

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Pszichológia Doktori Iskola – Kognitív Tudomány



Kisné Szalárdy Orsolya

**ÉSZLELET-INDUKÁLÓ ÉS ÉSZLELET-STABILIZÁLÓ  
JELZŐMOZZANATOK A HALLÁSI LÁNCRA-BONTÁSBAN**

PhD téziszfüzet

Témavezető:  
Prof. Winkler István

Budapest, 2016

## Bevezetés

A mindennapi életben hallórendszerünk rendszerint nagy mennyiségű hallási eseménnyel néz szembe, amelyeket különböző, egy időben működő hangforrások bocsátanak ki. Képzeljük csak el, hogy egy zajos utcán sétálunk. Az utca zaja sok különböző hangot tartalmaz, amelyeket egyszerre számtalan hangforrás hoz létre, mint például az autók motorzúgása, az emberek léptei, a mobiltelefonok csörgése, a beszélgetések hangjai, a szél zúgása, stb. Egy közeledő autó hangjának elválasztása a többi hangforrás által kibocsátott hangoktól döntő fontosságú lehet egy baleset elkerülése érdekében. Más szóval, a környezetünkhöz való alkalmazkodás érdekében ezeket a hallási eseményeket olyan hangláncokba kell rendeznünk, amelyek általában az éppen aktív hangforrásokat jelölik. A hallási jelent-elemzés elmélete (Bregman, 1990; lásd még Snyder & Alain, 2007; Winkler et al., 2009; Gutschalk & Dykstra, 2014) arra keres magyarázatot, hogy hogyan bontjuk szét a különböző hangsorokat, melyeket ebben a kontextusban *hallási láncoknak* nevezünk.

A hallási láncok kialakulásának vizsgálatára általánosan használt kísérleti elrendezés a hallási láncra-bomlási paradigma (van Noorden, 1975). Ebben az ingerkonfigurációban egy „ABA\_” hanghármass ismétlődik, ahol „A” és „B” két, egy vagy több tulajdonságban eltérő hang, a „\_” pedig a hanghármassok közötti szünetet jelzi, amely azonos hosszúságú az egyes hangok hosszával. A különböző paramétereknek megfelelően az ismétlődő hanghármassok alapvetően kétféleképpen észlelhetők. Az egyik lehetséges észlelet az, hogy a magas és mély hangokat egy közös mintázat részeként halljuk, azok egyetlen hangláncba szerveződnek (integrált észlelet). A másik lehetséges észlelésbeli szerveződés az, amikor a magas és mély hangokat külön álló láncokként halljuk: az egyik lánc csak „A” hangokat, a másik csak „B” hangokat tartalmaz (szegregált észlelet). Számtalan kísérlet bizonyította, hogy a hallórendszer különböző jelzőmozzanatokot használ fel a hallási láncok szétválasztására (összefoglalókat lásd, Moore & Gockel, 2002; Moore & Gockel, 2012). Bregman (1990) elmélete szerint a

hallási láncok szerveződésének két fázisát különíthetjük el. Az első fázisában a különböző, a csoportosítást jelzőmozzanatok (a hangmagasság, hangszín, stb. hasonlósága, melyeket összefoglalóan hasonlóságon alapuló jelzőmozzanatoknak is nevezünk) szerint lehetséges alternatív hangmintázatok jönnek létre, amelyek később hallási láncokként jelenhetnek meg az észlelésben. Az ezt követő fázisban versengés lép fel az alternatív hangmintázatok között, és az aktuálisan domináns hangmintázat jelenik meg az észlelésben. A klasszikus elképzeléssel ellentétben, mely szerint a hangsorok bemutatásának kezdete után néhány másodperccel egy, a továbbiakban nem változó domináns észlelet alakul ki, egyes kísérletek bebizonyították, hogy hosszabb (>1 perc) hangsorok hallgatása esetén, az észlelt hangmintázat a lehetséges alternatívák között váltakozik (Anstis & Saida, 1985; Denham & Winkler, 2006; Pressnitzer & Hupé, 2006). Ezt a jelenséget perceptuális bi-/multistabilitásnak nevezzük (Blake & Logothetis, 2002; Leopold & Logothetis, 1999; összefoglalót lásd, Schwartz et al., 2012). Denham és Winkler (2006) feltételezése szerint, a perceptuális multistabilitás egy folyamatos versengést tükröz az alternatív hangszerveződések között. Bendixen és mtsai. (2010; 2013) kísérleteiben bemutatták, hogy a hasonlóságon alapuló jelzőmozzanatokon túl a hallási láncra-bontás idői szabályosságok alapján is megtörténhet. E kétféle jelzőmozzanat (a hasonlóságon, illetve az idői szabályosságokon alapuló) különböző módon befolyásolja a hallási láncra-bontást. A kétféle jelzőmozzanatot összehasonlítva Bendixen és mtsai. (2013) azt találták, hogy azok a jelzőmozzanatok, melyek az egyik észlelet létrejöttét indukálják, elősegítik a váltást egy másik észleletről a jelzőmozzanat által támogatott észleletre oly módon, hogy lerövidítik a másik észlelet időtartamát. Ezzel ellentétben, azok a jelzőmozzanatok, amelyek stabilizálnak egy észleletet, meghosszabbítják azt az időtartamot, amíg az adott észlelet fennáll, de nem befolyásolják más észleletek idejét. Éppen ezért azokat a jelzőmozzanatok, amely egy észleletet indukálnak *észlelet-indukáló jelzőmozzanatoknak* nevezünk, míg azokat, melyek egy észleletet stabilizálnak, *észlelet-*

*stabilizáló jelzőmozzanatoknak* nevezünk. Az eddigi vizsgálatokban csak olyan észlelet-indukáló jelzőmozzanatot találtak, melyek egyben észlelet-stabilizálók is voltak. Az észlelet-stabilizáló jelzőmozzanatok viszont nem feltétlenül észlelet-indukálóak is.

Több, mint 20 évvel Bregman (1990) alapvető munkája után, a hallási jelenet-elemzés megértése még mindig számtalan kérdést tartogat a kutatók számára (lásd pl. Carlyon, 2004; Denham & Winkler, 2006; Haykin & Chen, 2005; Snyder & Alain, 2007; Winkler et al., 2012). A perceptuális bi-/multistabilitás egy fontos eszköz a hallási láncra-bontás vizsgálatára, mivel a hallási jelenet mentális reprezentációja az ingerek fizikai változtatása nélkül vizsgálható. Éppen ezért, az általam végzett kísérletekben központi szerepet játszott a hallási multistabilitás jelensége. Tézisem fő célja két témakör köré csoportosult: Az első cél a különböző jelzőmozzanatok vizsgálata volt tekintettel azok észlelet-indukáló és észlelet-stabilizáló hatásainak vizsgálatára. A második cél az észlelt hangszerveződés elektrofiziológiai korrelátumainak kiterjesztése és pontosabb értelmezése volt.

Az első témakörön belül az amplitúdó-moduláció hatását, és interakcióit vizsgáltuk más jelzőmozzanatokkal egy multistabil ingerkonfiguráció segítségével. Grimault és mts. (2002) az találta, hogy két összekevert hangsor közötti növekvő amplitúdó-moduláció (AM) különbség hatására a vizsgálati személyek növekvő mértékben észlelték a hangsorokat két hallási láncnak. Saját kísérletünkben, a hallási láncra-bomlási paradigmát használva azt vizsgáltuk, hogy hogyan változik az különböző lehetséges észleletek aránya és átlagos fázishossza. (A fázis azt az időintervallumot jelöli, amíg ugyanaz az észlelet fennáll, a fázishossz ennek az időintervallumnak a hosszát jelöli.) Mivel az AM egy időben változó jelzőmozzanatok, a hatása független lehet más, nem statikus jelzőmozzanatoktól, mint pl., a frekvencia, vagy az észlelt hely. Másrészt, az AM az észlelt hangmagasságot is befolyásolja (Meddis & Hewitt, 1991). Ezért, hatása átfedő lehet a vivőfrekvenciában található

frekvenciakülönbséggel. Az első Tézis mutatja be eredményeinket arról a kísérletről, ahol az AM hatását és interakcióit vizsgáltuk a hangmagassággal és az észlelt hellyel.

A második kérdésünk az volt, hogy a hasonlóságon alapuló jelzőmozzanatokhoz hasonlóan magasabb-szintű jelzőmozzanatok képesek-e egy adott észlelet indukálására. Devergie és mts. (2010) kísérletében ismerős hangmintázatok hatására a vizsgálati személyek, hasonlóságon alapuló jelzőmozzanatok hiányában is, szétválasztottak két összekevert hangsort. Újabb kísérletek alátámasztották, hogy a bejósolható hangmintázatok fontos szerepet játszanak a hallási láncra bontásban (Andreou et al., 2011; Rimmele et al., 2012; Snyder & Weintraub, 2011; Bendixen et al., 2013; Bendixen et al., 2010) Ezek a jelzőmozzanatok azonban csak stabilizáltak egy észleletet, de nem indukálták azt (Bendixen et al., 2013; Bendixen et al., 2010). A második Tézis foglalja össze eredményeinket a dallam, ritmus és ismerősség hatásainak vizsgálatáról.

Elektrofiziológiai módszerek alkalmazásával olyan információk is elérhetővé válnak, amelyek viselkedéses módszerekkel nem, vagy csak nagyon bonyolult elrendezésekben lehet tanulmányozni. Az eltérési negativitás (EN) egy olyan eseményfüggő agyi kiváltott potenciál komponens (EKP), amely egy, az előző hangokból kiemelt szabályosság megsértésekor jelenik meg (pl., Winkler, 2007). Az EN paradigmák sikeresen alkalmazhatóak a hallási láncra bontás vizsgálatára is (Rahne et al., 2007; Sussman et al., 1998, 1999; Winkler et al., 2003a; Winkler et al., 2003b; Winkler et al., 2003c; Winkler et al., 2005). A hallási láncra-bontás és a deviáns-detekció között azonban, csak közvetett kapcsolat áll fenn (Schröger et al., 2014; Winkler et al., 2009), és az EN és az aktuális észlelet közötti összefüggés szintén nem teljesen egyértelmű (Ross et al., 1996; Paavilainen et al., 2007; van Zuijen et al., 2006). Észleletfüggő változások összefüggésbe hozhatóak továbbá a P1 és N1 komponenssel. A harmadik Tézis foglalja össze eredményeinket a szabályos és deviáns hangok észlelet-függő feldolgozásáról egy hallási láncra-bomlási paradigmában. A negyedik Tézis egy új

ingerparadigmát mutat be, amely lehetővé teszi a hallási előtér/háttér szétválasztásának vizsgálatát EKP-k segítségével. Ezen belül, vizsgáltuk az EN észlelt-függését is.

## **Új tudományos eredmények**

### ***I. Tézis. Az amplitúdó-modulációs frekvenciakülönbség hatásának vizsgálata a hallási láncra bontásra***

A kísérlet az AM frekvencia különbségének a hallási láncra-bontásra tett hatását vizsgálta, valamint elemezte az AM, a vivő-frekvencia valamint a hangforrás észlelt helye közti különbség jelzőmozzanatok közötti interakciót. A vizsgálatot a hallási láncra-bontási paradigmát alkalmazva, az vizsgálati személy észlelésének folyamatos nyomon követésével végeztünk el. Eredményink azt mutatják, hogy a vizsgált jelzőmozzanatok mindegyikének hatására az integrált észlelet fázishossza lerövidült, míg a szegregált észlelet fázisai meghosszabbodtak. Interakciót találtunk az AM és a vivőfrekvencia-különbség, az AM és a hely-különbség, valamint a vivőfrekvencia-különbség és hely-különbség között. Ezek az eredmények plafonhatásra utalnak. Eredményeink alapján mindhárom alkalmazott jelzőmozzanat észlelet-indukáló jelzőmozzanatként tekinthető.

### ***II. Tézis. Szekvenciális-strukturális jelzőmozzanatok hatása a hallási láncra bontásra***

Kísérletünkben ismerős és ismeretlen dallamok és ritmusok hatását vizsgáltuk a hallási láncra-bontásra. Elsősorban arra voltunk kíváncsiak, hogy egy-egy (különböző) dallam jelenléte a két összekevert hangsorban elősegíti-e a hangsorok szétválasztását. A dalok kiválasztásánál azok hangterjedelmét és átlagfrekvenciáját vettük figyelembe, hogy elkerüljük az ebből adódó hallási láncra-bontást. Két magyar és két német dalt alkalmaztunk. A vizsgálati személyek egyik csoportja magyarokból, másik csoportja angolokból állt. A magyarok közül mindenki számára ismertek voltak a magyar dalok, de a német dalok nem, míg az angolok számára sem a magyar sem a német dalok nem voltak ismerősek. Egyik vizsgálati személy sem részesült professzionális zenei képzésben. A dalokat vagy az eredeti

ritmusban mutattuk be, vagy egy szabályos ritmusban, ahol minden hang és minden szünet külön-külön azonos hosszúságú volt. Eredményeink azt mutatják, hogy a dallamok jelenléte elősegítette a hangláncok szétválasztását. Az ismerős dallamoknak erősebb szétválasztó hatása volt. A ritmus szintén elősegítette a hangláncok szétválasztását, de ez nem a hangok időbeli struktúrájából, hanem a hangok közötti átfedésből adódott. Ezek az eredmények alátámasztják, hogy magasabb-szintű jelzőmozzanatok indukálhatnak hallási láncra-bontást.

### ***III. Tézis. Az észlelet korai- és késői látenciájú EKP korrelátumai***

A kísérlet fő célja annak vizsgálata volt, hogy az aktuálisan észlelt hangszerveződés befolyásolja-e a szabályos és a hangmagasságban eltérő deviáns hangok feldolgozását. A kérdés vizsgálatára a hallási láncra-bomlási paradigmát alkalmaztuk az észlelet folyamatos nyomon követésével és egyidejű EEG méréssel. Ritkán, a szabályos hangokat deviáns hangokra cseréltük, amelyek kicsit, vagy nagyobb mértékben különböztek a szabályos hangoktól. Eredményeink az mutatják, hogy a szabályos hangok feldolgozását kb. 75 ms-mal az ingerkezdés után, a hangtulajdonságok elemzésének idejében, befolyásolta az észlelet. Ez a hatás a P1 komponens modulációjában jelentkezett. A deviáns hangok kiértékelése során is találtunk eltérést: a deviáns hangok esetében az N2 és P3a komponenseket befolyásolta az észlelet. Ezek az eredmények azt jelzik, hogy az aktuális észlelet többféle módon is interakcióba lép a beérkező hangok feldolgozásával.

### ***IV. Tézis. Új ingerparadigma a multistabil hallási észlelés EKP korrelátumainak mérésére***

Ebben a kísérletben célunk kettős volt: egy új multistabil ingerparadigmát alkalmazva a hallási előtér és háttér megkülönböztetését vizsgáltuk EKP komponensek segítségével, valamint az EN észlelés-függő kiváltását vizsgáltuk. A kísérleti elrendezés Wessel (1979) paradigmáján alapult, ami egy ismétlődő hanghármashoz áll. Ebben, a hangok hangmagasságukat tekintve emelkedőek, míg hangszínüket tekintve váltakozóak. Ezáltal a



hangsor kétféleképpen hallható: vagy hangmagasságban emelkedő, ismétlődő hanghármashoz álló hangsort hallunk ahol a hangszín változik (az hangok idői közelsége szerinti hangszerveződése alapján) vagy hangmagasságban csökkenő, ismétlődő hanghármashoz álló hangsort hallunk (a hangok hangszín szerinti csoportosítása alapján). A kísérlet során a vizsgálati személyek észleletét folyamatosan követtük. Az EN észlelet-függő vizsgálatára kétféle szabályosság szerepelt a hangsorokban: az egyik féle szabályosság megszegésénél azt vártuk, hogy az csak az emelkedő hangsor észlelésekor vált majd ki EN-t, míg a másik féle szabályosságot úgy állítottuk fel, hogy annak megszegése csak a csökkenő hangsor észlelésekor váltson ki EN-t. Eredményeink alapján ebben a kísérleti elrendezésben az EN kiváltása nem az aktuális észlelettől függött, hanem a hangok idői sorrendjét követte: az egyik szabályosság megszegése minden esetben kiváltotta az EN-t, míg a másik féle szabályosság nem váltott ki EN-t. Így eredményeink azt mutatják, hogy esetünkben a szabályosság-detekció megelőzte a hangok hallási láncokká szerveződését. Ugyanakkor azt is találtuk, hogy a P1 amplitúdója függött az aktuálisan észlelt hangszerveződéstől aszerint, hogy az azt kiváltó hang az előtér vagy a háttér részeként volt hallható. Ez az eredmény alátámasztja azt, amit a III. tézispontban már felvetettünk: az észlelt hangszerveződés már kb. 75 ms-mal az ingerkezdet után befolyásolja a hangok feldolgozását.

## **Következtetések**

Eredményeink azt mutatják, hogy a spektrális és az idői-strukturális jelzőmozzanatok is alkalmasak észleletek indukálására. Az, hogy kísérletünkben ismeretlen dallamok bemutatása is indukálta a hangsorok szétválasztását, feltételezhetően abból adódik, hogy a tonalitás elemzése befolyásolja a hallási láncra bontás. Ennek vizsgálata azonban még további kísérleteket igényel. Eredményink azt is alátámasztják, hogy többféle kölcsönhatás érvényesül a beérkező hangok feldolgozása és az aktuálisan domináns észlelet között. A P1 és N1 EKP komponensek modulálásában találtunk korai hatásokat a szabályos ingerek feldolgozása során. A deviáns hangok feldolgozását később, a hangok kiértékelése során befolyásolta az aktuális észlelet. Ezt az N2 és P3a komponensekben talált változás jelezte. Kísérleteinkben egy új multistabil hallási ingerparadigmát is felhasználtunk az előtér és háttér megkülönböztetésének vizsgálatára. A paradigma segítségével a P1 komponensben találtunk észlelet-függő változást, az EN kiváltása pedig az észleltől független volt. A háttérben észlelt hangokra talált megnövekedett P1 komponens feltételezhetően gátlási folyamatokra utal. További kísérletek szükségesek az EN és az aktuális észlelet kölcsönhatásainak tisztázására.

## A tézishez kapcsolódó tudományos publikációk

- I. Szalárdy, O., Bendixen, A., Tóth, D., Denham, S. L., Winkler, I. (2013). Modulation-frequency acts as a primary cue for auditory stream segregation. *Learning & Perception*, 5(2): 149-161.
- II. Szalárdy, O., Bendixen, A., Böhm, T. M., Davies, L. A., Denham, S. L., Winkler, I. (2014). The effects of rhythm and melody on auditory stream segregation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 135: 1392-1405.
- III. Szalárdy, O., Böhm, T. M., Bendixen, A., Winkler, I. (2013). Event-related potential correlates of sound organization: early sensory and late cognitive effects. *Biological Psychology*, 93: 97-104.
- IV. Szalárdy, O., Winkler, I., Schröger, E., Widmann, A., Bendixen, A. (2013). Foreground-background discrimination indicated by event-related brain potentials in a new auditory multistability paradigm. *Psychophysiology*, 50(12): 1239-1250.

## Hivatkozások

- Andreou, L. V., Kashino, M., & Chait, M. (2011). The role of temporal regularity in auditory segregation. *Hear. Res.*, 280(1-2), 228-235.
- Anstis, S., & Saida, S. (1985). Adaptation to auditory streaming of frequency-modulated tones. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11(3), 257-271.
- Bendixen, A., Böhm, T., Szalárdy, O., Mill, R., Denham, S. L., & Winkler, I. (2013). Different roles of similarity and predictability in auditory stream segregation. *Learning and Perception*, 5(2), 37-54.
- Bendixen, A., Denham, S. L., Gyimesi, K., & Winkler, I. (2010). Regular patterns stabilize auditory streams. *Journal of the Acoustical Society of America*, 128(6), 3658-3666.
- Blake, R., & Logothetis, N. K. (2002). Visual competition. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(1), 13-23.
- Bregman, A. S. (1990). *Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carlyon, R. P. (2004). How the brain separates sounds. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(10), 465-471.
- Denham, S. L., & Winkler, I. (2006). The role of predictive models in the formation of auditory streams. *Journal of Physiology, Paris*, 100(1-3), 154-170.
- Devergie, A., Grimault, N., Tillmann, B., & Berthommier, F. (2010). Effect of rhythmic attention on the segregation of interleaved melodies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 128(1), 1-7.
- Grimault, N., Bacon, S. P., & Micheyl, C. (2002). Auditory stream segregation on the basis of amplitude-modulation rate. *Journal of the Acoustical Society of America*, 111(3), 1340-1348.
- Gutschalk, A., & Dykstra, A. R. (2014). Functional imaging of auditory scene analysis. *Hearing Research*, 307, 98-110.
- Haykin, S., & Chen, Z. (2005). The cocktail party problem. *Neural Comput*, 17(9), 1875-1902.
- Klimesch, W. (2011). Evoked alpha and early access to the knowledge system: the P1 inhibition timing hypothesis. *Brain Research*, 1408, 52-71.
- Leopold, D. A., & Logothetis, N. K. (1999). Multistable phenomena: Changing views in perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(7), 254-264.
- Meddis, R., & Hewitt, M. J. (1991). Virtual pitch and phase sensitivity of a computer model of the auditory periphery. I: Pitch identification. *Journal of the Acoustical Society of America*, 89(6), 2866-2882.
- Moore, B. C. J., & Gockel, H. (2002). Factors influencing sequential stream segregation. *Acta Acustica United with Acustica*, 88(3), 320-333.
- Moore, B. C. J., & Gockel, H. E. (2012). Properties of auditory stream formation. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 367(1591), 919-931.
- Paavilainen, P., Arajärvi, P., & Takegata, R. (2007). Preattentive detection of nonsalient contingencies between auditory features. *Neuroreport*, 18(2), 159-163.
- Pressnitzer, D., & Hupé, J.-M. (2006). Temporal dynamics of auditory and visual bistability reveal common principles of perceptual organization. *Current Biology*, 16(13), 1351-1357.
- Rahne, T., Böckmann, M., von Specht, H., & Sussman, E. S. (2007). Visual cues can modulate integration and segregation of objects in auditory scene analysis. *Brain Research*, 1144, 127-135.
- Rimmele, J., Schröger, E., & Bendixen, A. (2012). Age-related changes in the use of regular patterns for auditory scene analysis. *Hearing Research*, 289(1-2), 98-107.
- Ross, J., Tervaniemi, M., & Näätänen, R. (1996). Neural mechanisms of the octave illusion: electrophysiological evidence for central origin. *Neuroreport*, 8(1), 303-306.
- Schröger, E., Bendixen, A., Denham, S. L., Mill, R. W., Böhm, T. M., & Winkler, I. (2014). Predictive regularity representations in violation detection and auditory stream segregation: from conceptual to computational models. *Brain Topography*, 27(4), 565-577.
- Schwartz, J. L., Grimault, N., Hupé, J. M., Moore, B. C., & Pressnitzer, D. (2012). Multistability in perception: binding sensory modalities, an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B: Biological Sciences*, 367(1591), 896-905.

- Snyder, J. S., & Alain, C. (2007). Toward a neurophysiological theory of auditory stream segregation. *Psychological Bulletin*, 133(5), 780-799.
- Snyder, J. S., & Weintraub, D. M. (2011). Pattern specificity in the effect of prior  $\Delta f$  on auditory stream segregation. *Journal of Experimental Psychology- Human Perception and Performance*, 37(5), 1649-1656.
- Sussman, E., Ritter, W., & Vaughan, H. G. (1999). An investigation of the auditory streaming effect using event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 36(1), 22-34.
- Sussman, E., Ritter, W., & Vaughan, H. G., Jr. (1998). Attention affects the organization of auditory input associated with the mismatch negativity system. *Brain Research*, 789(1), 130-138.
- van Noorden, L. P. A. S. (1975). *Temporal coherence in the perception of tone sequences*. Unpublished Doctoral dissertation, Technical University Eindhoven.
- van Zuijen, T. L., Simoens, V. L., Paavilainen, P., Näätänen, R., & Tervaniemi, M. (2006). Implicit, intuitive, and explicit knowledge of abstract regularities in a sound sequence: an event-related brain potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(8), 1292-1303.
- Wessel, D. L. (1979). Timbre space as a musical control structure. *Computer Music Journal*, 3, 45-52.
- Winkler, I. (2007). Interpreting the mismatch negativity. *Journal of Psychophysiology*, 21(3-4), 147-163.
- Winkler, I., Denham, S., Mill, R., Böhm, T. M., & Bendixen, A. (2012). Multistability in auditory stream segregation: a predictive coding view. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 367(1591), 1001-1012.
- Winkler, I., Denham, S. L., & Nelken, I. (2009). Modeling the auditory scene: predictive regularity representations and perceptual objects. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(12), 532-540.
- Winkler, I., Kushnerenko, E., Horváth, J., Čeponienė, R., Fellman, V., Huotilainen, M., et al. (2003a). Newborn infants can organize the auditory world. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(20), 11812-11815.
- Winkler, I., Sussman, E., Tervaniemi, M., Horváth, J., Ritter, W., & Näätänen, R. (2003b). Preattentive auditory context effects. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 3(1), 57-77.
- Winkler, I., Takegata, R., & Sussman, E. (2005). Event-related brain potentials reveal multiple stages in the perceptual organization of sound. *Cognitive Brain Research*, 25(1), 291-299.
- Winkler, I., Teder-Sälejärvi, W. A., Horvath, J., Näätänen, R., & Sussman, E. (2003c). Human auditory cortex tracks task-irrelevant sound sources. *Neuroreport*, 14(16), 2053-2056.