, and P2 components were similar to those of Experiment 1. Deviant displays with 16 % Q characters elicited larger vMMNs, and the latency of this negativity peaked earlier than that for deviant displays with 16 % O characters. However, in this experiment, the vMMN emerged later, even for the stimuli with Q deviants, as compared with Experiment 1. Accordingly, the vMMN was measured in the 200- to 250-ms and 250- to 300-ms ranges.

In ANOVAs similar to those from Experiment 1, in the 200- to 250-ms range, the main effect of stimulus type was significant [$F(1, 13) = 6.21, p < .05, \eta^2 = .27$], which indicates a larger vMMN for the deviants with Q stimuli. In the 250- to 300-ms range, we found no significant amplitude difference. The vMMN latency to the deviants with Q characters was shorter (254 vs. 286 ms), as indicated by the significant main effect of stimulus type [$F(1, 13) = 83.11, p < .00001, \eta^2 = .86$].

As the results of this experiment show, the latency of the vMMN was generally longer than in Experiment 1. However, a small number of deviant characters was sufficient to elicit the vMMN, and the asymmetries were similar: Deviants with Q characters elicited vMMNs with shorter latencies than did deviants with O characters.

General discussion

The results of the present study provide clear evidence of vMMN asymmetry; in both experiments, the vMMN latency was shorter for deviant stimuli that were composed of (Exp. 1) or contained (Exp. 2) Q characters. The main point to be discussed is the relationship of this asymmetry to the search asymmetry using O versus Q target stimuli. In other words, is this only a superficial analogy, or is there a significant overlap between the underlying mechanisms?

First, we will list some obvious differences between the paradigms. The two paradigms are characterized by different ERP components. A posterior ERP component that occurs contralateral to the target stimuli of visual search tasks, the N2pc (Luck & Hillyard, 1994) is sensitive to search asymmetry. Although the latency of this component is shorter if a “pop-out” C target is presented within O deviants than in the reverse, “non-pop-out” condition (Dowdall, Luczak, & Tata, 2012), the processes underlying the emergence of the N2pc are fairly complex. The task set of a visual search has considerable effect on the N2pc. Ansorge, Kiss, Worschech, and Eimer (2011) investigated the N2pcs to informative and

noninformative spatial cues in a search task. Noninformative cues elicited a large and early N2pc if the color of the cue was identical to the expected target stimulus. In other words, a stimulus matching the representation of a feature of the task set elicits the N2pc component. Accordingly, the results of these studies show that visual search involves matching processes (match to the memory representation of the task set) and a mismatch process (discrimination of the target and distractors, reflected by the shorter latency for pop-out displays). In contrast, the vMMN paradigm has no task set; instead, a negative component is elicited by the mismatch between the modality-specific representations of regularity and the incoming event. The two paradigms are obviously different at later, response-related stages. Visual search involves response selection and response organization processes, and these stages are absent in the vMMN paradigm. Accordingly, if a fundamental connection exists between the processes of the two paradigms, and if this connection contributes to the asymmetric results, one would need to look for similarities within the earlier processing stages.

Traditional accounts have attributed search asymmetry to the dichotomy of parallel/automatic versus serial/attentional processes (e.g., Treisman & Souter, 1985), whereas all of the processes that underlie the vMMN are *per definitionem* automatic. This difference appears to be obvious, but some models of search asymmetry do not hypothesize a stage of serial search, but instead attribute efficiency differences to dissimilar speeds of distractor processing (e.g., Saiki, Koike, Takahashi, & Inoue, 2005). Efficient distractor processing is facilitated by familiarity (Malinowsky & Hübner, 2001; Shen & Reingold, 2001; Wang et al., 1994), processing differences of low-level features (Carrasco et al., 1998; Rosenholtz, 2001), a variable difference between the representations of stimulus elements (Saiki, 2008), or asymmetric internal uncertainty levels of the two stimuli (Vincent, 2011). In principle, any of these factors could also contribute to asymmetric vMMN responses. Moreover, as our vMMN results show, no attentional processes, such as serial processing, are necessary for asymmetric information processing.

Frequently, the effect of repeated identical stimulation is a state of neural refractoriness. Accordingly, in the oddball sequence, on average the standard stimuli are supposed to elicit smaller exogenous ERP components than the deviants do. (Exogenous, or obligatory, components are elicited even if the stimuli are unrelated to the ongoing task, and their appearance depends on the physical stimulus parameters.) In the O-standard condition, in comparison to the refractory state of the structures specific to O characters, the additional feature of the Q deviant (the vertical line) may stimulate a “fresh” neural population, whereas in the Q-standard condition, the deviant (O) stimulates a neuronal population in refractory state. Therefore, in the O-standard condition, a larger deviant-minus-standard difference is expected than

in the Q-standard condition. In fact, as the results of some vMMN studies have shown (e.g., Kimura, Katayama, Ohira, & Schröger, 2009), an early phase of the deviant-related negativity can be attributed to the refractoriness of an exogenous component (N1). Refractoriness of this component seems to be a possible explanation of the vMMN latency differences of this study. (This possibility was suggested by an anonymous reviewer.) However, such an account of the present results is not without problems. As Fig. 2 shows, at the peak region of the N1 component, no ERP difference emerged between the deviant and the standard. One may say that the early part of the difference potential is connected to the refractoriness of a subsequent small negativity. However, this is an unlikely explanation. As the results of Experiment 2 showed (Fig. 3), in the range of the negative difference potentials, the ERPs were *positive*. Accordingly, any refractoriness effect would have been manifested as a “deviant-related positivity,” with a shorter latency for the Q deviants. On a more general level, there is no a priori reason to assume that the N1 has a specific refractoriness status. This component is preceded by a positivity (P1), and as Figs. 2 and 3 show, deviant and standard stimuli elicited identical P1s in both experiments, instead of an “early deviant-related” positivity.

According to recent theories, the (auditory) MMN and vMMN are considered to be error signals that are generated by the discrepancy between the bottom-up flow of information and predictions represented within subsequent processing structures (e.g., Garrido, Kilner, Stephan, & Friston, 2009; Kimura et al., 2011; Stefanics, Kimura, & Czigler, 2011; Wacongne, Changeux, & Dehaene, 2012; Winkler & Czigler, 2012; Winkler, Denham, Mill, Böhm, & Bendixen, 2012). According to the predictive-coding approach, bottom-up evidence is combined with prior knowledge, and at each level of the hierarchical system, search takes place for a correspondence between bottom-up information and the top-down predictions (e.g., Friston, 2005). Lee and Mumford (2003) proposed a predictive coding mechanism in the visual system, and Spratling (2012) developed a predictive model that is capable of explaining search asymmetry results. According to this model, in the case of the deviant relative to the standard, the larger the discrepancy between the input predicted by the cells of primary visual cortex (specifically, the larger the discrepancy from a Gábor function—i.e., from the receptive field characteristics of the V1 cells), the larger the saliency of the target. As the model shows, in this respect, Q targets are more salient than O targets. Comparing the putative predictive mechanisms that operate in both the search and vMMN paradigms, the saliency-based approach appears to be similar in the search paradigms and in Experiment 2 of the present study. This observation arises because, in the O-standard sequences, an almost homogeneous map was compared to a map with some salient locations, but in the reverse condition, no such saliency difference occurred. The situation

in Experiment 1 was slightly different, but the explanation was similar. In the O-standard condition, the vertical bars of the deviants do not fit a primed set of Gábor filters, but in the reverse condition (the Q standard), the deviants stimulate primed receptive fields.

Concerning this explanation, two comments are needed. First, this account retains an important point of the original explanation proposed by Treisman and Souther (1985): Search asymmetry, at least in the case of O and Q characters, is the result of the additional element of the more efficient target (visual search). Similarly, an earlier vMMN arises from the additional element of the deviant stimuli. However, an important difference distinguishes the traditional explanation from the predictive-model explanation: Unlike the traditional explanation, the predictive model does not hypothesize attentional processes. Second, in the predictive model, as developed by Spratling (2012), the receptive field characteristics of the corpus geniculatum laterale and primary visual cortex are specified. However, as attempts to localize the vMMN have shown, this ERP component emerges in structures that are outside of the striate cortex (e.g., Stefanics et al., 2011; Sulykos & Czigler, 2011; Urakawa, Inui, Yamashiro, Tanaka, & Kakigi, 2010). It is important to emphasize that the essential feature of the predictive models is a hierarchical structure. Therefore, an error signal with an ERP manifestation on the scalp could originate in visual structures that are above the primary visual areas, such as within the prestriate cortex or parieto-occipital structures.

In conclusion, our visual system is more sensitive to the violation of regular stimulation if the deviant event contains additional stimulus elements. This asymmetry is similar to the asymmetric results of many visual search studies. Predictive-coding models explain both of these asymmetries without referring to attentional processes.

Author note I.C. developed the study concept, contributed to the interpretations, and drafted the article; I.S. designed the study, analyzed the data, and contributed to the interpretations; K.K.-K. contributed to data collection and to data analysis and interpretation. All of the authors approved the final version for submission. We thank Zsuzsa d'Albini for her assistance in gathering data for these experiments. This research was supported by the National Research Foundation, Hungary (OTKA), Grant No. 104462. The authors declared that they had no conflicts of interest with respect to their authorship or to the publication of this article.

References

- Ansorge, U., Kiss, M., Worschech, F., & Eimer, M. (2011). The initial stage of visual selection is controlled by top-down task set: New ERP evidence. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73, 113–122. doi:10.3758/s13414-010-0008-3
- Carrasco, M., McLean, T. L., Katz, S. M., & Frieder, K. S. (1998). Feature asymmetries in visual search: Effects of display duration, target eccentricity, orientation and spatial frequency. *Vision Research*, 38, 347–374.
- Czigler, I. (2007). Visual mismatch negativity: Violating of nonattended environmental regularities. *Journal of Psychophysiology*, 21, 224–230.
- Dowdall, J. R., Luczak, A., & Tata, M. S. (2012). Temporal variability of the N2pc during efficient and inefficient visual search. *Neuropsychologia*, 50, 2442–2453. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.06.015
- Friston, K. (2005). A theory of cortical responses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360, 815–836.
- Garrido, M. I., Kilner, J. M., Stephan, K. E., & Friston, K. J. (2009). The mismatch negativity: A review of underlying mechanisms. *Clinical Neurophysiology*, 120, 453–463.
- Kecskés-Kovács, K., Sulykos, I., & Czigler, I. (2013). Visual mismatch negativity is sensitive to symmetry as a perceptual category. *European Journal of Neuroscience*, 37, 662–667.
- Kimura, M., Katayama, J., Ohira, H., & Schröger, E. (2009). Visual mismatch negativity: New evidence from the equiprobable paradigm. *Psychophysiology*, 46, 402–409. doi:10.1111/j.1469-8986.2008.00767.x
- Kimura, M., Schröger, E., & Czigler, I. (2011). Visual mismatch negativity and its importance in visual cognitive sciences. *NeuroReport*, 22, 669–673.
- Kujala, T., Tervaniemi, M., & Schröger, E. (2007). The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: Theoretical and methodological considerations. *Biological Psychology*, 74, 1–19. doi:10.1016/j.biopsycho.2006.06.001
- Lee, T. S., & Mumford, D. (2003). Hierarchical Bayesian inference in the visual cortex. *Journal of the Optical Society of America A*, 20, 1434–1449.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1000–1014. doi:10.1037/0096-1523.20.5.1000
- Malinowsky, P., & Hübner, R. (2001). The effect of familiarity on visual-search performance: Evidence for learned basic features. *Perception & Psychophysics*, 63, 458–463. doi:10.3758/BF03194412
- Näätänen, R., Jacobsen, T., & Winkler, I. (2007). Memory-based or afferent processes in mismatch negativity (MMN): A review of evidence. *Psychophysiology*, 42, 25–32.
- Rosenholtz, R. (2001). Search asymmetries? What search asymmetries? *Perception & Psychophysics*, 63, 476–489.
- Saiki, J. (2008). Stimulus-driven mechanisms underlying visual search asymmetry revealed by classification image analyses. *Journal of Vision*, 8(4):30, 1–19. doi:10.1167/8.4.30
- Saiki, J., Koike, T., Takahashi, K., & Inoue, T. (2005). Visual search asymmetry with uncertain targets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 1274–1287.
- Shen, J., & Reingold, E. M. (2001). Visual search asymmetry: The influence of stimulus familiarity and low-level features. *Perception & Psychophysics*, 63, 464–475. doi:10.3758/BF03194413
- Spratling, M. W. (2012). Predictive coding as a model of the V1 saliency map hypothesis. *Neural Networks*, 26, 7–28.
- Stefanics, G., Kimura, M., & Czigler, I. (2011). Visual mismatch negativity reveals automatic detection of sequential regularity violation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 46.
- Sulykos, I., & Czigler, I. (2011). One plus one is less than two: Visual features elicit non-additive mismatch-related brain activity. *Brain Research*, 1398, 64–71.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15–48. doi:10.1037/0033-295X.95.1.15
- Treisman, A., & Souther, J. (1985). Search asymmetry: A diagnostic for preattentive processing of separable features. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114, 285–310. doi:10.1037/0096-3445.114.3.285

- Urakawa, T., Inui, K., Yamashiro, K., Tanaka, E., & Kakigi, R. (2010). Cortical dynamics of visual change detection based on sensory memory. *NeuroImage*, 52, 302–308.
- Vincent, B. T. (2011). Search asymmetries: Parallel processing of uncertain sensory information. *Vision Research*, 51, 1741–1750. doi:10.1016/j.visres.2011.05.017
- Wacongne, C., Changeux, J.-P., & Dehaene, S. (2012). A neuronal model of predictive coding accounting for the mismatch negativity. *Journal of Neuroscience*, 32, 3665–3678. doi:10.1523/JNEUROSCI.5003-11.2012
- Wang, Q., Cavanagh, P., & Green, M. (1994). Familiarity and pop-out in visual search. *Perception & Psychophysics*, 56, 495–500. doi:10.3758/BF03206946
- Winkler, I., & Czigler, I. (2012). Evidence from auditory and visual event-related potential (ERP) studies of deviance detection (MMN and vMMN) link predictive coding theories and perceptual object representations. *International Journal of Psychophysiology*, 83, 132–143. doi:10.1016/j.ijpsycho.2011.10.001
- Winkler, I., Denham, S., Mill, R., Böhm, T., & Bendixen, A. (2012). Multistability in auditory stream segregation: A predictive coding view. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 367, 1001–1012.
- Wolfe, J. M. (2001). Asymmetries in visual search: An introduction. *Perception & Psychophysics*, 63, 381–389. doi:10.3758/BF03194406