

Vékony Teodóra  
SZTE BTK, SZTE Neurológiai Klinika

## **Létezik-e „fül-előny” eltérési negativitás esetén?**

### **A ritmus és a hangmagasság szerepének vizsgálata**

Tagozat: Általános lélektan  
Témavezető: Dr. Csifcsák Gábor

Az ember auditoros észlelése során a különböző jellegű hangingerek feldolgozásában eltérő akusztikus jellemzők meghatározóak. A finom spektrális jellemzők (a különböző frekvencia-variánsok) a zenei ingerekben elengedhetetlenül fontosak; a megváltozásuk egy dallamban a legtöbb ember számára könnyen detektálható (Warrier, Zatorre 2002). Ezzel szemben a beszédértésben nem játszanak alapvető szerepet; ebben az esetben inkább az időbeli jellemzők a meghatározóak. Shannon, Zeng, Kamath, Wygonski és Ekelid (1995) vizsgálatukban azt tapasztalták, hogyha az emberi beszédben jelentősen csökkentik a spektrális csatornák számát (mindössze kettőre), de az időbeli felbontást érintetlenül hagyják, az nem okoz számottevő romlást a beszéd sikeres dekódolásában. Ezt az is magyarázza, hogy az emberi beszédben az intonációhoz használt frekvencia-variánsok jóval nagyobb léptékűek (átlagosan nagyobbak, mint egy oktáv) (Vos, Troost 1989), mint a dallamokban, amelyekben ez a lépték  $1/12$ -ed oktávtól  $1/6$ -od oktávig terjed (Patel, Peretz, Tramo, Labreque 1998).

Az auditoros ingerek más-más jellemzőinek feldolgozásában játszik szerepet a két agyfélteke. A bal agyfélteke jellemzően az időbeli mintázat (ritmika), míg a jobb agyfélteke inkább a spektrális felbontás elemzéséért felel (Zatorre, Belin, Penhune 2002). Léziós vizsgálatok kimutatták, hogy jobb temporális kérgi sérülést szenvedett betegek nem képesek felhasználni frekvenciával kapcsolatos információt különböző dallamok diszkriminációjában, míg a bal agyféltekei sérültek a hangsorban megjelenő időbeli mintázat alkalmazásában mutattak deficitet (Liégeois-Chauvel, et al. 1998). Zatorre (1988) vizsgálatában pedig jobb és bal temporális kérgi sérülteknek kellett megállapítania, hogy a hallott hangingerekben a hangmagasság nő, vagy pedig csökken. A feladatban deficitet kizárólag a jobb poszterior temporális kérgi sérültek mutattak, a bal temporális és a jobb anterior temporális sérültek jól teljesítettek ezen a feladaton. A frekvencia-információ azonban nem csak a dallamok megfelelő észlelésében fontos, hanem a beszéd prozódijának detektálásában is. Baum és Dwivedi (2003) jobb és bal agyféltekei sérültek vizsgálata során azt találták, hogy a

jobb oldalon sérülést elszenvedett betegek egyáltalán nem képesek megállapítani, hogy a hallott verbális ingerhez adekvát-e a prozódia; míg a bal félteke-sérültek ebben jobban teljesítettek.

Az időbeli mintázat és a spektrális jellemzők bal-jobb agyféltekei felosztását támasztják alá egészséges személyek vizsgálatából nyert agyi képpalkotó adatok is. Liégeois-Chauvel és Graaf, Laguitton és Chauvel (1999) intrakraniális mérések alapján azt mutatta ki, hogy a bal agyfélteke érzékeny a hallott hangingerekben megjelenő időbeli különbségekre, ez pedig nem jellemző a jobb agyfélteke esetében. A bal agyfélteke-előny nem csak beszédjellegű ingerek esetében jelent meg, hanem non-verbális ingerek prezentációja során is. Hyde, Perez és Zatorre (2008) fMRI-vel végzett vizsgálata során pedig azt találta, hogy a bal agyfélteke planum temporale-hez tartozó területei reagáltak a hangmagasság növekedésére, még az egész finom változások esetében is. Ezzel szemben a jobb agyfélteke azonos területei csak a nagyobb hangmagasság-változásokra reagáltak.

Ezen eredmények alapján feltételezhető, hogy a bal agyféltekei folyamatok az elemi feldolgozás szintjén a beszédben fontos szerepet játszó gyors időbeli diszkriminációért felelnek, míg a jobb agyféltekének jobb a spektrális felbontóképessége, és ezáltal inkább a zene, illetve a beszéd prozódijának észleléséhez köthető a szerepe. Zatorre és munkatársainak (2003) feltételezése szerint az auditoros modalításban ez a jellegzetes lateralizáció a spektrális és az időbeli feldolgozás között egyfajta trade-off következménye lehet. Ugyanis az auditoros ingerek rendkívül komplexek, és egészen más komputációs lépéseket is igényel az időbeli, illetve a spektrális dimenzióban történő információ feldolgozása. Ezt pedig még tovább nehezíti a hangingerekkel kapcsolatos magas jel-zaj arány is. Ennek következtében a leghatékonyabb megoldás lehet, ha két párhuzamos rendszer alakul ki: egy a finom, spektrális információ, illetve egy a gyors időbeli információ feldolgozására, amelyre egy-egy félteke auditoros rendszere specializálódott.

Van azonban arra utaló adat, hogy a spektrális-temporális felosztás már egészen korán, a cochleában jelenlévő szőrsejtek érzékenységében jelen van. Sininger és Cone-Wesson (2004) csecsemők vizsgálata kapcsán kimutatták, hogy a szőrsejtek nagyobb mértékben felerősítik azokat az ingereket, amelyeket az adott füllel kontralaterális agyfélteke dolgoz fel – a gyors, megnövekedett időbeli felbontással rendelkező ingerekre jobb, míg a különböző hangszíneket tartalmazó ingerekre bal fül előny mutatható ki. Mindez arra utal, hogy az akusztikus ingerekkel kapcsolatos bemeneti előny már egészen korán, a cochlea fülsejtjeinek szintjén elkezdődik, még mielőtt az információ az elsődleges akusztikus kéregig jutna.

### **Az auditoros lateralizáció viselkedéses vizsgálata: a dichotikus hallási helyzet**

A hangingerek kései feldolgozásának viselkedéses vizsgálatára egy népszerű módszer a Kimura (1961) által kidolgozott *dichotikus hallási helyzet*. Ez egy olyan paradigma, amely során a bal és a jobb fülbe szimultán eltérő ingereket játszanak le. A vizsgálat során a résztvevő beszámolója alapján próbálnak következtetéseket levonni a féltekei dominanciára vonatkozóan aszerint, hogy melyik fülbe lejátszott inger volt valamiféleképpen domináns az észlelésben. Az eljárást leggyakrabban különféle fonémák lejátszásával alkalmazzák; a klasszikus eredmény ezzel kapcsolatban az, hogy a jobb fülbe prezentált ingerekre jobban emlékeznek a vizsgálati személyek, azaz egyfajta jobb fül – azaz bal agyféltekei – előnyről beszélhetünk. Az általános modell ennek magyarázatára több tényező interakcióját feltételezi: egyrészt az auditoros input erősebben reprezentálódik a kontralaterális féltekében, illetve a verbális ingerek feldolgozásáért alapvetően a bal agyfélteke felelős. Emellett az ipszilaterális pályán érkező információt blokkolja a kontralaterálisan érkező és annak keresztül kell haladnia a corpus callosumon, ami szintén késlelteti az feldolgozást (Tervaniemi, Hugdahl 2003; Hugdahl 2005).

A dichotikus hallási helyzettel azonban nem csak beszédjellelű ingerek esetén mutatható ki különbség a hangingerek feldolgozásában a két agyfélteke között. Gordon (1970) számokat, dallamokat és különböző akkordokat mutatott be dichotikus hallási helyzetben. Az akkordok esetében a verbális ingerekkel ellentétben bal fül előnyt talált – amely arra enged következtetni, hogy bizonyos akusztikus és zenei karakterisztikák inkább a jobb agyféltekébe lateralizáltak. A szerző egy későbbi vizsgálatában olyan akusztikus szekvenciákat is prezentált a verbális ingerek és az akkordok mellett, amelyekben csak a ritmika volt eltérő. A verbális ingerek kapcsán jobb fül előnyt talált, míg az akkordok kapcsán bal fül előnyt: azonban a csak ritmikában különböző dallamok – azaz az időbeli mintázat által meghatározott szekvenciák – esetén is jobb fül előnyt mutatott ki. Ez arra utal, hogy nem maga az inger típusa az, ami determinálja, hogy melyik agyfélteke dominál a feldolgozásban (Gordon 1978). Natale (1977) vizsgálatában különböző ritmikus szekvenciákat játszottak le dichotikus helyzetben, és szintén bal fül előnyt mutattak ki ezekre az ingerekre. Emellett azt találták, hogy a bal fül előny annál erőteljesebb volt, minél komplexebb volt a szekvencia – azaz minél hosszabb volt, és minél több frekvencia-átmenetet tartalmazott.

Ezek a viselkedéses eredmények is azt támasztják alá, hogy a bal agyféltekei auditoros feldolgozást az időbeli mintázat elemzése jellemzi, így olyan ingerek feldolgozása kapcsolódik hozzá, amelyekben ez megtalálható,

mint például a beszédhangokban vagy a non-verbális, de ritmikus hangingerekben. A dichotikus hallási helyzet azonban egy olyan paradigma, ami erőteljes figyelmet igényel. A figyelmi folyamatok lateralizációja pedig a jobb agyfélteke fele húz; így kérdéses, hogy egy figyelmet igénylő feladat mennyire fest valós képet a kérdéses lateralizációs hatásokról (Heilman, Van Den Abell 1980).

### **Kognitív működésen innen, szenzoros feldolgozáson túl: az eltérési negativitás**

Az auditoros ingerek elektrofiziológiai vizsgálatára alkalmas az *eltérési negativitás* (EN, mismatch negativity, MMN) elnevezésű esemény által kiváltott potenciál (EKP). Az EN akkor jön létre, amikor egy auditoros inger gyakori (standard) elemei között egy a többitől eltérő, ritka (deviáns) elem jelenik meg: azaz egyfajta detektálható változás lép fel az akusztikus inger repetitív elemei között (Näätänen, Winkler 1999; Näätänen et al. 2001). Az EN megjelenése egyfajta jelzése lehet annak, hogy az auditoros kéreg átmenetileg fenntart egy reprezentációt az auditoros mintázat jellemzőivel kapcsolatban; egyfajta szenzoros emlékezeti jelről lehet szó. Tehát a gyakori elemekből felállított reprezentációhoz hasonlít minden új elemet, és amennyiben az addigi szabályosság megsérül, megjelenik az EN (Näätänen, Winkler 1999). Az EN létrejötte ezáltal azt közvetíti, hogy a standard és deviáns elemek olyan paraméterekben különböznek egymástól, amelyek neurális szinten kódoltak. Ezáltal az MMN lehetőséget ad arra, hogy megvizsgáljuk, hogy két paraméterében eltérő hanginger feldolgozása miként különbözik egymástól (Tervaniemi, Hugdahl 2003).

Az EN egy negatív komponens, ami általában a változás megjelenését követően 100-250 milliszekundummal csúcsosodik (Giard et al. 1990). Az EN megjelenik egyszerűbb és komplexebb akusztikus jellemzők devianciája esetén is: érzékeny például a hangmagasságra, a hang hosszúságára, az interstimulus intervallum hosszára, de az olyan komplexebb jellemzőkre is, mint a ritmika és az emberi beszéd sajátosságai. Az EN skalpeloszlás tekintetében szimmetrikusan jelenik meg, maximuma a frontocentrális elektródák felett jelentkezik. Az EN generátorai alapvetően a temporális kérgi területek (közel az elsődleges auditoros kéreghez), de vannak frontális komponensei is, amelyek főleg a jobb hemiszfériumba lokalizálhatóak (Giard et al. 1990).

Ez a komponens akkor is kiváltódik, amikor a vizsgálati személy nem figyel a hallott ingerekre, tehát preattentív folyamatokat reprezentálhat (Näätänen, Winkler 1999). Az EN azonban nem elemi folyamatokat tükröz, többnek tűnik, mint a szenzoros emlékezet megnyilvánulása. Az EN-t befolyásolják ugyanis közvetett top-down hatások; azok modulálhatják,

hogymely információk jutnak el az EN-által jelzett deviancia-felismerő folyamatokhoz (Sussman, Winkler, Wang 2003). Näätänen és munkatársainak (2001) megfogalmazásában az EN az auditoros kéregben megtalálható egyfajta „primitív szenzoros intelligencia” lenyomata lehet. Ez egyfajta hallási jelenetelemzést végez, azaz kiszűri és rendszerezi a számos különböző környezeti forrásból érkező hang temporális és spektrális jellemzőit. Ez a folyamat még ugyan a szenzoros kéreg szintjén történik, de már magasabb rendű kognitív folyamatok jellegzetességeit is magán viseli. Ezzel függhet össze, hogy a temporális mellett frontális generátorai is vannak az EN-nek, amely feltehetően a hangsorban megjelenő deviáns elem miatt fellépő automatikus figyelmi folyamatokhoz kapcsolódható (Giard et al. 1990).

Az EN újabb keletű értelmezései már kevésbé a repetitív akusztikus elem megváltozásával, hanem inkább az akusztikus szabályosság megsértésével kapcsolatos jelnek tekintik ezt az EKP-komponenst (Winkler 2007). Ezen értelmezés szerint az auditoros kéreg szabályossággal összefüggő reprezentációkat tárol az akusztikus környezettel kapcsolatban, és finom akusztikus szekvenciákat definiál a bejövő szenzoros információk alapján. Az újabb és újabb információk folyamatosan összehasonlításra kerülnek az addig felállított reprezentációval, és az EN akkor jelenik meg, amikor egy olyan elem jelenik meg az akusztikus környezetben, ami nem illik bele a szabályosságba, ezért a reprezentáció frissítésre kerül. Az EN tehát a prediktív modellbe való illeszkedés megsértését jelölheti; ezáltal a működése az akusztikus információk temporális csoportosítását segíti elő (Winkler 2007).

### **Ritmus és hangmagasság észlelése – mit mutat az EN?**

Az EN alkalmas lehet arra, hogy a temporális és a spektrális jellemzőkből származó predikciós folyamatokat is tetten érje. Mindezek ellenére eddig viszonylag kevés tanulmány próbálta az EN-módszer használatával feltérképezni a zeneileg képzetlen személyek akusztikus feldolgozásának jellemzőit a ritmus és a hangmagasság észlelésének tekintetében. Ladining, Honing, Hádén és Winkler (2009) azonban vizsgálatában zeneileg képzetlen személyek számára játszott le szigorúan metrikus ritmikus hangsorokat, amelyek közül némelyek metrikailag hangsúlyos (a hangsor elején) vagy kevésbé hangsúlyos helyen tartalmazott devianciát. Azt találták, hogy a metrikailag hangsúlyos helyen deviáns elemet tartalmazó hangsor hatására markáns EN jelent meg, míg a metrikailag kevésbé hangsúlyos deviancia gyengébb hatást eredményezett. Sőt, az időbeli szabályosság ezen megsértése következtében létrejövő EN már újszülött csecsemők esetében is kimutatható; amely arra utal, hogy ezen preattentív akusztikus feldolgozás veleszületett jellemzőnk lehet (Winkler et al. 2009).

Az EN kiváltható a hangmagassággal összefüggő predikációs folyamatok kapcsán is. Tervaniemi, Just, Koelsch, Widmann és Schröger (2005) zenészeket és zeneileg képzetlen személyeket vizsgált hangmagasság-diszkriminációs feladat során. Bár a viselkedéses eredmények alapján a zenészek jobb teljesítményt nyújtottak, a deviáns elem által kiváltott EN ugyanúgy megnyilvánult mindkét csoportban. Sőt, hasonlóan a ritmikával kapcsolatos eredményekhez (Winkler et al., 2009), a hangmagassággal kapcsolatos szabályosságok megsértése esetén is EN-hez hasonló negatívítást sikerült kimutatni újszülötteknél is (Alho et al. 1990).

Lappe és munkatársainak (2013) vizsgálatában magnetoencefalográfiával (MEG) vizsgálták a zenei jellegű ingerekre megjelenő EN lokalizációját. Az akkordok kapcsán megsértett dallamok esetében a jobb agyféltekében a felső temporális tekervény, az inferior frontális kéreg és a felső frontális és az orbitofrontális tekervény területére, míg a bal agyféltekében csak az inferior frontális kéreg és a felső temporális tekervény területére lokalizálták az EN-t. Ezzel szemben a ritmika tekintetében bilaterálisan jelent meg az EN az auditoros kéreg és az időbeli feldolgozással összefüggésbe hozott inferior parietális lebeny területén. Mindez arra utal, hogy az EN érzékeny a ritmus és a hangmagasság szabályosságainak észlelésének vizsgálatára is; sőt, az akusztikus ingerek különböző jellemzőinek megsértése eltérő agyféltekei hatásokat eredményezhet az EN kapcsán. Azonban mindez sokkal árnyaltabbnak tűnik, mint a klasszikus, például dichotikus hallási helyzetet alkalmazó kísérletekben. Fontos hangsúlyozni azonban, hogy az eddigi vizsgálatokban binaurális ingerlést alkalmaztak, így a ritmus illetve hangmagasság megsértésére való érzékenység agyféltekei különbségeit a fenti tanulmányokban nem vizsgálták.

### **Kutatási kérdések, célok**

A bemutatott kutatási eredmények alapján feltételezhető egyfajta bal-jobb agyféltekei felosztás a temporális (a ritmikával összefüggő), és a spektrális (a hangmagassággal összefüggő) akusztikus jellemzők feldolgozása között - ezekre a jellemzőkre pedig az EN is érzékeny. Ezzel kapcsolatban felmerül, hogy a dichotikus hallási helyzet során megfigyelt, az egyes akusztikus jellemzőre megjelenő jobb, illetve bal fül előny (azaz a bal-jobb temporális-spektrális előny) kimutatható-e EN-el? Azaz van-e különbség az EN amplitúdójában attól függően, hogy melyik fülbe prezentáljuk a hangingertert? Megvan-e még az EN által képviselt magasabb, de még preattentív szinten is ez a különbség?

Kísérletünkben monoaurálisan mutattunk be a jobb és a bal fülbe hangsorokat, amelyek vagy ritmika (azaz temporális jellemzők), vagy hangmagasság (azaz spektrális jellemzők) szempontjából többségében standard,

ritkábban pedig deviáns elemeket tartalmazott. Hipotéziseink szerint az EN mind a ritmus, mind a frekvencia-deviáns elemekre megjelenik. Azt várjuk továbbá, hogy bal fül előny fog megnyilvánulni a frekvencia-deviáns ingerekre. Azaz a bal fülbe lejátszott ingerek esetén nagyobb amplitúdójú EN lesz kimutatható, mivel a spektrális feldolgozásért a kontralaterális, jobb agyfélteke felel. Ezzel ellentétesen azt várjuk, hogy jobb fül előny lesz megfigyelhető a ritmus-deviáns ingerekre, vagyis a jobb fülbe lejátszott ingerek esetén lesz megfigyelhető nagyobb amplitúdójú ritmus EN. Amennyiben igen, az eredmény arra utalna, hogy azon predikációs folyamatok, amelyeket az EN jelez, nem egységesek, hanem bemeneti csatornától (fültől) függően érzékenyebbek a nyelvi megértés illetve a zenei feldolgozás szempontjából hangsúlyosabb akusztikus jellemzők által felállított szabályosságok megsértésére.

## 1. Módszerek

### 1.1. Résztevők

A vizsgálatban 21 személy vett részt (8 férfi és 13 nő), átlagéletkoruk 25,9 év ( $SD = 5,12$  év) volt. Mindannyian önkéntes alapon vettek részt a vizsgálatban. A résztvevők zenei előképzettséggel nem rendelkeztek, hallásuk ép volt. Egy résztvevő sem szenvedett neurológiai vagy pszichiátriai zavarban. Mérési hiba miatt kizárásra került 2 fő, míg elemzési hiba miatt további 1 fő, így a végleges mintában 18 fő adatai szerepelnek. A kísérlet megkezdése előtt tájékoztattuk a résztvevőket a kísérlet menetéről, és informált beleegyezést írtunk alá velük (1. melléklet). Az EEG-regisztráció megkezdése előtt felvettük az Edinburgh-féle Kezességi Tesztet (Oldfield 1971) (2. melléklet), ami alapján a résztvevők 85,7%-a jobbkezesnek bizonyult. A kísérlet során a vonatkozó etikai elveket betartottuk (3. melléklet).

### 1.2. Eszközök

A kísérlet során monoaurálisan hanginger-szekvenciákat mutattunk be a résztvevőknek: a szekvenciákat vagy a bal fülbe (*balfüles kondíció*) vagy a jobb fülbe (*jobbfüles kondíció*) prezentáltuk. A szekvenciáknak alapvetően kétféle típusa volt az alapján, hogy milyen közös zenei jellemzőkkel bírtak a szekvencia elemei. Az egyikben a szekvencia elemei a kialakított ritmus tekintetében (*ritmus kondíció*), míg a másikkban a hangmagasság tekintetében (*hangmagasság kondíció*) voltak azonosak. A kétféle szekvencia-típusból további kétféle szekvenciát hoztunk létre. Volt egy-egy olyan szekvencia, amely kizárólag azonos zenei jellemzőkkel bíró hangokat tartalmazott (*kontroll kondíció*), valamint egy olyan szekvencia, amely öt különböző hangból állt, amelyből négy beleillett a zenei mintázatba a

kondíciónak megfelelően a hangmagasság vagy a kialakított ritmika alapján (standard hangok), míg egy hang nem (deviáns hangok) (*deviáns kondíció*).

A *ritmus kondíciók* esetén a Winkler és munkatársai (2009) által használt ingereket használtuk fel. A lejátszott hangok cintányér, pergődob és láb-dob komponenseket tartalmazó rock-alapot jelentettek. A ritmus-kísérleti kondíció négy olyan standard ingereket tartalmazott (S1-S4), amelyek mind nyolc nyolcadot tartalmaztak, bizonyos pozíciókon szünetek beiktatásával, de minden esetben szigorúan metrikusak maradtak. A deviáns ingert az S1 stimulus első nyolcadának eltávolításával kaptuk meg, ami által egy szinkópa alakult ki, ami semmiféleképpen nem illett bele az S1-S4 ingerek által kialakított ritmikus mintázatba. A ritmus-deviáns kondícióban összesen 1470 ingert mutattunk be, 7 blokkba leosztva. Az ingereket random módon játszottuk le, és minden blokk 90%-a standard ingerből állt (az S1, S2, S3 és S4 ingerek egyenlő arányban szerepeltek), 10%-a pedig deviáns ingerből. A ritmus-kontroll kondícióban a ritmus-deviáns kondícióban deviánsként alkalmazott hangingert játszottuk le 150 alkalommal, így ez az inger ebben a feltételben standardnak volt tekinthető. Egy hang 75 milliszekundum hosszúságú volt, és a hangok közötti intervallum 150 milliszekundum volt.

A *hangmagasság kondíciókhoz* a hangokat az University of Iowa digitális hanggyűjteményéből (<http://theremin.music.uiowa.edu/MIS.html>) választottuk ki. A hangokat Audacity nevű program 2.1.0-s változatának segítségével vágtuk. Az ingerek ebben a kondícióban egy-egy hangból álltak. A standard ingerek négy különböző hangszeren lejátszott „Esz” hangok (frekvencia: 311.127 Hz), míg a deviáns ingerek egy ötödik hangszeren lejátszott „C” hangok (frekvencia: 523.251 Hz) voltak. A hangmagasság-kísérleti kondícióban összesen 1400 ingert mutattunk be két blokkban prezentálva. Az ingereket ezúttal is random sorrendben játszottuk le, és a blokk 90%-a standard, míg a 10%-a deviáns ingerekből állt. A hangmagasság-kontroll kondícióban ezúttal is a hangmagasság-deviáns kondícióban deviáns hangként használt hangot használtuk fel ingerként, amelyet 150 alkalommal mutattunk be. Egy hang ezúttal is 75 milliszekundum hosszúságú volt, és a hangok közötti intervallum 150 milliszekundum volt.

### **1.3. Eljárás**

A kísérletre a Szegedi Tudományegyetem Pszichológiai Intézetének Grastyán Endre EEG-laborjában került sor. Egy hangszigetelt helyiségben fejhallgató segítségével játszottuk le a szekvenciákat a kísérleti személyeknek monoaurálisan, vagy kizárólag a jobb, vagy kizárólag a bal fülbe. Eközben a résztvevők egy hordozható számítógépen egy nagyjából 90 perces általuk választott hang nélküli, feliratos filmet tekintettek meg. Az instrukció az



volt, hogy nézzék a filmet, és a lejátszott hangingerekre lehetőleg ne figyeljenek. Az ingerprezentáció a PsychoPy 1.80.00 program segítségével történt (Peirce 2007). A kísérlet 22 blokkból állt (8 ritmus-blokk és 3 frekvencia-blokk egyszer a bal fülbe, egyszer pedig a jobb fülbe prezentálva). A blokkok sorrendjét kísérleti személyenként pszeudorandom módon variáltuk. A blokkok között 1–2 perc pihenőt kaptak a személyek. A kísérlet így összesen körülbelül 90 percet vett igénybe.

Az ingerprezentáció alatt EEG-mérést végeztünk egy 32 csatornás BioSemi készülékkel, aktív elektródákkal. Az elektródákat a nemzetközi 10/20-as rendszer alapján helyeztük fel (Fp1, AF3, F7, F3, FC1, FC5, T7, C3, CP1, CP5, P7, P3, Pz, PO3, O1, Oz, O2, PO4, P4, P8, CP6, CP2, C4, T8, FC6, FC2, F4, F8, AF4, Fp2, F7, Cz). Külső elektródákat a mastoideusok feletti területre (TP9, TP10), illetve az orrhegyre helyeztünk. A felvétel a BioSemi ActiView szoftverrel történt. A mintavételezési frekvencia 1024 Hz volt, amelyet a mérést követően 512 Hz-re decimáltunk.

#### **1.4. Elemzés**

Az adatelemzéshez a MatLab R2013a (8.1.0.604) szoftvert használtuk az EEGLab (verziószám: 13.0.0) toolbox-szal, és az ERPLab (verziószám: 4.0.31) pluginnal. A felvételeket epochokra vágtuk, amelyeknek kezdete az inger kezdete előtt 100 milliszekundummal volt, a vége pedig inger bemutatását követően 400 milliszekundummal. Ezt követően 40 Hz-es felsőszűrőt, és 0.1 Hz-es alsószűrőt alkalmaztunk. Referenciaként az orrhegyre helyezett elektródát jelöltük meg. A pislogás és az oldalirányú szemmozgás miatt keletkezett artefaktumokat manuálisan válogattuk ki, majd független komponenselemzést (ICA) is futtattunk az adatokon, amely eredményként a pislogással összefüggő műtermékeket az időbeli lefutásuk és a skalpeloszlásuk alapján távolítottuk el az EEG jelből.

Kétféle elemzést végeztünk el: az első típusú elemzés során összehasonlítottuk külön-külön a ritmus és a hangmagasság kondíciókban az ingerbemutatást követően létrejövő amplitúdó-emelkedéseket a kontroll és a deviáns inger esetében, továbbá a bal és a jobbfüles ingerbemutatás, a régiók, illetve az anterior-poszterior felosztás mentén. Ez az elemzés arra szolgált, hogy megvizsgáljuk, a különböző kísérletes feltételekben (ritmus és frekvencia, jobb és bal füles ingerlés) a deviáns hang valóban nagyobb negativitást vált-e ki a vizsgált időbelintervallumban, mint a standard hang. Az összehasonlításra ismételt méréseket varianciaanalízist használtunk, amelynek kontroll-feltételes faktorai a következők voltak: SZABÁLYOSSÁG faktor (szintjei: 1. kontroll; 2. deviáns), FÜL (szintjei: 1. bal füles ingerlés; 2. jobb füles ingerlés), RÉGIÓ faktor (szintjei: 1. bal féltekei

elektrodák – F3, FC1; 2. centrális elektrodák – Fz, Cz; 3. jobb féltekei elektrodák – F4, FC2), illetve ANTERIOR-POSZTERIOR faktor (szintjei: 1. anterior - F3, Fz, F4 elektrodák; 2. poszterior: FCz1, Cz, FCz2 elektrodák).

A másik típusú elemzéshez kivontuk a deviáns kondícióból a kontroll kondíció értékeit, és az így kapott eltérési negativitási amplitúdót hasonlítottuk össze a két ingertípus esetében, valamint ismét az ingerbemutatás oldala, a régiók és az anterior-poszterior felosztás mentén. Az összehasonlításra ebben az esetben is ismételt méréses varianciaanalízist használtunk, amelynek kontroll-feltételes faktorai a következők voltak: INGERTÍPUS faktor (szintjei: 1. hangmagasság-deviáns; 2. ritmus-deviáns), FÜL faktor (szintjei: 1. bal füles ingerlés; 2. jobb füles ingerlés), RÉGIÓ faktor (szintjei: 1. bal féltekei elektrodák – F3, FC1; 2. centrális elektrodák – Fz, FCz; 3. jobb féltekei elektrodák – F4, FC2), illetve ANTERIOR-POSZTERIOR faktor (szintjei: 1. anterior - F3, Fz, F4 elektrodák; poszterior: FCP1, Cz, FCP2 elektrodák).

A ritmus-deviáns eltérési negativitás csoportátlag csúcsa 125 milliszekundumnál jelentkezett, így a Winkler, Háden, Ladinig, Sziller és Honing (2009) által használt  $\pm 25$  milliszekundumos időbelintervallumban, tehát ebben az esetben 100 és 150 milliszekundum között számoltunk átlagamplitúdót. A hangmagasság-deviáns eltérési negativitás csoportátlag csúcsa 95 milliszekundumnál jelentkezett, ezért 70 és 120 milliszekundum közötti átlagamplitúdót használtunk. A szignifikancia-szintet egységesen  $p < 0,05$  értékben határoztuk meg.

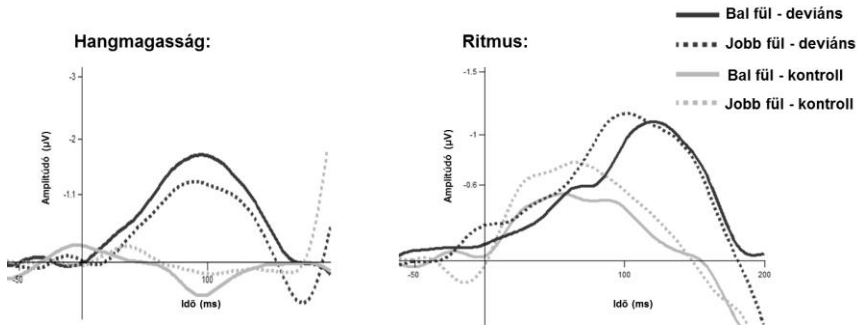
## 2. Eredmények

### 2.1. Ritmus és hangmagasság ingertípusok

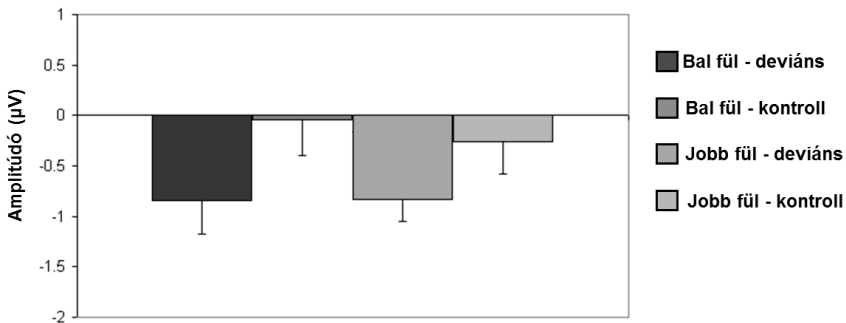
A ritmus ingertípus esetén a SZABÁLYOSSÁG főhatás szignifikánsnak bizonyult. ( $F(1,17) = 7,23$ ;  $p = 0,016$ ). A deviáns ingerek negatívabb amplitúdót eredményeztek a kontrollokhoz képest. Más főhatás nem nyilvánult meg (1. ábra).

Interakciós hatás mutatkozott a FÜL  $\times$  RÉGIÓ faktorok között ( $F(2,34) = 6,96$ ;  $p = 0,03$ ). Mindkét féltekében nagyobb mértékű negativitás jelent meg a kontralaterálisan bemutatott ingerekre, azaz a bal hemiszférium felett a jobb fülbe, míg a jobb hemiszférium felett a bal fülbe lejátszott ingerekre. Emellett a SZABÁLYOSSÁG  $\times$  FÜL  $\times$  RÉGIÓ hármas interakció is szignifikánsnak bizonyult ( $F(2,34) = 6,171$ ;  $p = 0,005$ ) (2. ábra). A poszt-hoc tesztet Bonferroni-korrekcióval végeztük el. Ez alapján a bal fülbe lejátszott deviáns ingerek nagyobb negativitást váltottak ki a kontrollhoz képest minden régióban (bal félteke:  $p = 0,01$ ; centrális:  $p = 0,029$ ; jobb félteke:  $p = 0,022$ ). A jobb fülbe lejátszott ingereknél a bal félteke felett

nem jelenik meg különbség a deviáns és kontroll ingerek között ( $p = 0,344$ ), míg tendencia figyelhető meg centrálisan ( $p = 0,053$ ) és a jobb félteke felett ( $p = 0,074$ ). A ritmus ingertípus esetén még a RÉGIÓ  $\times$  ANTERIOR-POSTERIOR faktorok között mutatkozott interakció ( $F(2,34) = 0,639$ ;  $p < 0,001$ ), azonban az irrelevancia miatt ezen eredmény további elemzésétől eltekintettünk.

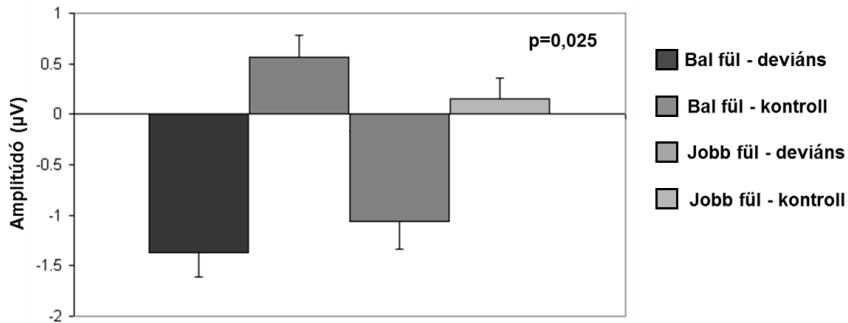


1. ábra A standard és a deviáns ingerekre megjelenő amplitúdó-emelkedés. Baloldalon a hangmagasság, jobb oldalon a ritmussal kapcsolatos eredmények láthatók. Mindkét ábrán a vízszintes tengelyen az idő (milliszekundumban), a függőleges tengelyen az amplitúdó mértéke ( $\mu V$ ), a negativitás a konvenciónak megfelelően felfelé van ábrázolva. Sötéttel a deviáns, világosabb árnyalattal a kontroll (standard) ingerek láthatók. Egyenes vonallal a bal fül, szaggatott vonallal a jobbfüles ingereket jelöltük.



2. ábra A ritmus ingertípus esetén mért amplitúdó értékei. A vízszintes tengelyen a négy csoport látható (bal fül deviáns, bal fül kontroll, jobb fül deviáns, jobb fül kontroll). A függőleges tengelyen az amplitúdó mértéke látható ( $\mu V$ ). A hibásáv a szórást jelöli. A feltüntetett  $p$  érték a SZABÁLYOSSÁG  $\times$  FÜL interakciót jelöli.

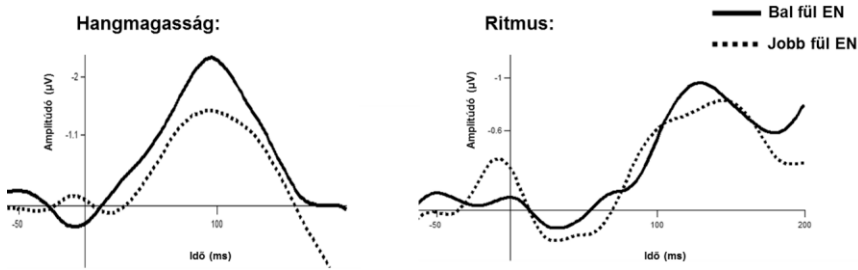
A hangmagasság ingertípus esetén a SZABÁLYOSSÁG főhatás szintén szignifikánsnak bizonyult ( $F(1,17) = 36,17; p < 0,001$ ). Ebben az esetben is a deviáns ingerek váltottak ki nagyobb mértékű negativitást a kontroll ingerekhez képest. Interakció mutatkozott meg a SZABÁLYOSSÁG  $\times$  FÜL faktorok között ( $F(1,17) = 6,05; p = 0,025$ ) (3. ábra). A hatást az okozta, hogy a bal fülbe lejátszott ingerek esetén a deviáns és kontroll ingerek között fellépő negativitásbeli különbség nagyobb mértékűnek bizonyult, mint a jobb fülbe lejátszott ingerek esetén. Egyéb interakciós hatást nem mutattunk ki.



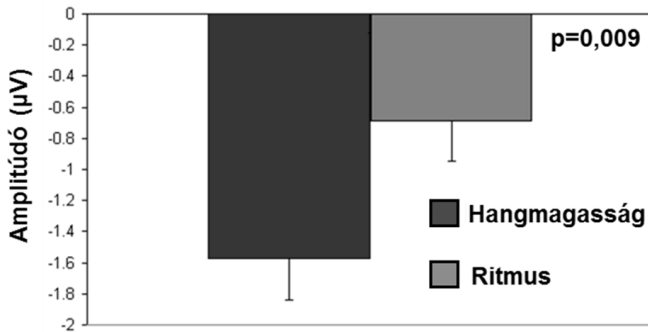
3. ábra A hangmagasság ingertípus esetén mért amplitúdó értékei. A vízszintes tengelyen a négy csoport látható (bal fül deviáns, bal fül kontroll, jobb fül deviáns, jobb fül kontroll). A függőleges tengelyen az amplitúdó mértéke látható (µV). A hibaszáv a szórást jelöli. A feltüntetett p érték a SZABÁLYOSSÁG  $\times$  FÜL interakciót jelöli.

## 2.2. Eltérési negativitás

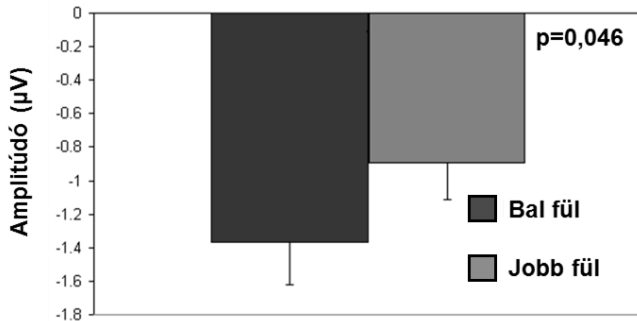
Az eltérési negativitás esetében INGERTÍPUS főhatást mutattunk ki ( $F(1,17) = 8,66; p = 0,009$ ); a hangmagasság ingertípusú szekvenciák esetében az eltérési negativitás nagyobb mértékűnek mutatkozott, mint a ritmus szekvenciáknál (4. és 5. ábra). Főhatást találtunk továbbá a FÜL faktor esetében is ( $F(1,17) = 4,63; p = 0,046$ ) (6. ábra). A bal fülbe prezentált ingerek nagyobb eltérési negativitást okoztak, mint a jobb fülbe prezentált ingerek. További főhatások nem mutatkoztak.



4. ábra Az eltérési negativitás. Baloldalon a hangmagasság, jobb oldalon a ritmussal kapcsolatos eredmények láthatók. Mindkét ábrán a vízszintes tengelyen az idő (milliszekundumban), a függőleges tengelyen az amplitúdó mértéke ( $\mu V$ ), a negativitás a konvenciónak megfelelően felfelé van ábrázolva. Egyenes vonallal a bal füles, szaggatott vonallal a jobbfüles ingereket jelöltük.

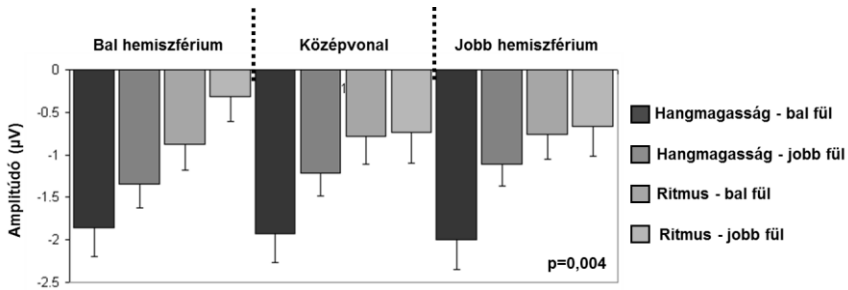


5. ábra A két inger típus esetén mért eltérési negativitás mértéke. A vízszintes tengelyen a két inger típus látható (sötéttel a hangmagasság, világossal a ritmus). A függőleges tengelyen az amplitúdó mértéke látható ( $\mu V$ ). A hibaszáv a szórást jelöli. A feltüntetett p érték az INGER TÍPUS főhatást jelöli.

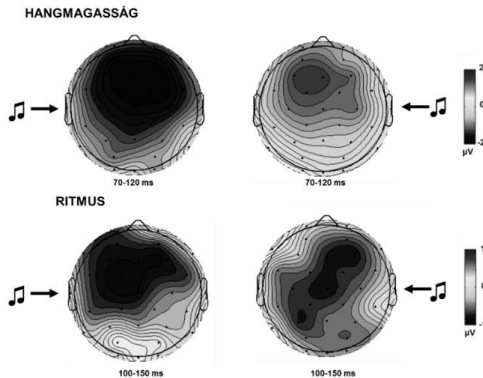


6. ábra A két inger típus esetén mért eltérési negativitás mértéke. A vízszintes tengelyen a két bemeneti csatorna (fül) látható (sötéttel a bal fül, világossal a jobb fül). A függőleges tengelyen az amplitúdó mértéke látható ( $\mu V$ ). A hibaszáv a szórást jelöli. A feltüntetett p érték a FÜL főhatást jelöli.

INGERTÍPUS  $\times$  FÜL  $\times$  RÉGIÓ hármass interakciót találtunk ( $F(2,34) = 6,7$ ;  $p = 0,004$ ). A Bonferroni-korrekcióval végzett poszt-hoc elemzést alapján a bal fülbe prezentált ingerek esetén mindhárom régióban nagyobb az eltérési negativitás mértéke a hangmagasság-szekvenciák esetében (bal félteke:  $p = 0,02$ , centrális:  $p = 0,01$ , jobb félteke:  $p = 0,004$ ) (7. és 8. ábra). Ezzel szemben a jobb fülbe prezentált ingerek esetén pedig csak a bal agyfélteke fölött nagyobb az eltérési negativitás a hangmagasság esetében ( $p = 0,012$ ), centrálisan ( $p = 0,308$ ) és a jobb agyfélteke ( $p = 0,314$ ) felett nem. Több interakciót nem mutattunk ki.



7. ábra Az eltérési negativitás mértéke a három régió felett a két ingertípus és a két bemeneti csatorna esetében. A vízszintes tengelyen a tizenkét csoport látható (a bal hemiszfériumban, a középvonal területén és a jobb hemiszfériumban pirossal a bal füles hangmagasság ingertípus, zölddel a jobb füles hangmagasság ingertípus, narancssárgával a bal füles ritmus ingertípus és világoszölddel a jobb füles ritmus ingertípus. A függőleges tengelyen az amplitúdó mértéke látható ( $\mu V$ ). A hibásáv a szórást jelöli. A feltüntetett  $p$  érték az INGERTÍPUS  $\times$  FÜL  $\times$  RÉGIÓ interakciót jelöli.



8. ábra A hangmagassággal és a ritmussal kapcsolatos eltérési negativitás skalpeloszlása. A hangmagasság esetében 70 és 120 milliszekundum, a ritmus esetében 100 és 150 milliszekundum között. A skálázás a hangmagasság esetében 2 és  $-2 \mu V$  közötti, a ritmus esetében 1 és  $-1 \mu V$  közötti.

### 3. Megvitatás

Kutatásunk során megvizsgáltuk, hogy a predikációs folyamatokat jelző eltérési negativitás kapcsán kimutatható-e különbség a bemeneti csatornától függően (azaz, hogy melyik fülbe prezentáljuk az ingert) az időbeli és spektrális akusztikus jellemzők feldolgozásában. Ennek vizsgálatára monoaurálisan mutattunk be akusztikus szekvenciákat a résztvevőknek, amelyek vagy ritmika (időbeli jellemző) vagy hangmagasság (spektrális jellemző) tekintetében többségében egységes (standard) ingereket tartalmaztak. Időnként viszont ezektől eltérő (deviáns) ingerek sértették meg a standard ingerek által felállított akusztikus szabályosságot. A vizsgálat során EKP-vel mértük a szabályosság megsértéséhez kapcsolódóan megjelenő elektrofiziológiai jellemzőket.

Vizsgálatunk során sikerült kimutatnunk EN-t mind a ritmus, mind pedig a hangmagasság ingertípusok esetében, azaz a deviáns ingerek nagyobb amplitúdót eredményeztek, mind a standard ingerek. Mindkét ingertípus kapcsán fül-előnyt is találtunk: mind a ritmus, mind a hangmagasság esetében a bal fülbe prezentált ingerek kapcsán mutattunk ki nagyobb amplitúdójú EN-t. Ez az eredmény a hangmagasság kapcsán egyezik a hipotézisünkkel: a dichotikus hallási helyzetben megfigyelhető eredményekkel megegyezően (Gordon 1970; Natale 1977; Gordon 1978) az eltérési negativitás által képviselt magasabb szinten is megmutatkozik fül-előny. A ritmussal kapcsolatos eredmény azonban eltér az általunk várttól, ugyanis ebben az esetben jobb-fül előnyre számítottunk, viszont bal fül előnyt mutattunk ki. Továbbá skalpeloszlás tekintetében elsősorban a ritmus megsértésekor erőteljesebb hatások mutatkoztak a jobb agyfélteke felett. Ezzel kapcsolatban egy lehetséges magyarázatnak tartjuk azt, hogy a ritmikus ingerekként kifejezetten zenei rock ingereket használtunk, ugyanis a beszéd ritmikája talán különbözhet a zenei ritmikától. Így mivel a zenei feldolgozás esetében inkább bal fül előny-jellemző (Gordon 1970), ez okozhatta a megjelenő hatásokat. Ezen magyarázatot némileg alátámasztja az a tény, hogy a hangmagasság kapcsán alapvetően nagyobb mértékű EN-t mutattunk ki, illetve skalpeloszlás tekintetében is – ugyan nem szignifikáns mértékben, de – a hangmagasság esetében erőteljesebb jobb agyféltekei aktiváció figyelhető meg. Globálisan azonban a skalp felett, nem kontralaterálisan jelentkezik az aktiváció – ennek kapcsán azonban nem volt várható egyértelmű lateralizáció, ugyanis ahogy Lappe és munkatársainak (2013) MEG alapú eredményei is rámutatnak, az EN által kiváltott aktiváció féltekei sajátosságai kifejezetten árnyaltnak mutatkoznak. Mindezek alapján előfordulhat, hogy valóban maga az inger jellege okozta ezt az eredményt. Ennek viszont némileg ellent mond Gordon (1978) eredménye, aki dichotikus hallási helyzetben jobb fül előnyt

tudott kimutatni azokra a dallamokra, amelyek kizárólag ritmikai jellemzőkben különböztek. Mindenesetre érdemes lenne a kérdést további vizsgálni nem elemi hangokkal, hanem például fonémákkal – azaz vajon más eredményt kapunk-e, ha a különböző fonémák ritmikáját és hangmagasságát torzítjuk. Ezzel választ kaphatnánk arra, hogy vajon általános jelenség-e a bal fül előny ebben az esetben, vagy ez kifejezetten a zenei ingerek kapcsán jelentkezik-e.

Összességében elmondhatjuk, hogy kutatásunk során sikerült kimutatnunk bemeneti csatornától függő előnyt a hangmagasság feldolgozása kapcsán eltérési negativitással. Ezzel kapcsolatban tudomásunk szerint korábban még nem mutattak ki lateralizációs hatásokat. Eddig a fülre vonatkozó hatásokat elsősorban szenzoros-perceptuális szinten vizsgálták dichotikus hallási helyzetben (Kimura 1961; Gordon 1970; Natale 1977; Gordon 1978) vagy például pozitron emissziós tomográfiával (Sininger, Cone-Wesson 2004). Vizsgálatunk során azonban a magasabb szintet feldolgozási szintet képviselő, a kognitív feldolgozás és a szenzoros észlelés között elhelyezkedő EN kapcsán is találtunk erre vonatkozó hatásokat a hangmagasság esetében. Ezen eredmények közelebb vihetnek ahhoz, hogy az eltérési negativitást mint figyelemtől független, de magasabb kognitív működést tükröző eseménnyel kiváltott potenciál működését és jelentőségét megértsük.

### **Irodalom**

- Alho, K., Sainio, K., Sajaniemi, N., Reinikainen, K., és Näätänen, R. (1990): Event-related brain potential of human newborns to pitch change of an acoustic stimulus. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 77. 2. sz. 151–155.
- Baum, S. R., és Dwivedi, V. D. (2003): Sensitivity to prosodic structure in left-and right-hemisphere-damaged individuals. *Brain and Language*, 87. 2. sz. 278–289.
- Giard, M. H., Perrin, F., Pernier, J., és Bouchet, P. (1990): Brain generators implicated in the processing of auditory stimulus deviance: A topographic event-related potential study. *Psychophysiology*, 27. 6. sz. 627–640.
- Gordon, H. W. (1970): Hemispheric asymmetries in the perception of musical chords. *Cortex*, 6. 4. sz. 387–398.
- Gordon, H. W. (1978): Left hemisphere dominance for rhythmic elements in dichotically-presented melodies. *Cortex*, 14. 1. sz. 58–70.



- Heilman, K. M., és Van Den Abell, T. (1980): Right hemisphere dominance for attention The mechanism underlying hemispheric asymmetries of inattention (neglect). *Neurology*, 30. 3. sz. 327–327.
- Hugdahl, K. (2005): Symmetry and asymmetry in the human brain. *European Review*, 13. 2. sz. 119–133.
- Hyde, K. L., Peretz, I., és Zatorre, R. J. (2008): Evidence for the role of the right auditory cortex in fine pitch resolution. *Neuropsychologia*, 46. 2. sz. 632–639.
- Kimura, D. (1961): Cerebral dominance and the perception of verbal stimuli. *Canadian Journal of Psychology*, 15. 3. sz. 166. Absztrakt, forrása: Psycnet Abstracts Item: 36:04:4JG66K
- Lappe, C., Steinsträter, O., és Pantev, C. (2013): Rhythmic and melodic deviations in musical sequences recruit different cortical areas for mismatch detection. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. 260. sz. doi: 10.3389/fnhum.2013.00260.
- Liégeois-Chauvel, C., Peretz, I., Babaï, M., Laguitton, V., és Chauvel, P. (1998): Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. *Brain*, 121. 10. sz. 1853–1867.
- Liégeois-Chauvel, C., de Graaf, J. B., Laguitton, V., és Chauvel, P. (1999): Specialization of left auditory cortex for speech perception in man depends on temporal coding. *Cerebral Cortex*, 9. 5. sz. 484–496.
- Näätänen, R., és Winkler, I. (1999): The concept of auditory stimulus representation in cognitive neuroscience. *Psychological Bulletin*, 125. 6. sz. 826.
- Näätänen, R., Tervaniemi, M., Sussman, E., Paavilainen, P., és Winkler, I. (2001): ‘Primitive intelligence’ in the auditory cortex. *Trends in Neurosciences*, 24. 5. sz. 283–288.
- Natale, M. (1977): Perception of nonlinguistic auditory rhythms by the speech hemisphere. *Brain and Language*, 4. 1. sz. 32–44.
- Oldfield, R. C. (1971): The Assessment and Analysis of Handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9. 9–97.
- Patel, A. D., Peretz, I., Tramo, M., és Labreque, R. (1998): Processing prosodic and musical patterns: a neuropsychological investigation. *Brain and Language*, 61. 1. sz. 123–144.
- Peirce, J. W. (2007): PsychoPy – psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162. 1. sz. 8–13.
- Shannon, R. V., Zeng, F. G., Kamath, V., Wygonski, J., és Ekelid, M. (1995): Speech recognition with primarily temporal cues. *Science*, 270. 5234. sz. 303–304.

- Sininger, Y. S., és Cone-Wesson, B. (2004): Asymmetric cochlear processing mimics hemispheric specialization. *Science*, 305. 5690. sz. 1581–1581.
- Sussman, E., Winkler, I., és Wang, W. (2003): MMN and attention: competition for deviance detection. *Psychophysiology*, 40. 3. sz. 430–435.
- Tervaniemi, M., és Hugdahl, K. (2003): Lateralization of auditory-cortex functions. *Brain Research Reviews*, 43. 3. sz. 231–246.
- Tervaniemi, M., Just, V., Koelsch, S., Widmann, A., és Schröger, E. (2005): Pitch discrimination accuracy in musicians vs nonmusicians: an event-related potential and behavioral study. *Experimental Brain Research*, 161. 1. sz. 1–10.
- Vos, P. G., és Troost, J. M. (1989): Ascending and descending melodic intervals: Statistical findings and their perceptual relevance. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 6. 4. sz. 383–396.  
Absztrakt, forrása: UC Press Item: 1533-8312
- Warrier, C. M., és Zatorre, R. J. (2002): Influence of tonal context and timbral variation on perception of pitch. *Perception and Psychophysics*, 64. 2. sz. 198–207.
- Winkler, I. (2007): Interpreting the mismatch negativity. *Journal of Psychophysiology*, 21. 3–4. sz. 147–163.
- Winkler, I., Háden, G. P., Ladinig, O., Sziller, I., és Honing, H. (2009): Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106. 7. sz. 2468–2471.
- Zatorre, R. J. (1988): Pitch perception of complex tones and human temporal-lobe function. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84. 2. sz. 566–572.
- Zatorre, R. J., Belin, P., és Penhune, V. B. (2002): Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, 6. 1. sz. 37–46.