

Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Kognitív Tudományi Tanszék - Pszichológia  
Doktori Iskola



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Maróti Emese

**BEHAVIORAL AND NEURAL EFFECTS OF AUDITORY ENTRAINMENT**

PhD Disszertáció

Tézisfüzet

Témavezető:

Dr. Vidnyánszky Zoltán

Budapest, 2020

## A bemutatott vizsgálatok összefoglalása és a tézispontok

A hallási entrainment arra a folyamatra utal, melynek során a szenzoros és motoros agyterületek oszcillációi szinkronizálódnak a hallási inger frekvenciáinak egész számú többszöröseivel. A hallási entrainment jelentősége, hogy képes módosítani észlelési és kognitív folyamatainkat azáltal, hogy hatást gyakorol a neurális populációk kommunikációjára. Ez egy komplex folyamat, melyben több agyi hálózat is részt vesz, melyek különböző szerepet játszanak a zenei lüktetés kódolásában és a hallási-motoros interakciókban (Fujioka, Trainor, Large & Ross, 2009; Nozaradan, Zerouali, Peretz & Mouraux, 2015; Snyder & Large, 2005). A disszertáció négy tanulmányt mutat be, melyek különböző neurális és viselkedéses szempontból járják körül a hallási entrainmentet, valamint vizsgálják ezek egymásra gyakorolt hatásait.

A hallási entrainment hosszú idő alatt fejlődik ki. Csecsemők már képesek a zenei lüktetés és az időintervallumok helyes érzékelésére, mégis, a szenzomotoros szinkronizáció (hangingerre való mozgás) még a gyermekkor alatt is fejlődik. Nagyon kevés adat áll rendelkezésre a neurális entrainment fejlődéséről, és a felnőttektől eltérően, a gyermek adatok nehezen értelmezhetőek. Korábbi kutatások nem kontrolláltak a résztvevők zenei és nyelvi képességeire, amelyek befolyásolják az időbeli folyamatok feldolgozásának képességét, amelyek a zenei lüktetés érzékelésének is alapjául szolgálnak. Az első tanulmány ezeket a problémákat járta körül a különböző frekvenciájú agyi oszcillációk vizsgálatával, zenei képzésben nem részesült, olvasni még nem tudó iskolakezdő gyermekeknél.

Egy periodikus hallási ingerhez történő mozgás szinkronizáció során a szenzoros és motoros idegrendszeri folyamatok kölcsönösen informálják egymást, hogy elősegítsék a mozgás minél pontosabb összehangolását a hangingerrel. A hallási inger agyi leképeződése pedig fokozottabb, amikor mozgás kíséri az inger hallgatását. Problémát jelent, hogy a meglévő adatok nagy része a felnőttekre vonatkozik, és a csecsemő és gyermek kutatások vitatható eredményeket hoztak. A zenei képzettség és az olvasási képességek továbbra is nehezen értelmezhetővé teszik az eredményeket. A második tanulmány ezen problémákat küszöbölte ki a szenzomotoros szinkronizációban résztvevő

neurális folyamatok fejlődésének vizsgálata révén, olvasni nem tudó, zenei előképzettség nélküli általános iskolás gyerekeknél.

A zenei transzfer hatás egyik fő komponensének a hallási entrainmentet tekintik (Miendlarzewska & Trost, 2014). Ez azon az elgondoláson alapszik, miszerint a zenei folyamat hierarchikus rendszere akkor a leghatékonyabban felfogható, ha a figyelem rákapcsolódik annak periodikusan ismétlődő ciklusaira. Ez a figyelmi működés mindazonáltal hasznára válik más, egyéb képességeknek is, amelyek hasonló agyi hálózatokat vonnak be, illetve amelyek hasonló figyelmi folyamatokkal működnek. Korábbi kutatások kimutatták, hogy a hallási entrainment hasznos hatással volt különböző kognitív képességekre. Ugyanakkor, ezek a tanulmányok ellentmondásos eredményeket hoztak és az entrainment különböző alkalmazásai a zeneoktatásban eltérő hatásokat mutattak. Ezen kívül, a tanulmányokban résztvevő gyermekek különböző korúak voltak különböző zenei előképzettséggel. A harmadik tanulmány a hallási entrainment hosszútávú transzfer hatásait vizsgálta három különböző általános iskolai osztálynál, melyek különböző entrainment alapú és hagyományos ének-zene oktatásban vettek részt.

A periodikus hallási ingerek képesek az észlelési folyamatok módosítására nemcsak a hallási, hanem más érzékszervi tartományban is, mint például a látás. Ebből következőleg, amikor vizuális ingereket hallási ingerekkel párosítunk, megváltozhat a vizuális ingerek feldolgozása. Habár bőséges adat áll rendelkezésre arról, hogy a zene elősegíti a vizuális észlelést, az még nem ismert, hogy a különböző tempójú hangingerek hogyan befolyásolják a látási folyamatokat. A negyedik tanulmány azt vizsgálta, hogyan hatnak különböző tempójú hallási ingerek a szemmozgásra természetes látás közben.

A disszertáció az alábbi kutatási kérdéseket vizsgálta:

- 1. Melyek a hallási entrainment korai fejlődési megnyilvánulásai különböző frekvencia sávokban, 6-7 éves gyermekeknél?*
- 2. Hogyan fejlődnek a szenzomotoros szinkronizációban résztvevő hallási és motoros folyamatok általános iskolás gyermekeknél?*
- 3. Hogy függ össze a szenzomotoros entrainment a kognitív, nyelvi, zenei és társas képességekkel, hogyan fejlődik, és milyen hatásai vannak az entrainment különböző alkalmazási formáinak a zeneoktatásban?*

4. *Hogyan hatnak a különböző tempójú hallási ingerek az információ feldolgozásra természetes látás közben?*

**I. tézispont: Az entrainmenthez kötött hallási és motoros folyamatok eltérő idő alatt fejlődnek ki.**

Az első tanulmányban (Maróti, Honbolygó & Weiss, 2019) a hallási és motoros folyamatokat vizsgáltuk a béta (15-25 Hz) és gamma (28-48 Hz) oszcillációkban 6-7 éves, zenei képzésben nem részesült, olvasni még nem tudó gyerekeknél. A gyerekek először egyenletes ritmussorokat hallgattak három különböző tempóban, mialatt a motoros viselkedést előkészítő hallási folyamatokat vizsgáltuk a béta frekvencia sávban. A három tempó arra szolgált, hogy megvizsgáljuk képesek-e adaptálódni a gyerekek neurális válasza a különböző ingergyakorisághoz. Ezt követően a gyerekek hangos-halk hangsúlymintázatból álló egyenletes ritmussorokat hallgattak, melyekből a hangos hang időnként kimaradt. A hangsúlymintázat célja, hogy elősegítse a metrikus érzet létrejöttét. A zeneileg képzett felnőttekkel és gyerekekkel ellentétben nem találtunk tempófüggő változásokat a béta oszcillációk mintázatában, és sem a béta deszinkronizáció sem a visszaépülés nem volt szignifikáns, mely arra utal, hogy ezek a folyamatok még fejlődés alatt állnak. Ezzel szemben a metrikus érzetet illetően a felnőttekhez hasonló tendenciát találtunk. Az indukált gamma oszcillációkat nem befolyásolta a hang kimaradása, és rövidebbel a kimaradó hang helye után teljesítmény növekedés volt megfigyelhető. A kutatás eredményei arra engedtek következtetni, hogy a metrikus érzethez köthető hallási feldolgozás korábban kifejlődik, mint azok a folyamatok, melyek a hallási-motoros interakciókban játszanak szerepet, mint a motoros viselkedést előkészítő hallási feldolgozás.

**II. tézispont: A hallási-motoros kapcsolódás hiánya gátolja a szenzomotoros szinkronizációt általános iskolás gyerekeknél.**

A második tanulmányban (Maróti, Weiss, Asztalos & Honbolygó, 2019) a hallási és motoros folyamatok interakciójának fejlettségét vizsgáltuk és mértük az ezekhez

kapcsolódó SS-KP (steady-state kiváltott potenciál) válaszok változásait kopogás szinkronizáció közben 6 és 7 éves kor között. SS-KP-kat találtunk az inger és annak első felharmonikusának frekvenciáján hallási agyterületekhez kapcsolódva. Ezek az SS-KP-k mindkét mérési ponton szignifikánsak voltak és nem változtak szignifikánsan a mérések között. Ugyanakkor a cél kopogási és kereszt-modulációs (a hallási és motoros interakcióhoz kötött) frekvenciához kapcsolódó SS-KP-k nem voltak szignifikánsak egyetlen mérési ponton sem. Mivel a motoros aktivitás megjelent a leütéshez triggerelt topografikus térképeken, de nem jelent meg az ingerhez triggerelt topografikus térképeken, arra következtettünk, hogy a mozgás nem szinkronizálódott a hallási ingerhez, ebből kifolyólag nem jött létre a hallási és motoros folyamatok kapcsolódása. Ezek az eredmények további bizonyítékot szolgáltatnak arra, hogy a hallási és motoros területek közötti interakciók még nem teljesen kifejeztek 6-7 éves korra.

### **III. tézispont: Az entrainment alapú zeneoktatás fokozza a kognitív képességeket az adott módszer specifikus elemeihez köthetően.**

A harmadik tanulmányban (Maróti, Barabás, Deszpot, Farnadi, Nemes, Szirányi & Honbolygó, 2018) két entrainment alapú (egy kötött mozgásra és egy szabad mozgásra épülő) és egy éneklés alapú (kontroll) zeneoktatási módszer transzfer hatásait hasonlítottunk össze a kognitív, nyelvi, zenei és társas készségek tekintetében 6-7 éves gyermekeknél. Az elő-felmérésen nem találtunk szignifikáns különbségeket a három csoport között. Nyolc hónap elteltével azonban szignifikáns fejlődés mutatkozott az entrainment alapú csoportok javára a kontroll csoporttal szemben a hangmagasság diszkriminációban, munkamemóriában, a fonológiai tudatosságban és a verbális képességek terén. A kontroll csoport pedig a végrehajtó funkciókban fejlődött jobban az entrainment alapú csoportokhoz képest. Ezen kívül, a szenzomotoros entrainment szignifikánsan korrelált a figyelmi képességekkel, munkamemóriával és a fonológiai tudatossággal. Végezetül kimutattuk, hogy a szenzomotoros entrainment különböző tanítási metódusai (kötött vagy szabad) különböző mértékben befolyásolták a kognitív, nyelvi, zenei és társas képességeket. Ezek a különbségek feltehetően a módszerek eltérő tanítási elemeinek tulajdoníthatók.

#### **IV. tézispont: A zenei tempó befolyásolja a vizuális információ feldolgozást természetes látás közben.**

A negyedik tanulmányban (Maróti, Knakker, Vidnyánszky, Weiss, 2017) azt vizsgáltuk, hogy különböző tempójú dob groove-ok hogyan befolyásolják a szemmozgást képek nézése közben. Ingernek két különböző stílusú (funky and techno) dob groove-ot használtunk, hogy egyúttal vizsgáljuk a zenei stílus hatását is, és szinkron kopogással mértük a hallási ráhangolódás képességét. Kimutattuk, hogy a dob groove-ok tempó frekvenciája modulálta a szemmozgások gyakoriságát: a fixációk hossza megnövekedett a lassú tempóban (1.7 Hz) a gyors tempóhoz (2.4 Hz) és a csendhez képest. Ezzel párhuzamosan lecsökkent a vizuális mintavételezési frekvencia. Zenei stílus tekintetében a résztvevők könnyebbnek ítélték a kopogást a techno groove-okra a funky-val szemben, mégis, ez a különbség nem mutatkozott meg a szemmozgásban. Eredményeinkből arra következtetünk, hogy a zene tempója befolyásolja a szemmozgást természetes látás közben, és a lassú zene képes a vizuális információ mintavételezésének visszatartására a fixációk hosszának megnövekedése által.

#### **Diszkusszió**

Az entrainmentben résztvevő hallási és motoros folyamatokat a mögöttes neurális hálózatok érettsége befolyásolja. Az SS-EP válaszok és a béta oszcillációk mintázatának különbözősége a zeneileg képzett felnőtt és idősebb gyermekeknél a zeneileg képzetlen gyerekekhez képest arra utal, hogy az életkor és a zenei képzettség jelentős hatással van a motoros viselkedést előkészítő hallási feldolgozásra és a hallási-motoros kapcsolódásra. A felnőttekhez képest a gyerekeknél szűkebb az a tempó tartomány, amihez képesek mozgással szinkronizálódni, és ez a tartomány fokozatosan bővül 6 és 10 éves kor között (van Noorden & Moelants, 1999). Ugyanakkor, a hallási inger feldolgozásához és a metrikus érzethez kapcsolódó idegrendszeri aktivitás jóval fejlettebb állapotban van. A hatékony hallási feldolgozás létfontosságú már újszülött korban. A hangingerek ciklikusságának érzékelése elengedhetetlen a beszéd-folyam részekre bontásához és a

különböző beszédritmusokhoz való alkalmazkodáshoz. Ehhez korábbi kutatások sora talált bizonyítékot csecsemőknél, melyet azzal magyaráztak, hogy a metrikus érzékelés velünk született képesség (Háden, Honing, Török & Winkler, 2015; Stefanics, Háden, Huotilainen, Balázs, Sziller, Beke, Fellman & Winkler, 2007; Winkler, Háden, Ladinig, Sziller & Honing, 2009).

Kimutattuk, hogy az entrainment alapú zeneoktatás javította 8 hónap után a fonológiai tudatosságot, a szókincset és a munkamemóriát az ének alapú zeneoktatáshoz képest. Eredményeink hozzájárulnak a zeneoktatás transzfer hatásával kapcsolatos tudás bővítéséhez a szenzomotoros entrainment egyedi, hosszútávú hatásának bemutatásával. A ritmusérzékelés és reprodukció elvárások létrejöttét generálja, mely elősegíti a figyelmi források orientációját (Bolger, Trost & Schön, 2013). Ezek a figyelmi folyamatok hasznosulnak a nyelvi feldolgozás és a munkamemória esetén is (for a review, see Gruber & Goschke, 2004). Kimutattuk továbbá, hogy a szenzomotoros entrainment különböző alkalmazási formái eltérő transzfer hatásokat produkálnak. A kötött mozgás minták pontosabb szenzomotoros szinkronizációt és nagyobb fejlődést eredményeztek a fonológiai feldolgozás gyorsaságában a szabad mozgásos módszerhez képest. A kötött mozgás minták a szabad mozgással ellentétben kiszámíthatóbbá teszik a testi szinkronizációt, ezért a hallási-motoros integráció gyorsabban feldolgozható. Ez az előny mutatkozhatott meg a szenzomotoros szinkronizációban és a fonológiai feldolgozás gyorsaságában.

Végül kimutattuk, hogy a hallási entrainment hatással van a vizuális feldolgozásra is. A vizuális információt a szemmozgás által nyerjük, mely képes a hallási ingerhez hangolódni. Ez a folyamat a fixációk és a mintavételezési frekvencia tempófüggő meghosszabbodását eredményezte. Ebből következőleg, ha a hallási ingerek vizuális ingerekkel párosulnak, ez megváltoztathatja azt, ahogyan vizuálisan érzékeljük a körülöttünk lévő világot. Ezt támasztja alá a *Dynamic Attending* elmélet, mely szerint az információ feldolgozás akkor a leghatékonyabb, amikor a figyelmünk fokozott azokban az időpontokban, amikor a fontos információ várható (Jones & Boltz, 1989).

## A tézispontokhoz csatolt publikációk:

1. Maróti, E., Honbolygó, F., & Weiss, B. (2019). Neural entrainment to the beat in multiple frequency bands in 6–7-year-old children. *International Journal of Psychophysiology*, *141*, 45-55.
2. Maróti, E., Weiss, B., Asztalos, K., & Honbolygó, F. (2019). Age-related changes of frequency-specific brain responses underlying tapping to the beat. *Proceedings of the 18<sup>th</sup> PEME PhD Conference*, 193-204.
3. Maróti, E., Barabás, E., Deszpot, G., Farnadi, T., Norbert Nemes, L., Szirányi, B., & Honbolygó, F. (2019). Does moving to the music make you smarter? The relation of sensorimotor entrainment to cognitive, linguistic, musical, and social skills. *Psychology of Music*, *47*(5), 663-679.
4. Maróti, E., Knakker, B., Vidnyánszky, Z., & Weiss, B. (2017). The effect of beat frequency on eye movements during free viewing. *Vision research*, *131*, 57-66.

## Hivatkozások

Bolger, D., Trost, W., & Schön, D. (2013). Rhythm implicitly affects temporal orienting of attention across modalities. *Acta Psychologica*, *142*(2), 238–244.

Fujioka, T., Trainor, L. J., Large, E. W., & Ross, B. (2009). Beta and gamma rhythms in human auditory cortex during musical beat processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*(1), 89–92.

Gruber, O., & Goschke, T. (2004). Executive control emerging from dynamic interactions between brain systems mediating language, working memory and attentional processes. *Acta Psychologica*, *115*(2), 105–121.

Háden, G. P., Honing, H., Török, M., & Winkler, I. (2015). Detecting the temporal structure of sound sequences in newborn infants. *International Journal of Psychophysiology*, *96*(1), 23–28.



Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, 96(3), 459–491.

Miendlarzewska, E. A., & Trost, W. J. (2014). How musical training affects cognitive development: rhythm, reward and other modulating variables. *Frontiers in Neuroscience*, 7.

Nozaradan, S., Zerouali, Y., Peretz, I., & Mouraux, A. (2015). Capturing with EEG the Neural Entrainment and Coupling Underlying Sensorimotor Synchronization to the Beat. *Cerebral Cortex*, 25(3), 736–747.

Snyder, J. S., & Large, E. W. (2005). Gamma-band activity reflects the metric structure of rhythmic tone sequences. *Cognitive Brain Research*, 24(1), 117–126.

Stefanics, G., Háden, G., Huotilainen, M., Balázs, L., Sziller, I., Beke, A., Fellman, V., & Winkler, I. (2007). Auditory temporal grouping in newborn infants. *Psychophysiology*, 44(5), 697–702.

van Noorden, L., & Moelants, D. (1999). Resonance in the perception of musical pulse. *Journal of New Music Research*, 28(1), 43–66.

Winkler, I., Háden, G. P., Ladinig, O., Sziller, I., & Honing, H. (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(7), 2468–2471.