Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Kognitív Tudományi Tanszék
Pszichológia Doktori Iskola

Simon Júlia

HALLÁSI ESEMÉNY-ELKÜLÖNÍTÉS VIZSGÁLATA

PhD tézisfüzet

Témavezető: Dr. Winkler István

Budapest, 2022

A kutatások háttere és a disszertáció célja

Az észlelést megközelíthetjük úgy, mint a hozzáférhető információk kognitív rendszer általi értelmezése oly módon, ami befolyásolja a szervezet aktuális vagy jövőbeli viselkedését. Egyetlen időpillanat vizuális ingerei bővelkedhetnek olyan részletekben, amelyek a tárgyak elkülönítését teszik lehetővé, ezzel szemben a hallási észlelés nagy mérékben az időbeli változásokra támaszkodik (Demany, & Semal, 2008); még a hangosság észlelését is befolyásolja a hang időtartama (Zwislocki, 1969).

Sok különböző skálán értelmezhetőek az időbeli változások, embereknél akár 12 nagyságrendet is felölelve (Mauk & Buonomano, 2004). Míg például a téri lokalizáció mikroszekundumos különbségek alapján kerül meghatározásra (Jessell, Kandel, & Schwartz, 2000), addig a cirkadián ritmus esetében órákban mérhető a változás.

Egyik népszerű elméleti megközelítés szerint a bejövő ingerek feldolgozása nem folyamatos, hanem 30 ms körüli idői szeletekben történik, és azok az események amelyek egy ilyen 20-40 ms körüli időablakon belül történnek, időtlennek tekinthetőek, egymáshoz viszonyított sorrendjük nem állapítható meg (Pöppel, 1997). Mint ahogy egy képernyő felbontása befolyásolja a vizuális élményt, a hallórendszer felbontóképességéről is feltételezhető, hogy befolyásol magasabbrendű kognitív folyamatokat (Tallal, Merzenich, Miller & Jenkins, 1998; Fink, 2006; Humes et al, 2013) és eltérő lehet csoportok között. Így például konszenzus van az irodalomban, hogy a korral romolhat a felbontás vagyis nőhet az ablak hossza, amiben az információk még szorosan összeolvadnak (Fink, Churan, & Wittmann, 2005; Szymaszek, Szelag, & Sliwowska, 2006; Kolodziejczyk, & Szelag, 2008; Szymaszek, Sereda, Pöppel, & Szelag, 2009; Fogerty, Humes, & Kewley-Port, 2010; Humes, Busey, Craig, & Kewley-Port, 2013). Ugyancsak magasabb küszöbértékről számoltak be például a skizofréniában szenvedők esetében (Capa et al, 2014).

A szóban forgó rövid idői ablak mérésére elsősorban az Időbeli Sorrendiségi Döntés (ISD) feladatot szokták alkalmazni, mely során a résztvevők legalább két hang egymásutániságát ítélik meg. Az idői diszkriminációs küszöb úgy határozható meg, hogy megkeressük azt a hangok közti távolságot (HKT), ahol a teljesítmény lecsökken. Az első vizsgálatok, amikor a 30 ms megállapításra került, kis számú és tréningezett alanyokkal történtek, de későbbi, nagy mintás vizsgálatok már 50 ms körül határozták meg az átlagos idői diszkriminációs küszöböt, legalábbis a téri ISD feladat esetében. A spektrális változat, melyben különböző hangmagasságú hangok sorrendjéről kellett dönteni, kevésbé bizonyult megbízhatónak, mert a részvevők könnyen hagyatkozhattak holisztikus stratégiákra, amikor megkülönböztethető a magas-mély és a mély-magas hangpár sorrendi döntés nelkül is (Babkoff, & Fostick, 2013). Eredményeink alapján azonban a téri változat is érzékeny a torzulásra (második tanulmány), ezért tartottuk fontosnak, hogy elektrofiziológiai mérésekkel is feltérképezzük, hogy hol lehet az átlagos időbeli diszkriminációs küszöb (harmadik és negyedik tanulmány).

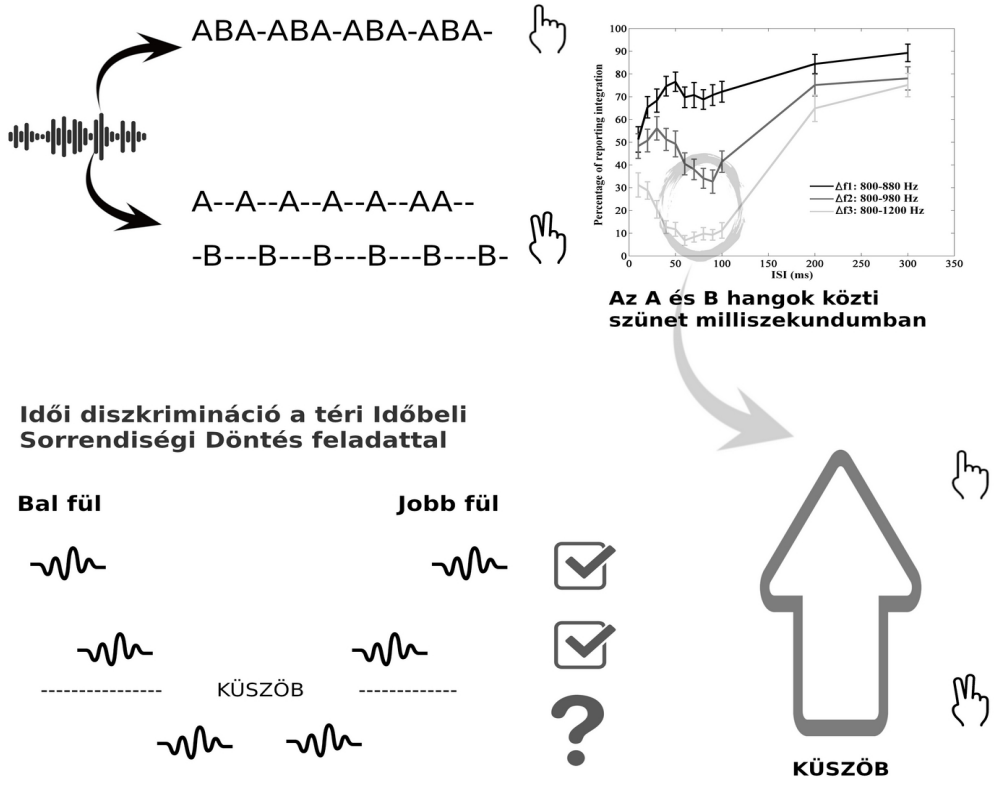
Az elektroenkefalográfia (EEG) lehetővé teszi, hogy mérjük a szinkron aktív idegsejt populációk által keletkező feszültség változást. Az adott inger által kiváltott elektromos változások átlagolása egy görbéhez vezet, jellegzetes pozitív és negatív csúcsokkal. A korai hallási válaszok, mint a P1 (első pozitív csúcs), az N1 (első negatív csúcs az ingerbemutatást követően megközelítőleg 100 ms után) és a P2 (második pozitivitás 160-270 ms-al az ingerbemutatást követően) kötelező, külső ingerek által meghatározott válaszoknak tekinthetőek, amelyek normál esetben, minden ingerlés után megjelennek. Az N1P2 komplex olyan szorosan összefügg az inger tulajdonságaival, hogy objektív audometriához is sikerrel alkalmazták (Dabbous, El-Shennawy, Hamdy, & Nabieh, 2020).

Voltak próbálkozások arra, hogy vizsgálják az ISD hangpárjainak elektrofiziológiai korrelátumait, azonban kevés, és csak egy csoport vizsgálta a feladat téri változatát (Bernasconi, Grivel, Murray, & Spierer, 2010a, 2010b; Bernasconi, Manuel, Murray, & Spierer, 2011). Ez a csoport is elsősorban a helyes döntés korrelátumait tárta fel, nem arra fókuszált, hogy tulajdonképpen milyen idői ablaknál

is lehet a küszöb. Ezért, tanulmányaink során azt néztük meg, hogy a hangok közötti távolságokat parametrikusan változtatva hol jelentkezik egy minőségi ugrás a kiváltott válaszok morfológiájában. Minthogy feltételezhető volt, hogy ez a küszöb nem fix, hanem függ a környezeti tényezőktől, a statisztikai kontextust is vizsgáltuk (harmadik tanulmány).

Új tudományos eredmények

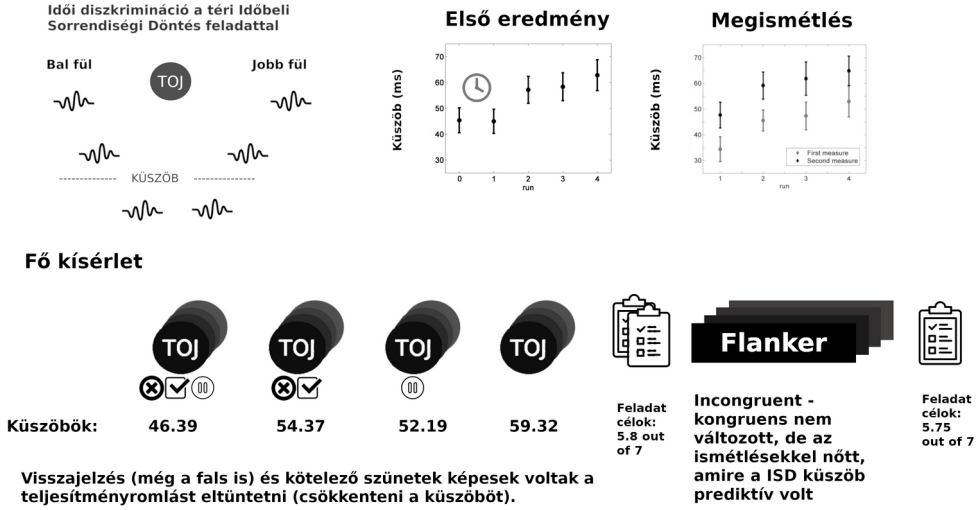
I. Tézispont: Egymásutáni hallási események elkülönítése kapcsolatot mutat a hallási láncrabontással rövid hangközötti távolságok esetében



Feltételezhető, hogy az egyéni különbségek a hallási bemenet egységekre bontásában befolyásolják a személyek hallási-láncrabontási képességét is. A hallási jelenetelemzés (Bregman, 1994) arra vonatkozik, hogy a különböző hangok csoportosításra kerülnek spektrális vagy időbeli közelség alapján. A hallási jelenetelemzés tipikus paradigmája az ABA0 feladat, mely során egy A és egy B hang lejátszása váltakozik úgy, hogy minden második B hang kimarad. Gyors bemutatási rátánál az A és B hangok hajlamosak különálló láncokba szerveződni, míg lassabb bemutatásnál többnyire

egyetlen hallási lánc formálódik, ami egy galloppoló ritmusnak felel meg (integrált észlelet). Feltételezve, hogy létezik egy rövid idői ablak, amelyben a hallási események időtlenek, azt vártuk, hogy igen magas bemutatási rátánál az eddig leírt szabály megfordul és a hangok közelsége több integrált észleletet eredményez. Feltételezettük, hogy korrelációt találunk a ISD feladatban kapott küszöb és a gyors bemutatási ráta esetén tapasztalt hallási láncrabontás között. Feltételezéseink alátámasztást nyertek, ugyanis nagyon gyors bemutatási rátánál újra megnőtt az integrált észleletek gyakorisága. Továbbá jelentős korrelációt tapasztaltunk a diszkriminációs küszöb és a láncrabontási integrált/szegregált észleleti arányban akörül a hangközötti távolság körül, ahol a görbe a lokális minimumát mutatta (jobb felső ábra).

Thesis II. A téri Időbeli Sorrendiségi Döntés feladat fáradás-érzékeny

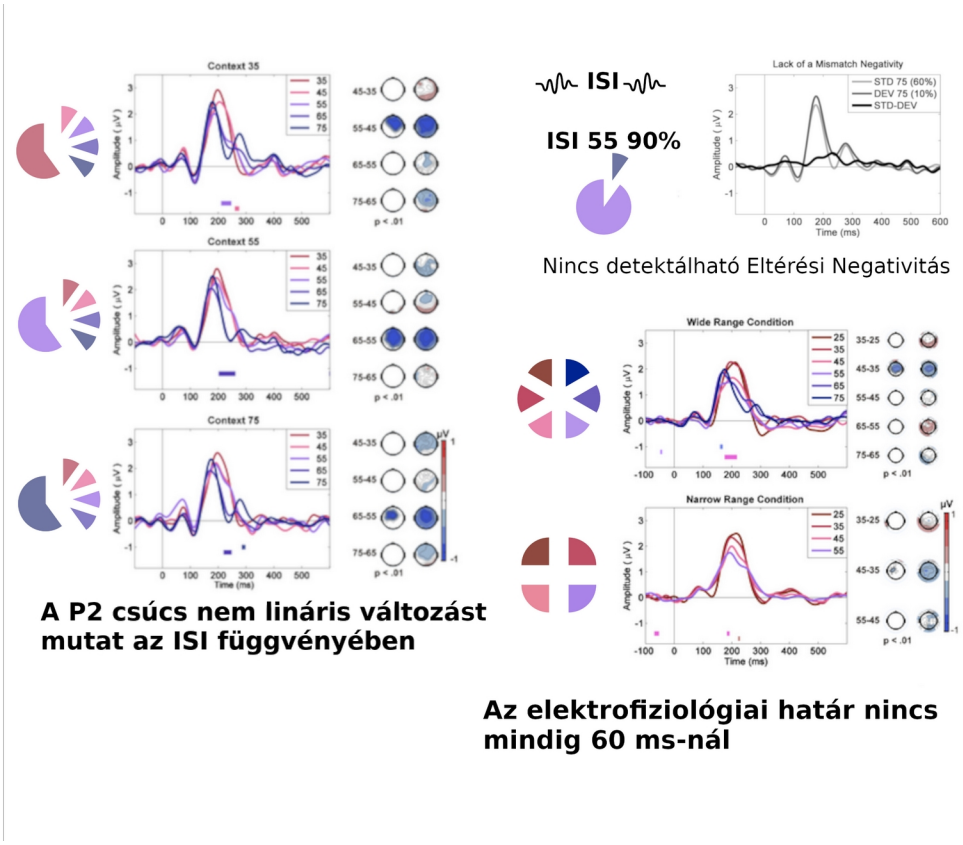


A ISD feladat nem csak a diszkriminációs képességet méri, de az eredmények tükrözik az észlelt sorrendről való beszámolásnak a sikerességét is. Feltételezhető, hogy magasabbrendű kognitív funkciókra is támaszkodik, mint amilyen a figyelem, így érzékeny lehet a kifáradásra. Mindezek ellenére korábbi eredményeink meglepőek voltak abban a tekintetben, hogy csupán négy egymásutáni mérés során is megfigyelhető volt teljesítményromlás. Szerettük volna megismételni ezt az eredményt, ugyanakkor kimutatni, hogy a romlás eltűntethető pihenőkkel vagy olyan visszajelzéssel, ahol a teljesítmény egy referencia értékhez van hasonlítva. Ismételten azt találtuk, hogy a teljesítményromlás megtörténik, kivéve, ha pihenőket és megfelelő visszajelzést iktatunk be.

Továbbá a szubjektív fáradtság is megnőtt a kísérletek alatt. Azonban nem találtunk korrelációt a teljesítményromlás mértéke és a szubjektív fáradság megnövekedése között. Egy lehetséges magyarázat az lehet, hogy a fáradtság szubjektív élménye normál körülmények között egy olyan költség-nyereség elemzés eredménye, ami nem függ szorosan a kognitív tartalékok kimerülésétől. Eredményeink azt mutatták, hogy a szubjektív fáradtságot bejósolja a pozitív affektivitás csökkenése, a kísérlet megkezdése előtti fáradtság illetve a kritikára való érzékenység.

Érdekes volt, hogy az ISD-vel kapott diszkriminációs küszöb bejósolta a figyelmi teljesítményt a flanker feladatban, de a fordított kapcsolat nem volt meg. Ez jelentheti azt, hogy a jobb felbontóképesség jobb figyelmi kapacitással jár együtt vagy pedig, hogy a feladat különösen érzékeny a kisebb figyelem-kiesésekre is, ami egy érzékenyebb mérőeszközzé teszi, mint amilyen az általunk alkalmazott flanker feladat.

Thesis III. A hangpárokra kapott eseményhez kötött potenciálok 60 ms körüli hangok közötti távolságnál egy minőségi változást mutatnak



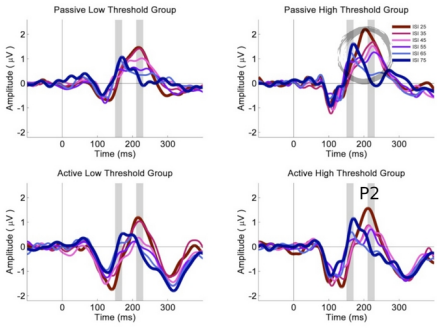
Ha van egy minőségi különbség az egy eseményként észlelt és a két egymásutáninak észlelt hangok feldolgozása között, akkor a stimulusok közötti intervallum parametrikus változtatása feltárhat egy

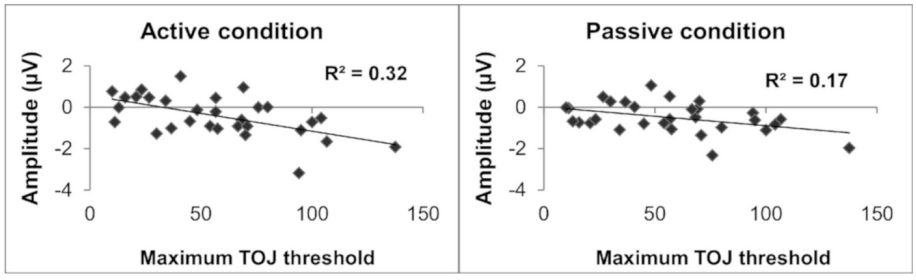
nem-lineáris változást az elektrofiziológiai válaszokban. EEG felvétel során a hangközti távolságban különböző hangpárokat mutattunk be (25 ms-tól 75 ms-ig), pszeudorandom sorrendben, egy passzív hallgatási feltételben, amikor a résztvevők egy néma filmet néztek feliratokkal. A különböző hangpárok előfordulási gyakoriságát is manipuláltuk a bemutatási tömbökben, hogy vizsgálni tudjuk a feltételezett élettani határ rugalmasságát.

Összehasonlítva azon hangpárok által kiváltott válaszok különbségét, amelyek egy egységnit különböztek hangok közötti távolságban (HKT), egy minőségi változást láttunk az 55 és 65 ms HKT-val rendelkező hangpárok válaszai között. Ez egy negativitás volt, ami a P2 csúcsot csökkentette és korábban jelent meg (45 és 55 ms-os HKTk között), ha az adott bemutatási tömbben a rövid HKTk domináltak. Azonban nem sikerült jelentős korrelációt találni az elektrofiziológiai mutatók és a viselkedéses válaszok között.

Thesis IV. A jelentős amplitúdó változás 60 ms körül összefüggést mutat a viselkedéses eredményekkel az Időbeli Sorrendiségi Döntés feladatban

Gombnyomásos választ igényelt egy cél-hangcsoport





A P2 csúcs csökkenés az 55 és 65 ms ISI-val rendelkező hangpárok ERP-i között prediktív a TOJ küszöbre.

A második tézis következtetései alapján feltételezhető volt, hogy a viselkedéses küszöb nagyon érzékeny a résztvevő aktuális állapotára, ami megnehezíti, hogy kapcsolatot találjunk a komoly

figyelmi fókuszt igénylő viselkedéses és a passzív állapotban rögzített elektrofiziológiai mutatók között. Ezért egy aktív feltételt is bevezettünk, hogy a határátlépést vizsgáljuk (amikor a fúzionált hangok két eseménnyé válnak szét). Ez esetben nem azt vettük figyelemben, hogy feltételezhetően melyik HKT-nél történt a minőségi váltás, mert korábbi eredményeink alapján az kevésbé megbízhatóan mérhető, így a P2 csökkenés mértékét vettük figyelembe az 55 és 65 ms HKT-val rendelkező hangpárok kiváltott válaszai között. A többi különbség kevésbé informatív, mert hosszú HKT esetén szinte mindenki két hangot hall, rövidnél pedig szinte mindenki egyet. Ez a megközelítés validnak bizonyult, mert közepes erősségű korrelációt sikerült kimutatni a P2 csökkenés és a viselkedésesen mért küszöbök között. Ez a kapcsolat még a passzív feltételben is megmutatkozott, bár kisebb hatásnagysággal.

Összegzés

Az egyéni különbségek a téri Időbeli Sorrendiségi Döntés feladat segítségével mért idői diszkriminációban összefüggésbe hozhatóak a hallási láncrabontással, vagyis azon képességünkkel, hogy hallási tárgyakat különítsünk el a konkurrensen jelen lévő hangforrások hangjaitól. Első tanulmányunk alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy ha a váltakozó hangok közötti távolság az átlagos ISD küszöb körül van, akkor hajlamosabbak egyetlen hangláncot észlelni azok, akiknek magasabb diszkriminációs küszöbük van. A korreláció azonban nem volt nagyon erős, ami betudható lehet a téri ISD nem túl magas teszt-reteszt reliabilitásának, minthogy a feladat sok tényezőre érzékeny lehet. Így például egy véletlen eredmény során azt találtuk, hogy a teljesítmény jelentősen romlik egymásutáni mérésekkel.

Második tanulmányunkban több eredményt bemutattunk, amelyek megerősítették az első kísérletben kapott, de nem várt hatást. Továbbá demonstráltuk, hogy a teljesítmény romlás eltüntethető kötelező szünetekkel és megfelelő visszajelzésekkel. Mindezen eredmények arra mutatnak, hogy ez a feladat különösen érzékeny még a rövid idő alatt bekövetkező kognitív fáradásra is. Egy tipikus fáradás-kísérletben több órán keresztül fárasztják a résztvevőket és akkor

sem mindig mutatható ki fáradási hatás (Takács et al, 2019). Az ebben a feladatban tapasztalt gyors teljesítmény romlás és fáradás betudható egy magas költség-haszon aránnyal, minthogy a helyzet monoton, önmagában nem jutalmazó. Egy további lehetséges magyarázat, hogy az adaptív algoritmus, amit a küszöb mérésére használtunk, érzékeny még a nagyon rövid figyelem kiesésekre is, amelyek nem detektálhatóak a figyelmi feladatokban, amikor több perces tömbök átlagát hasonlítják össze.

A szubjektív fáradtság ugyancsak megnőtt a kísérlet során, de korrelációt nem találtunk az objektív teljesítmény-romlással. Ugyanakkor a szubjektív fáradtság megnövekedése összefüggést mutatott a pozitív affektivitás csökkenésével, az észlelt erőfeszítéssel és a kritikára való érzékenységgel. Ezen eredmények arra utalnak, hogy a fáradtság érzése normál körülmények között inkább függ a helyzet kiértékelésétől, mint a kognitív kapacitás csökkenésétől.

Minthogy a viselkedéses feladatból kapott küszöb sok tényezőtől függ, szerettünk volna egy objektív módszert találni a diszkriminációs küszöb megállapítására. Elektrofiziológiai vizsgálataink azt mutatták, hogy a kiváltott válaszokban történik egy minőségi változás a hangközötti távolság függvényében. Egy jelentős P2 csúcs csökkenés volt tapasztalható 60 ms körül. Ez a küszöb rugalmasnak bizonyult, befolyásolta például a statisztikai kontextus és a kísérlet körülményei.

Negyedik tanulmányunkban be tudtuk mutatni, hogy van kapcsolat a P2 csúcs csökkenése és a viselkedéses küszöb között, amely kapcsolat nagyobb hatásnagysággal jelent meg a figyelt kondícióban, amikor azt vártuk, hogy a kiváltott válaszok kevésbé változatosak.

Levonható a következtetés, hogy valóban létezik egy időbeli küszöb 40-60 ms körül a hallási észlelésben, amely jelentős az idegi feldolgozás és a viselkedés szempontjából is. Nehéz viselkedéses feladatokkal mérni, de a P2 csúcs csökkenése egy ígéretes mutató lehet az egyéni különbségek jobb megértését célzó további vizsgálatokban. Ugyanakkor a a téri ISD feladat egy gyors eszköz lehet a szubjektív és kognitív fáradás kutatásában.

A tézispontokhoz kapcsolódó publikációk listája

I. Simon, J., & Winkler, I. (2018). The role of temporal integration in auditory stream segregation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *44*(11), 1683.

II. Simon, J., Takács, E., Orosz, G., Berki, B., & Winkler, I. (2020). Short-term cognitive fatigue effect on auditory temporal order judgments. *Experimental brain research*, *238*(2), 305-319.

III. Simon, J., Balla, V., & Winkler, I. (2019). Temporal boundary of auditory event formation: An electrophysiological marker. *International Journal of Psychophysiology*, *140*, 53-61.

IV. Júlia, S., & Balla, V. R. (2020). Electrophysiological correlates of the spatial temporal order judgment task. *Biological Psychology*, *156*, 107947.

Felhasznált irodalom

Babkoff, H., & Fostick, L. (2013). The role of tone duration in dichotic temporal order judgment. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *75*(4), 654-660.

Bernasconi, F., Manuel, A., Murray, M., & Spierer, L. (2011). Pre-stimulus beta oscillations within left posterior sylvian regions impact auditory temporal order judgment accuracy. *International Journal of Psychophysiology*,*79*(2), 244–248. doi:10.1016/j.ijpsycho.2010.10.017

Bernasconi, F., Grivel, J., Murray, M., & Spierer, L. (2010a). Plastic brain mechanisms for attaining auditory temporal order judgment proficiency.*NeuroImage*, *50*(3), 1271–1279. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.01.016

Bernasconi, F., Grivel, J., Murray, M., & Spierer, L. (2010b). Interhemispheric coupling between the posterior sylvian regions impacts successful auditory temporal order judgment. *Neuropsychologia*, *48*(9), 2579–2585.

Bregman, A. S. (1994). *Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound*. MIT press.

Capa, R., Duval, C., Blaison, D., & Giersch, A. (2014). Patients with schizophrenia selectively impaired in temporal order judgments. *Schizophrenia Research*, *156*(1), 51–55. doi:10.1016/j.schres.2014.04.001

Dabbous, A. O., El-Shennawy, A. M., Hamdy, M. M., & Nabieh, S. F. (2020). COMPARISON OF N1P2 CORTICAL AUDITORY EVOKED POTENTIAL AND NARROW-BAND CHIRP AUDITORY STEADY STATE POTENTIAL IN HEARING THRESHOLD DETECTION IN ADULTS. *Journal of Hearing Science*, *10*(4).

Demany, L., & Semal, C. (2008). The role of memory in auditory perception. In *Auditory perception of sound sources* (pp. 77-113). Springer, Boston, MA.

Fink, M., Ulbrich, P., Churan, J., & Wittmann, M. (2006). Stimulus-dependent processing of temporal order. *Behavioural processes*, *71*(2-3), 344-352.

Fink, M., Churan, J., Wittmann, M. (2005). Assessment of auditory temporal-order thresholds – A comparison of different measurement procedures and the influences of age and gender. *Restor Neurol Neurosci, 23*, 281–296

Fogerty, D., Humes, L. E., & Kewley-Port, D. (2010). Auditory temporal-order processing of vowel sequences by young and elderly listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *127*(4), 2509-2520.

Humes, L. E., Busey, T. A., Craig, J., & Kewley-Port, D. (2013). Are age-related changes in cognitive function driven by age-related changes in sensory processing?. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *75*(3), 508-524.

Jessell, T. M., Kandel, E. R., & Schwartz, J. H. (2000). *Principles of neural science* (No. 577.25 KAN).

Kolodziejczyk, I., & Szelag, E. (2008). Auditory perception of temporal order in centenarians in comparison with young and elderly subjects. *Acta Neurobiol Exp*, *68*(3), 373-81.

Mauk, M. D., & Buonomano, D. V. (2004). The neural basis of temporal processing. Annual Review of Neuroscience, 27, 307–340.

Pöppel, E. (1997). A hierarchical model of temporal perception. *Trends in cognitive sciences*, *1*(2), 56-61.

Szymaszek, A. Szelag, E. Sliwowska, M. (2006). Auditory perception of temporal order in humans: The effect of age, gender, listener practice and stimulus presentation mode. *Neurosci Lett, 403*, 190–194

Szymaszek, A., Sereda, M., Pöppel, E., Szelag, E. (2009). Individual differences in the perception of temporal order: The effect of age and cognition. *Cogn Neuropsychol, 26*(2), 135–147.

Takács E, Barkaszi I, Altbäcker A, Czigler I, Balázs L (2019) Cognitive resilience after prolonged task performance: an ERP investigation. Exp Brain Res 237(2):377–388

Tallal, P., Merzenich, M., Miller, S., Jenkins, W., 1998. Language learning impairments: integrating basic science, technology, and remediation. Exp. Brain Res. 123, 210–219.

Zwislocki, J. J. (1969). Temporal summation of loudness: An analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *46*(2B), 431-441.