



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Természettudományi Kar
Kognitív Tudományi Tanszék

A HALLÁSI KÉPZELET ELEKTROFIZIOLÓGIAI KORRELÁTUMAINAK VIZSGÁLATA

Készítette: Könczöl Adél Éva

Számítógépes és kognitív idegtudomány szakos hallgató, II. évfolyam

Konzulens: Dr. Háden Gábor Péter

MTA-TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Hang- és
Beszédészlelés Kutatócsoport

Tudományos Diákköri Konferencia

2018. 10. 26.

Összefoglalás

Kutatás célja zeneileg képzett és zeneileg képzetlen személyek Eseményfüggő Kiváltott Potenciál (EKP) válaszainak összehasonlítása hangok hallgatása, illetve elképzelése közben. A normál hangfeldolgozás során megfigyelhető az N1 kiváltott válasz, amit többek között az elképzelés is modulálhat. Van azonban egy másik hullám, mely az N1-gyel ellentétben kizárólag kép vagy hang elképzelése esetén figyelhető meg, ezt késői pozitív komponensnek (Late Positive Component, LPC) nevezzük (Wu és mtsai, 2011). Az N1 és LPC amplitúdóját hasonlítottuk össze hallgatási és képzelési helyzetben a két csoportban.

Kutatásunk három kísérletet foglal magába. Az első kísérletben zenészek és nem zenészek a “roving standard” paradigma (Cowan és mtsai, 1993) alapján hallgattak, majd képzeltek el magas, illetve mély bennszó hangokat. Mivel az elképzelés és a hallgatás különböző mértékű figyelmi terhelést jelent, ezért ennek lehetséges hatását egy második kontroll kísérlettel ellenőriztük. Ebben kísérletben zeneileg képzetlen személyek vettek részt, akik nem kaptak képzelési instrukciót. A figyelmi terhelést az előző kísérlet ingereivel párhuzamosan adott N-visszafelé feladatok segítségével kontrolláltuk - az 1-visszafelé feladat kisebb, a 3-visszafelé feladat nagyobb figyelmi terhelés jelentett. A harmadik kísérlet is zeneileg képzetlen személyekkel zajlott, ebben az esetben sem volt képzelés instrukció, célunk az volt, hogy megbizonyosodjunk, nem az általános fáradási hatás okozza a két kondíció közti eltérést.

Az első kísérletben a zenészek esetében szignifikáns különbséget találtunk az LPC amplitúdójában a hallgatás és képzelés kondíciók között, főképp a frontális területeken, ebből arra következtetünk, hogy képesek voltak elképzelni a hangokat. A kontroll csoportnál ezzel ellentétben csak a hang második ismétlésével jelent meg a keresett jel. A második kísérletben nem találtunk szignifikáns főhatást az LPC esetén, vagyis a figyelem nem befolyásolja ezt a hullámot. A harmadik kísérletben nem volt fáradási hatás. N1 hullám a második kísérlet 1-visszafelé, majd 3-visszafelé feladatában mutatott szignifikáns különbséget a kondíciók között, vagyis az N1-re hatással lehet a figyelem.

Összességében elmondhatjuk, hogy bár a képzelési kondíciónál a zeneileg képzetteknél mutattuk ki LPC-t, sajnos a minta méretéből adódóan a következtetések korlátozott módon adnak okot arra, hogy eredményeinket véglegesnek tekintsük.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
<i>Mentális képzelet általában</i>	4
<i>Hallási képzelet általában</i>	5
<i>NI</i>	6
<i>LPC</i>	7
<i>Egyéni különbségek</i>	8
Módszerek és eszközök	9
<i>Első kísérlet</i>	9
<i>Második kísérlet</i>	12
<i>Harmadik kísérlet</i>	14
Saját eredmények	15
<i>LPC</i>	15
<i>NI</i>	20
Eredmények megvitatása	21
<i>Következtetés</i>	21
<i>Limitációk</i>	22
<i>További kísérletek</i>	23
Köszönetnyilvánítás	24
Irodalomjegyzék	25

A hallási képzelet elektrofiziológiai korrelátumainak vizsgálata

Bevezetés

Mentális képzelet általában

A mentális képzelet természetére vonatkozóan több, egymással szembenálló elmélet is született - ezek közül kiemelendők Pylyshyn és Kosslyn elképzelései. Kosslyn a mentális reprezentációk képszerűsége mellett érvel; az ő elképzelése szerint a reprezentációk arra szolgálnak, hogy képszerűen ábrázolják, és ne leírják az adott reprezentált elemet. Ezzel szemben Pylyshyn elképzelése szerint a mentális reprezentációk egyáltalán nem képszerűek, hanem a nyelvhez hasonlóan leíró természetűek, a képzelet "képszerű" aspektusai szerinte csupán csak epifenomének, melléktermékek.

Kosslyn érvként a vizuális képzeletet hozza fel, amely azt a jelenséget jelöli, hogy megfelelő (jelen esetben vizuális) szenzoros bemenet hiányában is megjelenik a képi inger a személy fejében. Ebben az esetben a „belső” ábrázolás alapját a memóriában tárolt információ képezi. Ezek a mentális képek aránylag elnyújtottak. Kosslyn és Koenig (1992/1995) kutatásai szerint agykárosodást szenvedett személyeknek gyakran hasonló módon károsodott a képzeletük és az észlelés. Ezzel szemben azonban Behrmann, Winocur, és Moscovitch (1992), valamint Jankowiak, Kinsbourne, Shalev, és Bachman (1992) olyan személyekről számolnak be, akik sérült észleléssel, azonban ép képzelettel rendelkeznek. Ebből arra lehet következtetni, hogy a két rendszer legalább részben egybeesik, valamint, hogy képzelet korábban kódolt információkon alapul és akkor is képes hatékonyan működni, ha sérülés érte a vizuális bemeneteket rendszerező folyamatokat (Kosslyn, 2005).

Pylyshyn (1973) azzal a kritikával illeti Kosslyn elképzelését, hogy az nem képes pontosan megragadni ezeknek a "képszerű" reprezentációknak a tulajdonságait - megválaszolható kérdés szerinte, hogy ezek a reprezentációk valójában olyanok-e, mint egy vizuális kép, egy egész kép elérhető-e egyszerre, muszáj-e hogy modalitás-specifikus és tudatos legyen.

Hallási képzelet általában

A hallási képzelet egy olyan introspektív tartósan fennmaradó hallási élmény, amely direkt szenzoros inger hiányában jelenik meg, és olyan komponenseket is magába foglal melyek a hosszú távú memóriából előhívás által konstruálódnak meg (Intons-Peterson, 1992). A hallási képzelet főbb általános jellemzője, hogy (1) az adott hallási inger több strukturális jellemzőjét megőrzi, (2) segíti a hallási diszkriminációt, azonban nehezítheti a detekciót, (3) sok agyi területben osztozik a hallási észleléssel, (4) hatással van rá a szubvokalizáció, (5) szemantikailag értelmezett információkat és elvárásokat tartalmaz, (6) ábrázoló és leíró elemeket is tartalmaz, és (7) kapcsolódik a zenei képességekhez, ennek pontos mechanizmusa azonban nem ismert (Hubbard, 2010). A hallási képzelet különböző komponensei vizsgálhatók - ilyen a hangmagasság, a hangszín, a hangosság, valamint a dallam és a harmónia. Jomori eredményei a ritmussal kapcsolatos képzeletről azt mutatják, hogy a bal oldali frontális területek aktivitása szignifikánsabb volt, mint más területeken (Jomori és mtsai, 2011).

A kutatások többsége, mely a képzelet által generált agyi aktivitással foglalkozik a látás modalitására fókuszál. Azonban az elmúlt időszakban egyre több vizsgálat koncentrálna a hallási képzelet témájára, főképp zene vagy nyelv képzelése során (Wu és mtsai, 2006).

A hallókéreg kulcsfontosságú szereppel bír a hallási képzelet létrejöttében (Halpern és mtsai, 2004; Kraemer és mtsai, 2005). Ezen a területen végzett kutatások nagy része agyi képalkotó eljárásokat (pl.: fMRI, PET) alkalmaz, ezek által betekintést kaphatunk, mely területek aktiválódnak hallási képzelet során. Egy 1999-es PET vizsgálat alapján Halpern és Zattore arra következtetésre jutottak, hogy az ismerős dallamok felidézése során a jobb oldali auditoros asszociációs kéreg a jobb és bal oldali frontális területekkel együtt aktiválódik. Kraemer kutatásában rövid dalrészleteket mutatott be vizsgálati személyeinek, amelyekben vagy volt dalszöveg, vagy nem. A dalrészletek közben rövid, 2-5 s szüneteket iktatott be, és fMRI segítségével vizsgálta az agyi aktivációt. Azt találta, hogy a közbeiktatott szünetek közben aktiválódik az elsődleges hallókéreg, valamint a hallási asszociációs kéreg, utóbbi terület aktivitása nagyobb volt akkor, ha a szünet egy ismerős dalban volt (Kraemer és mtsai, 2005).

Bár a fenti cikkekből láthatjuk, mely területek aktiválódnak hangok elképzelése alatt, számos kérdés nyitott marad a területek funkcionális szerepével, illetve az idői felbontással kapcsolatban. Az egyik legfőbb kérdés: Milyen hasonlóságokat és különbségeket fedezhetünk fel az aktivációs mintázatban az elsődleges, illetve másodlagos hallókéregben az észlelés, illetve a hangok elképzelése során? Az elektromos és mágneses kiváltott potenciállal dolgozó

technikák választ adhatnak kérdéseinkre, de sajnos jóval kevesebb ilyen típusú vizsgálat készült eddig, mint agyi képalkotó eljárást használó.

Egy 2002-es magnetoencefalográfiai vizsgálatban képzett zenészeknek mutatnak be képi ingereket (kottát), s ez alapján kell elképzelniük különféle hangokat. Először fokozott aktivitást figyeltek meg mindkét oldali okcipitális területeken 120-150 ms-mal a bemutatott képi inger után. A legkésőbbi aktivációk 270-400 ms között jelentek meg. Az extraokcipitális területek, a felső temporális kéreg bizonyos területei, frontális területek, szubmarginális parietális területek kizárólag a hallási képzelet feladatban aktiválódtak, 220-320 ms között csúcsosodik a területekről elvezetett amplitúdó. A fronto-parietális és az inferior temporális területeken megjelenő hullámok átlagosan 340 és 440 ms között érik el maximumukat (Schürmann és mtsai, 2002).

N1

Az N1 vagy másnéven N100 hullám egy hang által kiváltott potenciál. Hat különböző agyi folyamat által vezethetünk el az 50-150 ms között csúcsosodó negatív hullámot a fejbőről. Ez a hullám több komponensre bontható a kiváltás oka és lokáció szerint, de csak két a vizsgálatokban fontos elemet említem meg. Az egyik komponenst a figyelem mediálhatja a fronto-centrális területekről vezethető el és a csúcserőértékét 100 ms-nál éri el. A másik komponens az érzékszerv specifikus feldolgozási folyamatok során megjelenő negativitás, 50-100 ms között kezdődik és a hanginger feldolgozása tart. A hallási szenzoros és asszociációs területeken lévő neuronok generálják a negatív hullámot (Näätänen és Picton, 1987). Ezek a generáló sejtek képesek a fáradásra, ezt refrakter periódusnak nevezzük, például olyan esetben, ha egymás után többször mutatjuk be ugyanazt az ingert. Ebből következik, hogy az ingerbemutatás sűrűsége és az N1 amplitúdója fordítottan arányosak egymással. Ez részben azért történik, mert az N1-et többek között korai szenzoros területek is generálják. A kísérlet egyik érdekes kérdése lehet, hogy ha a hallási képzelet hasonlít a vizuális képzeletre abban, hogy elsődleges, vagy legalábbis korai szenzoros területeket aktivál, akkor a képzelet hatására is felléphet-e az a refrakter állapot, ami ismételt ingerbemutatás esetén csökkenti az N1 amplitúdóját (Näätänen és Picton, 1987).

LPC

Az LPC jel vagy késői pozitív komponens korábbi kutatások alapján mind kép, mind hang elképzelése esetén megjelenik (Wu és mtsai, 2011). Azonban a hallási képzelettel összefüggésben az LPC jelről kevés kutatási eredmény született. Az alábbiakban ezek közül mutatom be kísérletünk szempontjából a legjelentősebbeket.

Wu 2006-os cikkében egy az állathangok elképzeléséről szóló kísérletet ír le. A kontroll kondícióban csak képeket mutatták be az alanyoknak, hang nem társult hozzá. Az észlelés kondícióban a kép mellé az állat hangját is lejátszották, míg a képzelés kondícióban a képeket vetítették le az alanyok feladata elképzelni a megfelelő hangot. N1 esetén nem találtak különbséget a kontroll és a képzelet kondíció között. A késői pozitív komponens 350-600 ms-os időablakkal vizsgálva centro-parietális elektródákon különbséget találtak kontroll és képzelés kondíció között. Ez tükrözheti a képzelet két feldolgozási rész folyamatát: a tárolt információból való visszajátszást, illetve a munkamemóriából történő reprezentációt (Wu és mtsai, 2006).

Wu következő hallási képzelettel kapcsolatos cikkének kérdése, hogy a képzelt auditoros reprezentációk kódolják-e a hangosságra és a hangmagasságra vonatkozó információkat. Három hangot három alakzattal feleltettek meg, el kell képzelniük a bemutatott alakzathoz tartozó hangot, ezt követően egy bemutatott hangról kellett döntést hozni, ez tartozott korábban az adott alakzathoz vagy sem. Az első kísérletben a három alakzathoz három különböző hangmagasságú, de megegyező hangerejű hangokat társítottak. A második kísérletben a három alakzathoz különböző hangosságú, de állandó hangmagasságú hangokat társítottak. Mély hang elképzelése nagyobb amplitúdójú LPC jelet (330-500 ms) váltott ki, mint egy magasabb hang, illetve hangos hang elképzelése nagyobb amplitúdójú LPC jelet váltott ki, mint egy halkabb hang. Az eredmények összhangban állnak a hangészleléssel összefüggő N1 komponens amplitúdómodulációval, ezáltal az első neurális bizonyíték arra, hogy a hallási képzelet a hallási élmény érzékelésének jellemzőit is kódolja (Wu és mtsai, 2011).

Az egyik legfrissebb a témához kapcsolódó cikk Wu 2011-es kísérletének paradigmáját használta a hangszín képzeletben, illetve észlelésekor megjelenő elektrofiziológiai korrelátumainak vizsgálatához. A három alakzathoz társított hangok állandó hangosságúak, hangmagasságúak és azonos időtartamig szólnak. Az első kísérletben a spektrális centrumban, míg a második kísérletben a spektrális szabálytalanság szintjén különböznek a hangok. Mivel a két kondíció LPC amplitúdójának különbség volt, így arra következtethetünk, hogy a késői

pozitív komponens érzékeny az elképzelt hang hangszínének változásaira (Tužnik és mtsai, 2018).

Egyéni különbségek

Több egyéni különbség is megmutatkozik az emberek hangelképzelési képességében. Különbség van például abban, hogy egyes személyek mennyire élénknek ítélik meg az elképzelt hangokat. Általában véve azt mondhatjuk, hogy a hallási képzeletet élénkebbnek ítélik, mint a vizuális képzeleti elemeket (Allbutt és mtsai, 2008), azonban a zeneileg képzettebb személyek hallási képzeletei élénkebbek, mint a zeneileg nem képzettek (Campos és Fuentes, 2016).

Az egyéni különbségek egyik fő forrása a zenei képzettség lehet - több kutatás is kimutatta, hogy a zeneileg képzettebb emberek pontosabban tudják elképzelni a hangmagasságot (Janata és Paroo 2006), valamint a hangszínt (Tužnik és mtsai, 2018). Aleman (2000) kutatásában szintén zeneileg képzett és képzetlen személyeket hasonlított össze abból a szempontból, hogy különböző képzeleti feladatokban milyen teljesítményt mutatnak. A három kondíció közül - hangmagasság-összehasonlítás (zenei képzeleti feladat), mindennapi hangok közül deviáns kiszűrése (nem zenei hallási észlelés feladat) és mindennapi tárgyak elképzelése (vizuális képzeleti feladat) - a két hallásos képzeleti feladatban jobban teljesítettek a zeneileg képzettebb emberek. Ezen eredményekből az a konklúzió vonható le, hogy a zenei előképzettség nem csak a zenei, de a nem-zenei hallásos képzeleti képességet is javítja.

Kísérletekben a hallási képzelet két elektrofiziológiai korrelátumát az LPC és az N1 hullámot vizsgáljuk elektroencefalográf használatával zenész és zeneileg képzetlen csoportokban. Az LPC jel esetén hipotézisünk az irodalom alapján, hogy csak a képzelet kondícióban jelenik meg a jel, s zenészeknél kifejezettebb lesz, mint a zeneileg képzetleneknél. N1 jelre vonatkozóan feltételezzük, hogy a primer auditoros területek a képzelési feladat közben kiváltanak N1 jelet, de terület fárad, így kisebb amplitúdót mérhetünk, mintha az adott hangot hallgatnák.

Módszerek és eszközök

Első kísérlet

Bevezetés

A kísérlet célja az volt, hogy megvizsgáljuk, hogy képzelt hangok milyen hatást gyakorolnak zeneileg képzett és képzetlen személyek esetében. A Háden Gábor, Winkler István, Horváth János, Erich Schröger és Burkhard Maess által készített paradigma eredeti célkitűzése az elképzelt hangok által kiváltott eltérési negativitás megtalálása volt. A kísérlet felépítésében szereplő néhány elem ezt a korábbi célt tükrözi. A kísérleteket Háden Gábor végezte el 2007 és 2009 között.

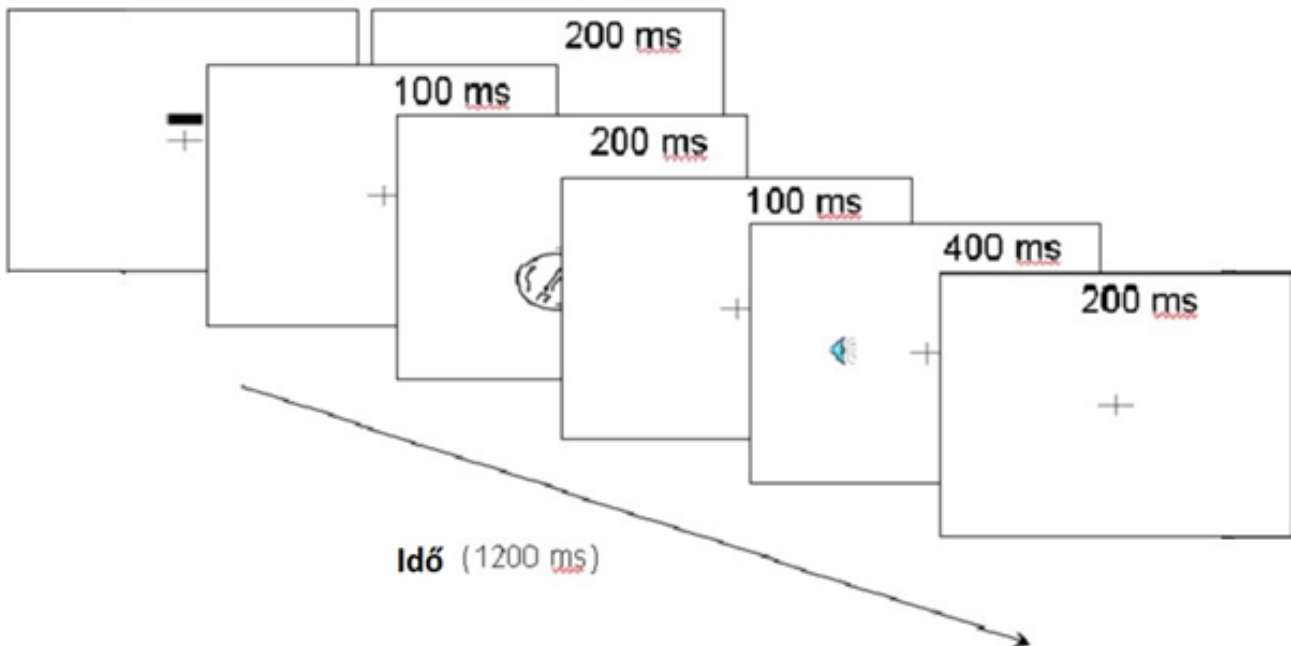
Az ingereket E-Prime inger bemutató program segítségével játszották le. A vizuális ingereket egy kb. 60 cm-re elhelyezett monitoron, a hangingereket fejhallgatón (Sennheiser HD-430) keresztül mindkét fülbe játszották le, 70 decibellel a hallásküszöb felett.

Kísérleti személyek

13 (9 nő) zeneileg képzett fiatal felnőtt vett részt a kísérletben, akik 8-17 éve aktívan játszanak különféle hangszereken. Az EEG felvételek zajossága miatt 4 főt kellett kizárni a vizsgálatból.

14 (7 nő) zeneileg képzetlen fiatal felnőtt vett részt a kísérletben. Zeneileg képzetlennek tekintjük azokat, akik 1 évnél kevesebb időt foglalkoztak zenetanulással, a kötelező iskolai kereteken kívül. Az EEG felvételek zajossága miatt 3 főt zártam ki.

Ingerek



1. ábra: Egy próbában (trial) az időviszonyok és az ingerek bemutatása az első kísérletben.

Az első 200 ms-ban a monitor közepén megjelent egy fekete fixációs kereszt fehér alapon felette vagy alatta egy fekete vonallal, ha felette volt a vonal magas (“a”) hang követett, ha alatta található a vonal mély (“b”) hang következett. Ezt követően 100 ms-ig egy fixációs kereszt látható, 200 ms-ig egy bendzsót ábrázoló vonalrajz, majd újra 100 ms-ig egy fixációs kereszt. Majd további 400 ms-on át látható a fixációs kereszt, de társulhat mellé magas vagy mély hanginger is az előzetes jelzésnek megfelelően, de lehet csönd is. A hanginger két 400 ms hosszúságú 393 Hz (mély) és 785 Hz (magas) alaphérvenciájú bendzsó hang volt. Zárásképp 200 ms-ig egy fixációs kereszt látható, így összesen egy próba 1200 ms hosszúságú.

Eljárás

A kísérleti személyek a “roving standard” paradigma (Cowan és mtsai, 1993) alapján kaptak vizuális jelzést magas és mély bendzsó hangokról. Az azonos jelzések véletlen számban (5-9) ismétlődnek, majd váltanak egy eltérő ingerre, s innentől ez az inger sorozatosan ismétlődik. A váltás után az első két próbát hang is kíséri (magas [“A”] vagy mély [“B”]). Például: ...aaaBBbbbbAAaaaaaBBbbbbbb... A váltások a próbák 15%-ában fordulnak elő. Az első megjelenő “A” vagy “B” hangot a továbbiakban első hangnak fogom nevezni, a

második megjelenő "A" vagy "B" hangot második hangnak, míg amikor csak a kép jelenik meg hang nélküli standardnak hívom. Az első hang váratlanul érkezik, maximális N1 hatás várható. A második hang esetén kisebb N1 hatás jelenik meg.

A vizuális jelzésektől függetlenül a középben lévő kereszt váltakozik két állapot között: hol a kereszt vízszintes, hol a függőleges vonala a hosszabb. A kísérleti személyek feladata az volt, hogy a keresztre fókuszáljanak és nyomjanak gombot, ha a kereszt állapotában változást észlelnek. A változás ritka, a próbák 3%-ában jelentkezik. A próbák 12 blokkba vannak rendezve, mindegyikben 284 próba szerepel.

Az első 6 blokk alatt a kísérleti személyek azt az instrukciót kapták, hogy figyeljék a kereszt változásait és minden más eseményt hagyjanak figyelmen kívül („hallgatás blokk”). A második 6 blokk alatt a kísérleti személyek azt az instrukciót kapták, hogy folytassák a kereszt megfigyelését, továbbá képzeljék el az egyes próbák elején megjelenő hangokat a jelzésnek megfelelően („képzelés blokk”).

EEG felvétel

Az EEG jel az alábbi fejbőrre helyezett elektródákon mérték a nemzetközi 10-es 20-as rendszer alapján: F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, Oz, O2, illetve a jobb és bal oldali masztoidokon (A1 és A2). A referencia elektródát az orrhegyen, a föld elektródát a homlokra rögzítették. A szemmozgás monitorozására elektrooculogramot (EOG) vették fel két bipoláris elektródával, melyek a bal szem alatt és fölött, illetve két oldalon a külső szemzugok mellett helyezkedtek el. Az EEG jel 32 bites AD konverzióval és a 250 Hz-es mintavételezési gyakorisággal Neuroscan, NuAmps erősítő segítségével lett felvéve. A jelek online 40 Hz-es alsó szűrésen mentek át.

Adatelemzés

Az adatalemzést és szűrést a MATLAB program 2014a verziójával végeztem (MathWorks Inc.) az EEGLab (Delorme és Makeig, 2004) és ERPLab (Lopez-Calderon és Luck, 2014) toolbox segítségével. Az EEG jelek offline 1 és 30 Hz-es szűrésen mentek át. Minden vizsgált inger kezdetéhez képest a folyamatos EEG felvételtől egy 600 ms-os szakasz lett kivágva, aminek része egy 100 ms-os inger előtti (alapvonal-baseline) szakasz is. Az artefaktumok keresése mozgó ablakkal történt, mely során 50 ms-os lépésenként 100 ms-os

időablakon belül a minimum és maximum amplitúdók különbségét nem engedtem 120 μ V érték fölé. Abban az esetben, ha műtermék szűrés után bármely kondícióban a próbák (trail) több, mint 30%-a el lett távolítva az kísérleti személyt kizártam a további elemzésből. Az LPC komponenst Wu cikke alapján 330-500 ms-os időablakban (Wu és mtsai, 2011), míg az N1 komponenst 50-150 ms-os időablakban vizsgáltam (Näätänen és Picton, 1987).

A statisztikai elemzéseket a StatSoft Statistica 12.5.192.7 verziója segítségével készítettem el. A kondíciók hatását az eseményfüggő kiváltott potenciálokra háromutas ismételt méréses varianciaanalízissel elemeztük külön-külön az egyes ingereken (első hang, második hang, hang nélküli standard), melyben a Kondíció (hallgatás vs. képzelés) x Pozíció (frontális vs. centrális vs. parietális vs. occipitális) x Lateralizáció (bal vs. közép vs. jobb oldal) változók szerepeltek a két csoportra külön-külön. A csoportok hatását az eseményfüggő potenciálokra a Cz elektródán kétutas, ismételt méréses varianciaanalízissel (ANOVA) elemeztem, az alábbi változók szerint: Kondíció (hallgatás vs. képzelés) x Csoport (zeneileg képzett vs. zeneileg képzetlen). A szabadságfokon Greenhouse-Geisser korrekciót végeztem, ahol szükséges volt, feltüntetjük a szövegben, illetve az ϵ értéket is megadom.

Második kísérlet

Bevezetés

Az első kísérlet eredményei valamelyest magyarázhatják a képzelettel kapcsolatos felvetéseinket, de nagy az eltérés a két kondíció nehézségi szintjében és a figyelmi terhelés mértékében, ezért a második kísérlet ezen tényezők kontrollálására készült. Ezt úgy érték el, hogy az első kísérletben bemutatott felépítéshez csatoltunk egy N-visszafelé (N-back) feladatot és összehasonlították azokat az alanyokat, akik az 1. kísérletben a képzelet feladatot (a zeneileg nem képzett csoport) végezték az N-visszafelé feladatot végző alanyokkal.

Kísérleti személyek

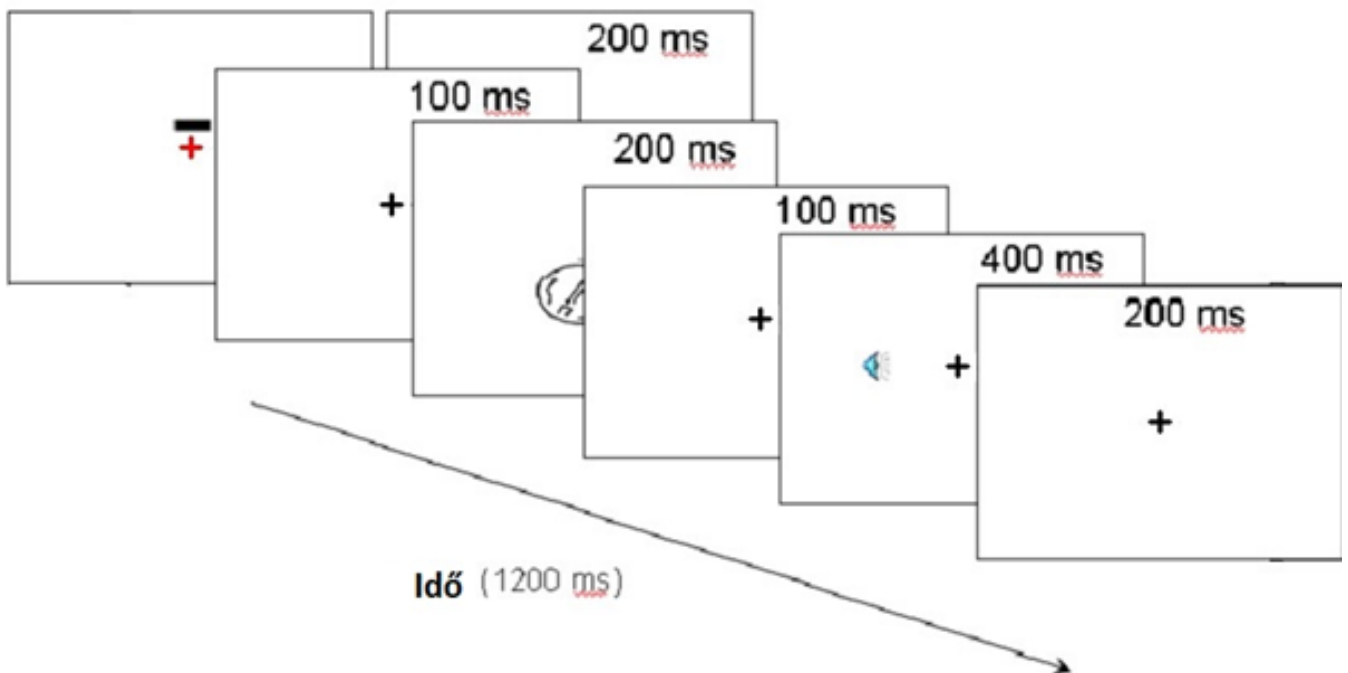
1-visszafelé, majd 3-visszafelé feladat:

11 zeneileg képzetlen fiatal felnőtt vett részt a kísérletben (7 nő). Az EEG felvételek szűrése után nem volt szükséges személyek kizárására.

3-visszafelé, majd 1-visszafelé feladat:

10 zeneileg képzetlen fiatal felnőtt vett részt a kísérletben (3 nő). Mind jobb kezesek. Az EEG felvételek szűrése után 1 alanyt ki kellett zárnom.

Ingerek



2. ábra: Egy próbában (trial) az időviszonyok és az ingerek bemutatása a második kísérletben.

Az első kísérlet ingereit használták némi módosítással: a kereszt háromszor vastagabb, mint az első kísérletben és szárai egyenlő hosszúságúak. A kereszt az első képkockán 8 szín valamelyikére színezve (cián, magenta, sárga, narancssárga, piros, zöld, kék, sötét lila). (Lásd.: 2. ábra.)

Eljárás

A kísérleti eljárás szinte megegyezett az első kísérletével, 300 próba szerepelt minden blokkban és a keresztek színe $p=0.66$ szerint változott. Az alanyok azt az utasítást kapták az első 6 blokkban, hogy nyomják meg a gombot, ha ugyanolyan színű kereszt villan fel, mint amilyen az azt megelőző próbában (1-visszafelé feladat). A 7-12 blokkban pedig akkor nyomjanak gombot, ha ugyanolyan színű kereszt villan fel, mint az azt hárommal megelőző próba esetén (3-visszafelé feladat). A kísérleti alanyok egy másik csoportja fordítottan végezte el a kísérletet, vagyis először a nagyobb figyelmi terhelést igénylő 3-visszafelé feladatot végezték el, majd a kisebb figyelmi terhelést igénylő 1-visszafelé feladattal folytatták. Minden

blokk végén a kísérleti személyek visszajelzést kaptak teljesítményükről. Az alanyokat megkérték, hogy hagyjanak figyelmen kívül minden a kereszték színén túl tapasztalt ingert.

EEG felvétel és adatelemzés

Az EEG felvételt az első kísérleti leírásban ismertetett paraméterekkel állították be. A kondíciók hatása az ERP jelekre háromutas ismételt méréses varianciaanalízis (ANOVA) használtam, melyben a Kondíció (1-visszafelé vs. 3-visszafelé) x Lateralizáció (bal vs. centrális vs. jobb) x Pozíció (frontális vs. centrális vs. parietális) változó szerint.

1- visszafelé kondíció és 3-visszafelé kondíció hullámainak különbségét néztem minden alanynál. Hasonlóan, mint az első kísérletben a hallgatás és képzelés kondíció különbségét vizsgáltam.

Harmadik kísérlet

A harmadik kísérlettel az általános fáradási hatást kiszűrése volt a cél. Az első kísérletben bemutatott paradigmát használták, azonban képzelési instrukciót nem kapnak a kísérleti személyek. Ettől eltekintve mind az ingerek, az eljárás, és az EEG felvétel és adatelemzés megegyezik az első kísérletnél leírtakkal, ezért ebben az esetben ismertetésüket mellőzöm. Az adatelemzésben a korai 1-6 és a későbbi blokkokat hasonlítottam össze a hallgat/képzelt próbák helyett.

A kísérletben 11 zeneileg képzetlen fiatal felnőtt (5 nő) vett részt. Közülük 8 fő jobb, míg 3 fő bal kezűs. Az EEG felvételek szűrése után 2 fő kizárása volt szükséges.

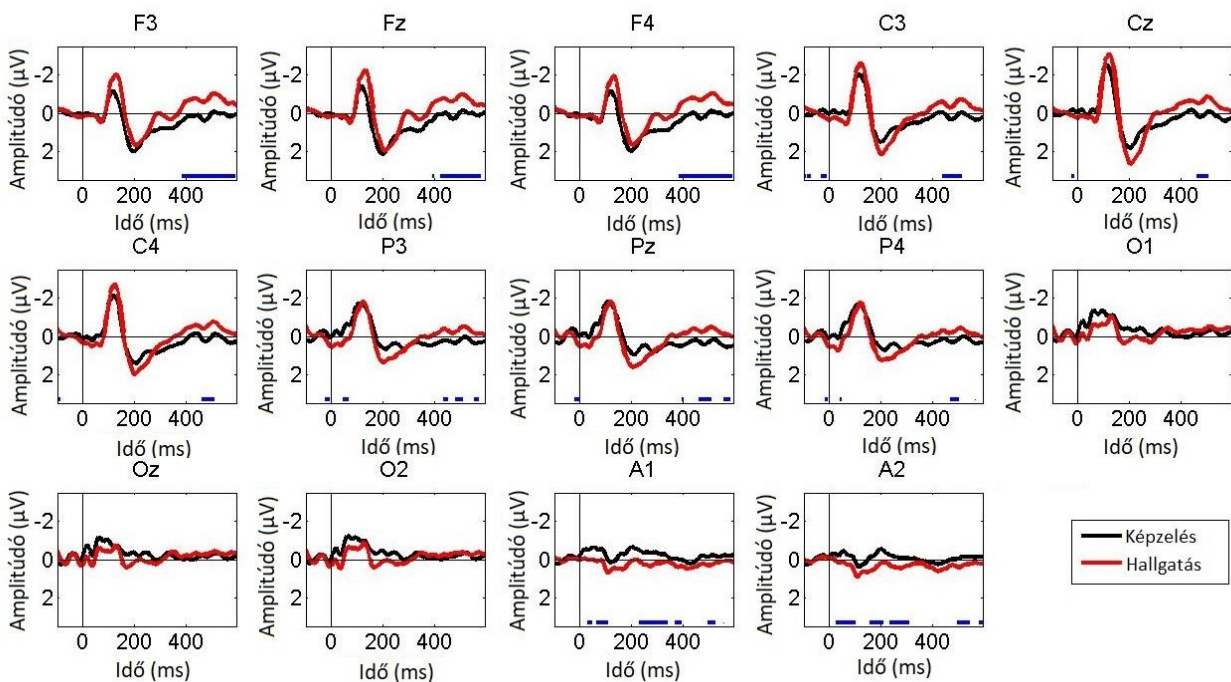
Saját eredmények

A könnyebb átláthatóság érdekében az eredményeket nem kísérletekre bontva, hanem a vizsgált hullámok, LPC és N1 jelek szerint csoportosítom.

LPC

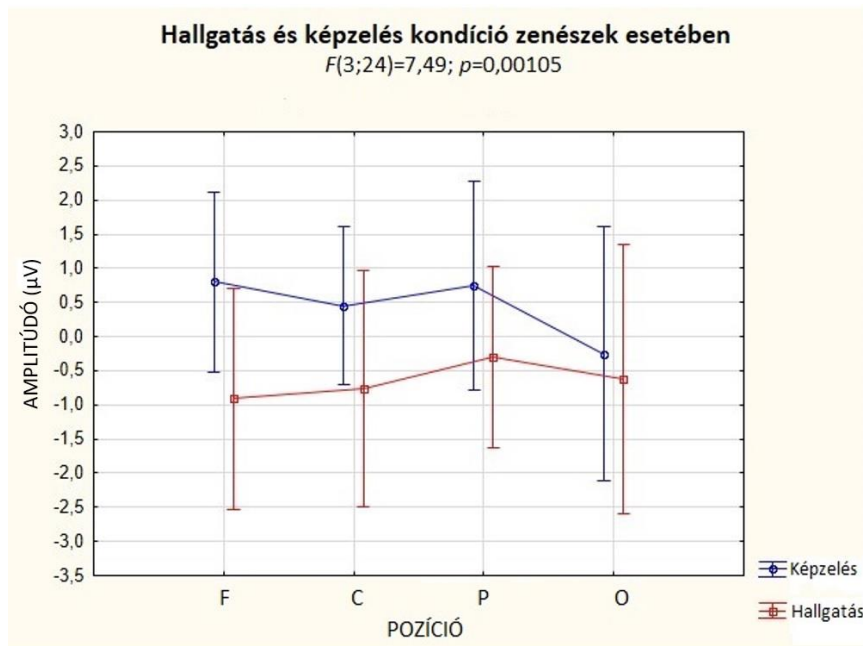
Zenészek

Zenészek hallgatás és képzelés kondícióban mért EEG jelei



3. ábra: Az ábrán zenészek hallgatás és képzelés kondícióban mutatott EEG jelei láthatóak, adott elektródára feltüntetve. A fekete vonal a képzelés, míg a piros vonal a hallgatás kondíciót jelöli. Az ábrák alján lévő kék vonal a két kondíció közötti pontonkénti t-próba szignifikanciáját ($p < 0.05$) jelzi.

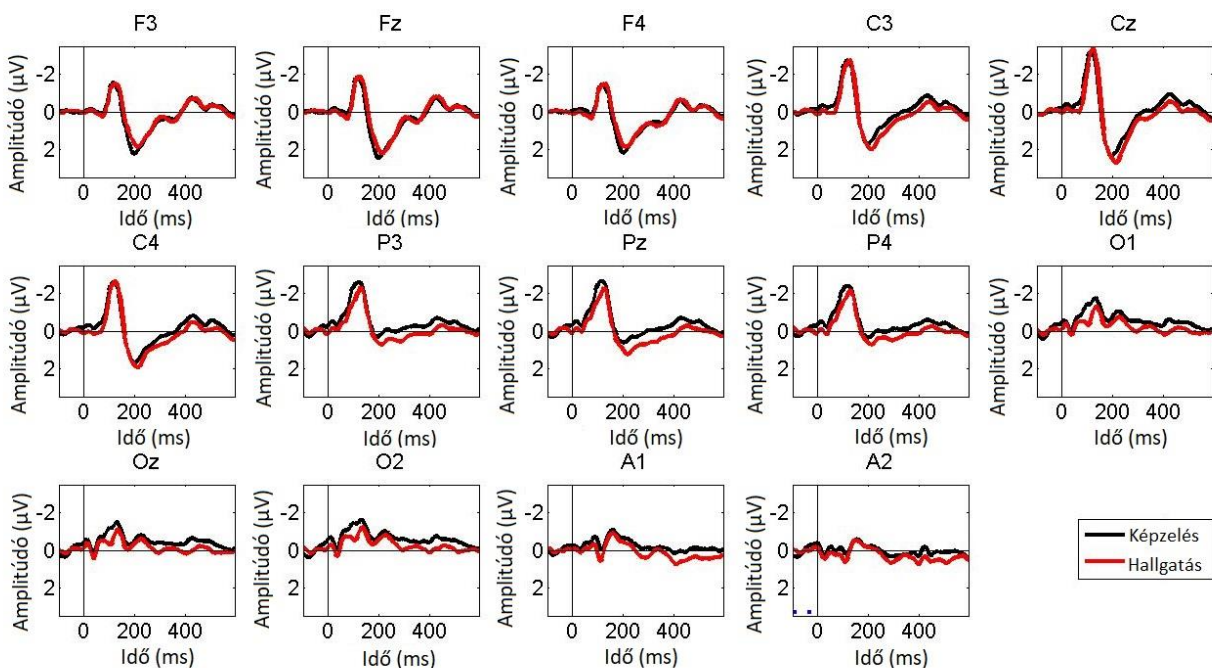
Az első kísérletben a zenészek esetében szignifikáns különbséget találtam az LPC amplitúdójában a hallgatás és képzelés kondíciók között ($F(1;8) = 8,47$; $p = 0,019$). A Kondíció x Pozíció interakció is szignifikanciát mutat ($F(3;24) = 7,49$; $p = 0,00105$; $G-G \epsilon = 0,41$). A 4. ábrán láthatjuk, hogy a frontális területeken kifejezett a két görbe különbsége, erről a területről származhat a képzeléshez köthető késői pozitív komponens. A hang nélküli standardok esetében a két kondíció közötti különbség szignifikáns volt ($F(1;7) = 12,33$; $p = 0,0098$). A második hang esetében okcipitális területeken találtam hatást, a frontális területeken nem ($F(3;21) = 5,084$; $p = 0,0084$; $G-G \epsilon = 0,42$).



4. ábra: Zenészek LPC jelei (330-500 ms) hallgatás és képzelés kondícióban, az elektródák pozíciója szerint vonaldiagramon ábrázolva. F – frontális, C – centrális, P – parietális, O – okcipitális

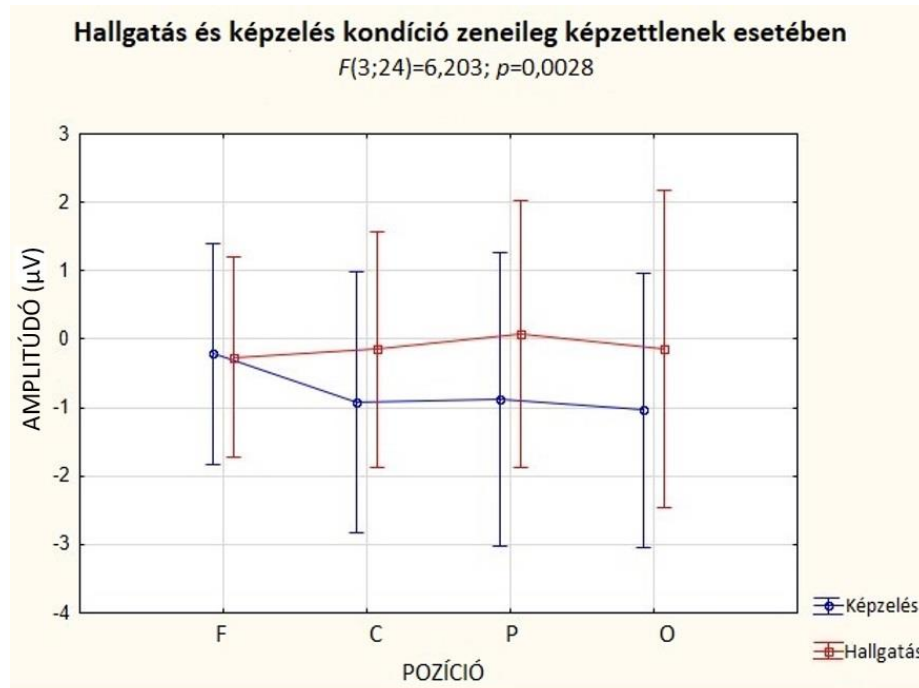
Zeneileg képzetlenek

Zeneileg képzetlen személyek hallgatás és képzelés kondícióban mért EEG jelei



5. ábra: Az ábrán zeneileg képzetlen csoport hallgatás és képzelés kondícióban mutatott EEG jelei láthatóak, adott elektródára feltüntetve. A fekete vonal a képzelés, míg a piros vonal a hallgatás kondíciót jelöli. Az ábrák alján lévő kék vonal a két kondíció közti pontonkénti t-próba szignifikanciáját ($p < 0.05$) jelzi.

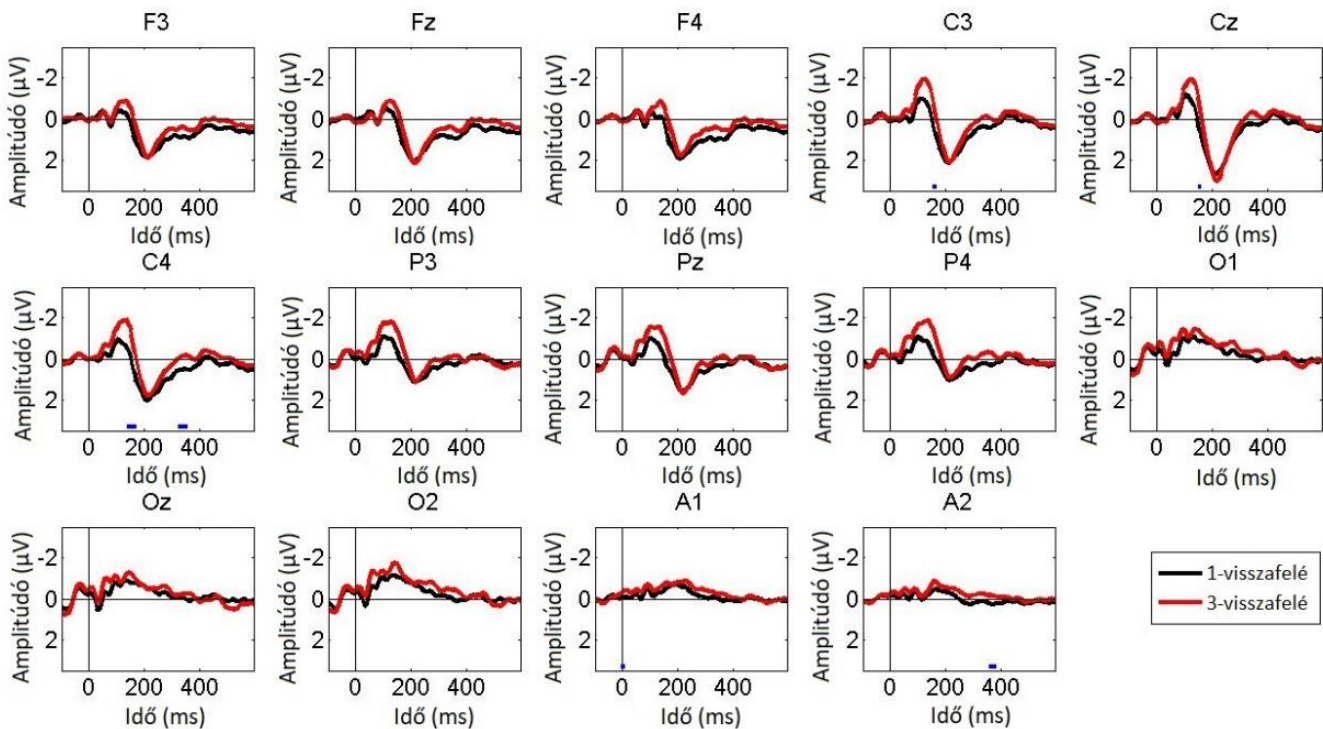
A zeneileg képzetlenek esetében ugyan főhatást nem találtam, azonban a Kondíció x Pozíció interakció szignifikanciát mutat ($F(3;24) = 6,203$; $p = 0,0028$; $G-G \varepsilon = 0,47$), azonban a képzelés kondíció negatívabb, mint a hallgatás kondíció, így nem beszélhetünk LPC-ről ebben az esetben, erre a jelenségre nem sikerült magyarázatot találnom (lásd: 6. ábra).



6. ábra: Zeneileg képzetlenek LPC jelei (330-500 ms) hallgatás és képzelés kondícióban, az elektródák pozíciója szerint vonaldiagramon ábrázolva. F – frontális, C – centrális, P – parietális, O– okcipitális

A zeneileg képzetleneknél a második hangnál szignifikánsan eltért a két kondíció között ($F(1;8) = 5,68$; $p = 0,044$).

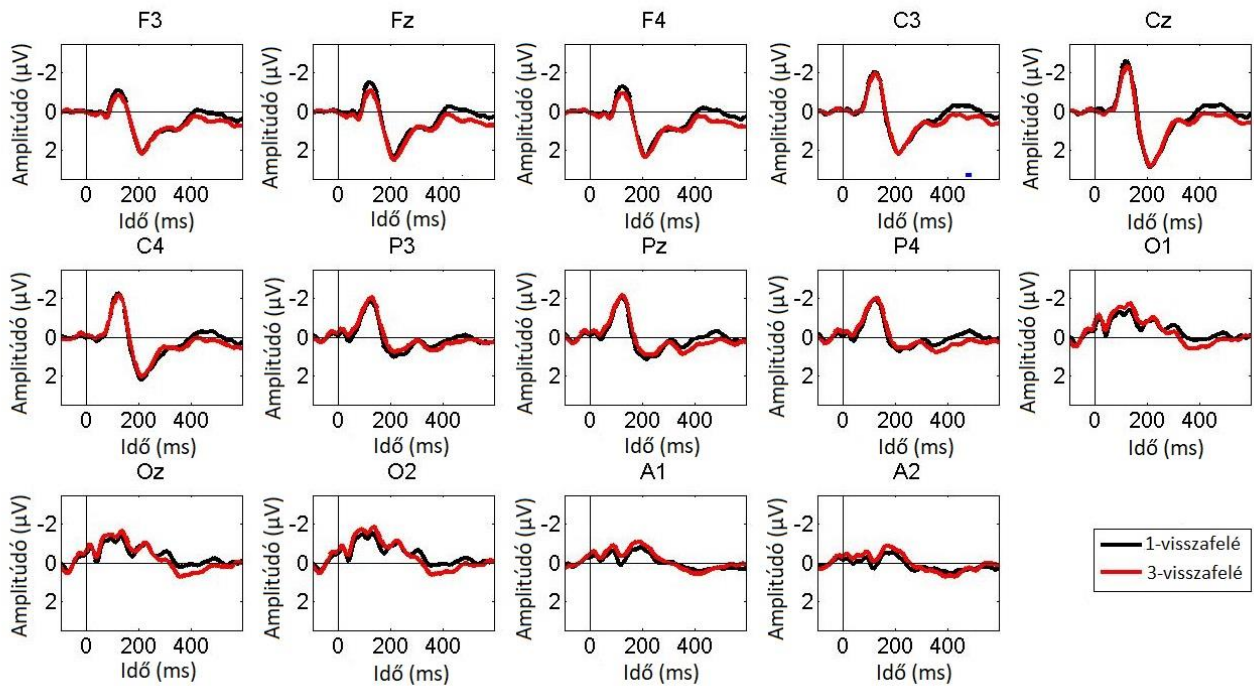
1-visszafelé, majd 3-visszafelé kondíciók EEG jelei



7. ábra: Az ábrán az 1-visszafelé, majd 3-visszafelé feladat kondícióinak EEG jelei láthatóak, adott elektródára feltüntetve. A fekete vonal az 1-visszafelé, míg a piros vonal a 3-visszafelé kondíciót jelöli. Az ábrák alján lévő kék vonal a két kondíció közti pontonkénti t-próba szignifikanciáját ($p < 0.05$) jelzi.

A második kísérletben az 1-visszafelé, majd 3-visszafelé feladatban az első hangingernél nem volt különbség a két kondíció között, viszont a második hang esetén Kondíció x Pozíció interakcióban szignifikáns az eltérés ($F(3;30) = 3,308$; $p = 0,033$; $G-G \varepsilon = 0,38$).

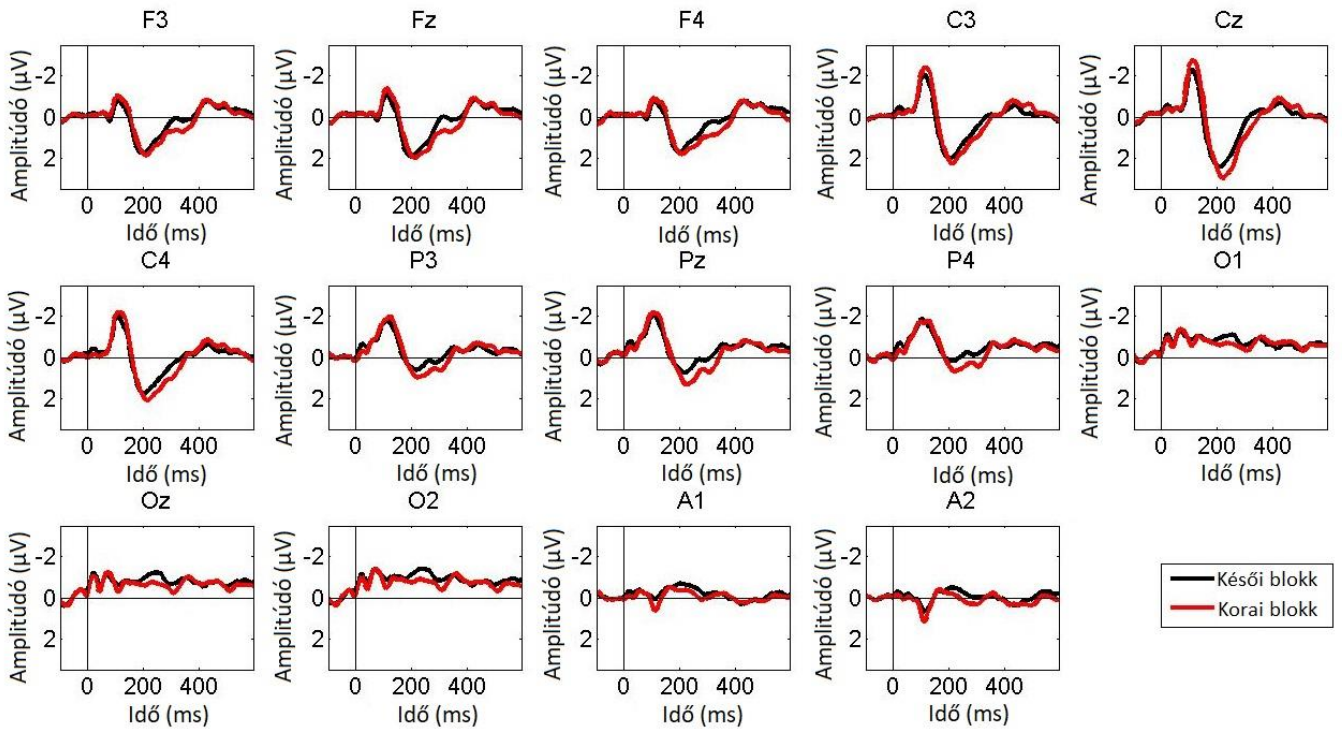
3-visszafelé, majd 1-visszafelé kondíciók EEG jelei



8. ábra: Az ábrán az 3-visszafelé, majd 1-visszafelé feladat kondícióinak EEG jelei láthatóak, adott elektródára feltüntetve. A fekete vonal az 1-visszafelé, míg a piros vonal a 3-visszafelé kondíciót jelöli. Az ábrák alján lévő kék vonal a két kondíció közti pontonkénti t-próba szignifikanciáját ($p < 0.05$) jelzi.

A 3-visszafelé, majd 1-visszafelé feladatban hang nélküli standardnál a feladatok közti nehézségkülönbség hatása ($F(1;8) = 9,17; p = 0,016$) és Kondíció x Pozíció interakció ($F(3;24) = 4,21; p = 0,016; G-G \varepsilon = 0,69$) is szignifikáns. A képzelésnek is van figyelemirányító hatása, de az első hangnál ez nem jelent meg.

Harmadik kísérlet korai és késői blokkjaiban mért EEG jel



9. ábra: Az ábrán a harmadik kísérlet a korai és késői blokkokban mért EEG jelei láthatóak, adott elektródára feltüntetve. A fekete vonal a késői blokkokat, míg a piros vonal a korai blokkokat jelöli. Az ábrák alján lévő kék vonal a két kondíció közötti pontonkénti t-próba szignifikanciáját ($p < 0.05$) jelzi.

A harmadik kísérletben nem találtam az LPC-re vonatkozó szignifikáns eredményt a korai és késői blokkok különbségében, így valószínűleg a fáradás nem befolyásolta az első kísérlet eredményeit.

N1

Az első kísérletben a zenészek esetében az N1 jelre vonatkozóan a hallgatás és képzelés kondíció, illetve a Pozíciók közötti interakcióban találtam szignifikáns eltérést ($F(3;24) = 4,88$; $p = 0,0087$; $G-G \epsilon = 0,38$).

A zeneileg képzettlenek esetében is a Kondíció x Pozíció interakciónál volt szignifikáns különbség ($F(3;24) = 6,72$; $p = 0,019$; $G-G \epsilon = 0,602$). A második hangingernél is a Kondíció x Pozíció interakciónál volt szignifikáns eredmény ($F(3;24) = 4,028$; $p = 0,019$; $G-G \epsilon = 0,609$).

A figyelmi terhelést mérő második kísérletben az 1-visszafelé, majd 3-visszafelé feladatban mind a feladatok közötti nehézségkülönbség hatása ($F(1;10) = 14,22$; $p = 0,0037$),

mind a Kondíció x Pozíció interakció ($F(3;30) = 6,36; p = 0,0018; G-G \varepsilon = 0,62$) szignifikáns különbséget mutat a kétféle nehézségű feladat között. A hang nélküli standardnál is szignifikáns főhatást tapasztaltam ($F(1;10) = 8,71; p = 0,014$). A 3-visszafelé, majd 1-visszafelé feladatban a hang nélküli standard esetében szignifikáns interakció volt ($F(3;24) = 11,95; p = 0,000055; G-G \varepsilon = 0,45$).

A harmadik kísérletben az első hanginger esetében a kondíciók és a pozíció között interakció lépett fel ($F(3;24) = 4,43, p = 0,013; G-G \varepsilon = 0,58$).

Eredmények megvitatása

Következtetés

A Wu cikken megalapozott hipotézisünk, miszerint a késő pozitív komponens megjelenik a hallási képzelet esetében igaznak bizonyult. A kapott eredmények alapján elmondhatjuk, hogy a zenészeknél frontális területeken megjelent hangok képzelése alatt a késői pozitív komponens. A frontális területekre lokalizálható a munkamemória, ami képzelettel van kapcsolatban (Hubbard, 2010), így innen vártuk az LPC jelet. A második hang esetén az okcipitális területeken volt különbség a kondíciók között, talán itt a képi ingerre összpontosítottak. A hang nélküli standardokon alatti képzelés esetén is megjelent a késői pozitív komponens. A zeneileg képzetlenek esetében az első hang esetén nem jelent meg a késői pozitív komponens, bár a különbség szignifikáns volt, de itt a hallgatás kondícióra mutattak pozitívabb választ. A második hangra adott válaszban viszont megjelent a különbség a két kondíció között a megfelelő irányba, vagyis itt már ők is mutatták a képzeléssel megfeleltethető elektrofiziológiai jelet. Lehetséges a zeneileg képzetleneknek a hang többszöri lejátszása szükséges a hang megjegyzéséhez, majd elképzeléséhez.

Az 1-visszafelé, majd 3-vissza feladat figyelmi terhelése hasonló mértékű, mint az első kísérleté, itt viszont nem jelent meg az LPC jel, ezzel bizonyítva, hogy nem a figyelmi terhelés változásának betudható a kapott eredmény. A második hangra interakcióban viszont szignifikáns az eredmény, illetve 3-visszafelé, majd 1-visszafelé feladatban a hang nélküli standard is szignifikáns, ez kétségekre adhat okot, azonban mivel zeneileg képzetlen személyek vettek részt a kísérlet ezen szakaszában, így kevésbé meghatározható a figyelmi kísérletek eredményének jelentősége.

A harmadik kísérlettel a feladat megoldása közben idő előrehaladtával megjelenő fáradás mértékét és a vizsgált jelekre való hatását szeretnénk volna ellenőrizni. Mivel a korai és késői blokkok között az LPC esetén sem az első, sem a második hangnál, illetve a hang nélküli standardoknál sem találtam különbséget, így arra következtetek, hogy nem befolyásolta a kapott eredményeket, hogy a próbák második felére elfáradhatnak az alanyok.

Az N1 esetében a hipotézis szerint azt vártuk, hogy kisebb amplitúdójú jel jelenik meg a képzelés, mint a hallgatási kondícióban, mivel az elsődleges területek sejtjei az ismételt inger hatására fáradni kezdenek (Näätänen és Picton, 1987). Az első hang függvényében a két csoportot összehasonlítva főképp az F csatornákon látható jelentősebb különbség az N1 hullámra vonatkozóan, mégpedig úgy, hogy a hallgatás kondíció amplitúdója nagyobb (azaz negatívabb), mint a képzelés kondícióé. Erre magyarázatot adhat a zenészek hatékonyabb figyelmi kontrollja, mely a frontális területekhez köthető. Ez az irányú eredmény összecseng várakozásunkkal. Több csatornán hasonló mintázatot láthatunk, a C, illetve P csatornákon nincs különbség a kondíciók között egyik csoportnál sem. Az O csatornákon a zeneileg képzetleneknél a képzelés kondíció negatív hulláma nagyobb, mint a hallgatás kondícióban. Ennek oka lehet, hogy az N1 bizonyos alkotórészei vizuális információra reagálnak, s ez a jel az okcipitális területekről (látókéreg) vezethető el (Hillyard és Anillo-Vento, 1998).

Limitációk

Az alacsony elemszám és a zaj miatti kizárások miatt 1-1 fő értékei nagyban megváltoztathatják a végeredményt, érdekesebb lenne jóval több személlyel felvenni a kísérletet, főképp, hogy az irodalomban fellelhető kísérletek többsége is 15 fő alatti mintával dolgozott. Továbbá a felhasznált adatsor 2007-2009 között felvett kísérletekből áll, azóta pontosabb technikai eszközök állhatnak rendelkezésünkre. Mivel a paradigma nem a hallgatási képzelet elektrofiziológiai korrelátumainak vizsgálatára készült, így több pontja negatívan hat ki eredményekre. A bendzsó ábra bemutatása elvesztette funkcióját, a figyelmet viszont magára vonhatja.

A zenészek és zeneileg képzetlenek csoportok vizsgálása megtévesztő lehet, azonban úgy gondoljuk nem csak a zenei háttérrel rendelkezők képesek a hangok elképzelésére. Különböző cikkek más időablakban határozták meg az LPC jel megjelenését, így érdemes lehet azt is megnézni, hogy egy későbbi és tágabb időablakkal mennyiben változnak eredményeink, például 350-600 ms (Wu és mtsai, 2006).

További kísérletek

Egy további kísérlet is készült a hallási képzelettel kapcsolatban, a fentihez hasonló paradigmával, ahol EEG helyett magnetoencefalográfias technikát használtak. Az adatok feldolgozása folyamatban van. A kísérletet a lipcsei Max-Planck Intézet Humán Kognitív és Agyi Tudományok csoportja vette fel 19 zeneileg képzetlen személlyel. A kísérleti személyek agyi struktúrájáról előzetesen MR-felvétel is készült, így egyedileg leképezhető az agyszerkezet, s ezáltal a MEG adatokkal pontosabb forráslokalizáció lehetséges, ami önmagában is érdekes a képzelettel kapcsolatban. A nagyobb minta, illetve a MEG technika érzékenysége miatt pontosabb képet láthatunk a hallási képzelet elektrofiziológiai korrelátumairól.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Háden Gábornak, aki a dolgozat elkészítése közben végig nagy segítségemre volt. Köszönöm továbbá Fülöp Flórának a segítséget az irodalmi háttér felkutatásában.

Irodalomjegyzék

- Allbutt, J., Ling, J., Heffernan, T. M., & Shafiullah, M. (2008). Self-report imagery questionnaire scores and subtypes of social-desirable responding: Auditory imagery, visual imagery, and thinking style. *Journal of Individual Differences*, 29(4), 181-188.
- Aleman, A., Nieuwenstein, M. R., Böcker, K. B., & de Haan, E. H. (2000). Music training and mental imagery ability. *Neuropsychologia*, 38(12), 1664-1668.
- Behrmann, M., Winocur, G., & Moscovitch, M. (1992). Dissociation between mental imagery and object recognition in a brain-damaged patient. *Nature*, 359(6396), 636.
- Campos, A., & Fuentes, L. (2016). Musical studies and the vividness and clarity of auditory imagery. *Imagination, Cognition and Personality*, 36(1), 75-84.
- 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*, 19(4), 909-921.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of neuroscience methods*, 134(1), 9-21.
- Halpern, A. R., & Zatorre, R. J. (1999). When that tune runs through your head: a PET investigation of auditory imagery for familiar melodies. *Cerebral cortex*, 9(7), 697-704.
- Halpern, A. R., Zatorre, R. J., Bouffard, M., & Johnson, J. A. (2004). Behavioral and neural correlates of perceived and imagined musical timbre. *Neuropsychologia*, 42(9), 1281-1292.
- Hillyard, S. A., & Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 781-787.
- Hubbard, T. L. (2010). Auditory imagery: empirical findings. *Psychological bulletin*, 136(2), 302.
- Intons, M. J. (2014). Components of auditory imagery. In *Auditory Imagery* (pp. 57-84). Psychology Press.

- Janata, P., & Paroo, K. (2006). Acuity of auditory images in pitch and time. *Perception & Psychophysics*, 68(5), 829-844.
- Jankowiak, J., Kinsbourne, M., Shalev, R. S., & Bachman, D. L. (1992). Preserved visual imagery and categorization in a case of associative visual agnosia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(2), 119-131.
- Jomori, I., Uemura, J. I., Nakagawa, Y., & Hoshiyama, M. (2011). Event-related potential study of frontal activity during imagination of rhythm. *Journal of Clinical Neuroscience*, 18(12), 1687-1689.
- Kraemer, D.J.M., Macrae, C.N., Green, A.E., and Kelley, W.M. (2005) Musical imagery: Sound of silence activates auditory cortex. *Nature*, 434, 158.
- Kosslyn, S. M. (2005). Mental images and the brain. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3-4), 333-347.
- Lopez-Calderon, J., & Luck, S. J. (2014). ERPLAB: an open-source toolbox for the analysis of event-related potentials. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 213.
- Näätänen, R. & Picton, T. (1987) The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of component structure. *Psychophysiology*, 24, 375-425.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological bulletin*, 80(1), 1.
- Schürmann, M., Raij, T., Fujiki, N., and Hari, R. (2002) Mind's ear in a musician: where and when in the brain, *NeuroImage*, 16, 434-440.
- Tużnik, P., Augustynowicz, P., & Francuz, P. (2018). Electrophysiological correlates of timbre imagery and perception. *International Journal of Psychophysiology*, 129, 9-17.
- Wu, J., Mai, X., Chan, C. C., Zheng, Y., & Luo, Y. (2006). Event-related potentials during mental imagery of animal sounds. *Psychophysiology*, 43(6), 592-597.
- Wu, J., Yu, Z., Mai, X., Wei, J., & Luo, Y. (2011). Pitch and loudness information encoded in auditory imagery as revealed by event-related potentials. *Psychophysiology*, 48(3), 415-419.