

„A zene az kell, mert körülölel...” - de vajon milyen hatással van kognitív képességeinkre?

Török Georgina, Volosin Márta, Sándor Zita, Németh Dezső

Szegedi Tudományegyetem, Pszichológiai Intézet

E-mail: torokgeorgina@yahoo.co.uk, volosinmarta@gmail.com,
sandezita89@gmail.com

Absztrakt

Kutatásunk célja a zenetanulás kognitív képességekre gyakorolt hatásának feltérképezése volt a munkamemória, a végrehajtó funkciók illetve az implicit szekvenciatanulás terén. A munkamemóriát Számterjedelem illetve Corsi kocka tesztel, a végrehajtó funkciókat Stroop-tesztel, az implicit szekvenciatanulást SRT paradigmával vizsgáltuk zenekonzervatóriumban illetve egyéb karokon tanuló fiatal felnőttek csoportján. A zenészeket a képzés időtartama alapján tovább differenciáltuk két csoportba. Az SRT feladatban az idői bejósolhatóságot is manipuláltuk kétféle ingerbemutató időintervallum használatával. Eredményeink nagy része összhangban áll azokkal a korábbi kutatási eredményekkel, melyek a zenei képzés pozitív hatásaira mutattak rá: a zenészek nagyobb munkamemória-kapacitással rendelkeznek, mint a laikusok, valamint a gátlófunkciókra és az implicit motoros szekvenciatanulásra is jótékony hatással van a zenei képzés. A zenetanulás terápiás értékű lehet, például sérült kontrollfunkciókkal rendelkező betegek esetében.

Kulcsszavak: zene, funkcionális plaszticitás, munkamemória, végrehajtó funkciók, implicit szekvenciatanulás, idői bejósolhatóság

Egy zenemű megszólaltatásához több mentális és fizikai művelet hatékony elvégzésére van szükség, például a zenei szimbólumok átfordítására, a hosszú zenei szakaszok memorizálására és a szekvenciális ujjmozdulatok kivitelezésére (GASER & SCHLAUG, 2003). A zenészek az éveken át tartó gyakorlás hatására megerősödő idegi kapcsolataikkal olyan agyi strukturális előnyökre tesznek szert, melyek a hétköznapi élethez szükséges kognitív funkciókban is megmutatkoznak.

Ehhez azonban célszerű minél hamarabb elkezdni a zenetanulást, hiszen az ún. szenzitív periódus alatt (kb. 7 éves kor) az idegrendszer különösen fogékony a releváns ingerlésre, így a zenélés pozitív hatásai még erőteljesebben mutatkoznak meg (GASER & SCHLAUG, 2003; HANNON & TRAINOR, 2007; SCHLAUG, JÄNCKE, HUANG, STAIGER, & STEINMETZ, 1995; WATANABE, SAVION-LEMIEUX, & PENHUNE, 2007).

Agyi képpalkotó eljárásokkal végzett tanulmányok mutatnak rá arra, hogy a zenészek esetében számos agyterület szürkeállománya nagyobb térfogatú, mint a laikusok esetében – a gyakorlás hatására szignifikánsan megnagyobbodik például a bal inferior frontális gyrus, az insula (SLUMING et al., 2002), a kétoldali szenzomotoros területek, a bal intraparietális és a bazális ganglion területek és a jobb posterior perisylvianus régió (BROWN, SCHNEIDER, & LIDSKY, 1997). SCHLAUG és munkatársai (1995) a féltekék közti integrációért és kommunikációért felelős corpus callosum anterior felében figyeltek meg növekedést a zenészek esetében, leginkább azoknál, akik 7 éves koruk előtt kezdtek el zenélni. A féltekéket összekötő fehérállományi kapcsolatok nagyobb száma a zenészeknél hatékonyabb információáramlást eredményez a laikusokhoz képest (PATSTON et al., 2007).

Az agyfejlődés során létezik egy szenzitív periódus, mely folyamán az idegrendszer, változékonysága révén, különösen fogékony a releváns ingerlésre. Emiatt többen a korai zenei gyakorlás fontossága mellett érvelnek – ez a folyamat olyan területspecifikus mechanizmusokat használ fel, melyek érintik a zenei bemenet minőségét és az agyi szövetek működését is, éppúgy, mint a figyelem és a végrehajtó funkciók területáltalános folyamatait is (HANNON & TRAINOR, 2007, WATANABE, SAVION-LEMIEUX, & PENHUNE 2007). WATANABE és munkatársai (2007) a korai és a késői gyakorlás hatását hasonlította össze vizsgálatában: azok, akik korábban kezdtek el a zenélést, sokkal jobban teljesítettek az újszerű ritmusos feladatban, mint a későn kezdők és a laikusok. Ez összhangban van más szerzők (GASER & SCHLAUG, 2003; SCHLAUG et al., 1995; SLUMING et al., 2002) munkáival, melyek bizonyítják, hogy gyermekkorban különösen magas az agyi struktúrák funkcionális plaszticitása. A zenészekkel kapcsolatos kutatások azonban nem csak az agyi strukturális különbségekre korlátozódnak. Számos kutatás foglalkozik azzal a témakörrel, hogy a zenei gyakorlás hatással van-e az emlékezetre, azon belül is a munkamemóriára, valamint a végrehajtó funkciókra és az implicit szekvenciatanulásra.

A munkamemória-modell BADDELEY és HITCH nevéhez fűződik (BADDELEY & HITCH, 1974). Elméletük szerint a rövidtávú emlékezetet munkamemóriaként kell felfogni, mely fenntartja és manipulálja az információt, mialatt megértést, következtetést és tanulást igénylő feladatokat végzünk. A munkamemória e modell szerint három, eltérő idegrendszeri struktúrákhoz kapcsolható, komponensből áll: a központi végrehajtóból, a fonológiai hurokból és a téri-vizuális vázlattömbből. A központi végrehajtó a korlátozott kapacitás elosztásáért felelős, emellett összehangolja a másik két alrendszer működését (BADDELEY & HITCH, 1974). A fonológiai huroknak fontos szerepe van a beszéd és az olvasás elsajátításában és a nyelvi megértésben, a téri-vizuális vázlattömb (TVV) pedig a téri-vizuális képzeleti képek létrehozásáért és manipulációjáért felelős (BADDELEY, 2003).

Az elmúlt években születtek olyan kutatások, melyek azt vizsgálták, hogy van-e különbség a zenészek és a nem-zenészek **munkamemória-kapacitása** között. A zenei képzés elősegíti az auditoros kéreg és a kapcsolódó területek fejlődését, és ennek a fejlődésnek a hatására javulnak a verbális képességek (FRANKLIN et al., 2008). Hosszútávú verbális emlékezeti feladatokban jobban teljesítenek a zenészek (mely előny az artikulációs elnyomás hatására eltűnik), valamint a verbális munkamemóriát igénylő feladatokban is jobbak. A szerzők szerint ezeket a fejlett képességeket a zenészek azoknak a fokozott ismétlő mechanizmusoknak köszönhetik, melyeket a zenei képzés során alkalmaznak (FRANKLIN et al., 2008). RAUSCHER és ZUPAN (2000) vizsgálatában a kísérleti személyek négy hónapig vettek részt zenei képzésben, melynek köszönhetően szignifikánsan jobban teljesítettek a téri feladatokban. A vizsgálat utánkövetéses szakaszából kiderült, hogy a téri munkamemória fejlődése a képzés után nyolc hónappal később is kimutatható volt (Rauscher & Zupan, 2000).

Kutatásunkban vizsgáltuk a zenei képzésben résztvevő fiatalok **végrehajtó funkcióit** is. Baddeley és Hitch (1974) munkamemória-modelljének második nagy területét alkotják a végrehajtó funkciók, melyek lokalizációja a frontális területekre, ezen belül is főleg a frontális és prefrontális kéregre (TÁRNOK, BARSÍ, GÁDOROS, & HALÁSZ, 2006) és a bazális ganglionokra (BROWN et al., 2007) tehető. Ezek közé a folyamatok közé tartozik a viselkedési gátlás, mozgásszervezés, a top-down folyamatok és a cselekvések illetve a figyelem váltása (TÁRNOK et al., 2006). Több kutatás középpontjában is az áll, hogy van-e különbség a zenészek és a nem-zenészek végrehajtó funkciói között, például BIALYSTOK és

DEPAPE (2009) szerint a zenészek (valamint az énekesek) jobb teljesítményt nyújtanak mind a Stroop-teszt vizuális-auditoros, mind a Simon feladat téri változatában, mely a végrehajtó kontroll fejlettségét jelzi (BIALYSTOK & DEPAPE, 2009).

A munkamemória és a végrehajtó funkciók mellett a **motoros szekvenciák implicit tanulását** is megvizsgáltuk. A készségtanulás a nondeklaratív emlékezeti rendszer része, idegi hátterét tekintve a striatum (SQUIRE & ZOLA, 1996), valamint kérgi motoros területek – primer motoros és szupplementer motoros kéreg –, a putamen (GRAFTON, HAZELTINE, & IVRY, 1995) és a kisagy (GASER & SCHLAUG, 2003) működésével hozható kapcsolatba. Az idegi aktivációk eltérően alakulhatnak a feladat jellege és a vizsgálati személy korábbi motoros tapasztalatai függvényében (HUND-GEORGIADIS & VON CRAMON, 1999; LANDAU & D'ESPOSITO, 2006). A korábbi motoros tapasztalatok alapján külön populációt alkotnak a zenészek.

Agyi aktivációs mintázatbeli különbségek mellett motoros készségtanulási feladatokban rendre a zenészek produkálnak jobb reakcióidőket bármilyen kísérleti (szekvencia vagy random) feltételben (LANDAU & D'ESPOSITO, 2006; HUND-GEORGIADIS & VON CRAMON, 1999). Emellett LANDAU és D'ESPOSITO (2006) kutatásában a zongoristák az első próbánál szignifikánsan nagyobb tanulási előnnyel (szekvencia-reakcióidő és random-reakcióidő különbsége) rendelkeztek, mint a kontrollcsoport, a hibázási arány és a reakcióidő százalékos csökkenése azonban nem mutatott csoport főhatást. Mind a két csoport szignifikánsan jobban teljesített a szekvencia, mint a random feltételben, ami a tanulás mutatója.

Azonban nemcsak a szekvencia megléte vagy hiánya, hanem az időbeli tulajdonságai is megtanulandó információk egy készségtanulási helyzetben, és ezek a téri információktól függetlenül kerülnek kódolásra (LEE, 2000). Szekvenciákat kellett tanulni LEE (2000) SRT-vizsgálatában, ritmikus és aritmikus bemutatással. Mikor az idői mintázat aritmikus volt, a szekvenciákra adott reakcióidő nagymértékben romlott, mely azt jelzi, hogy a szekvenciális mozgás hatékony megtervezéshez és kivitelezéséhez a téri információkon kívül elengedhetetlen, hogy idői információkkal is rendelkezünk (LEE, 2000).

Hipotézisek

Munkamemóriára vonatkozó hipotéziseink értelmében a zenei képzettséggel magasabb téri és verbális képességek járnak, így a zenetanulás idejével nő a számterjedelem és a Corsi kocka-teszten elért pontszám is. Feltételeztük, hogy azoknak, akik régebb óta megszokták nélkül tanulnak valamilyen hangszerezen, fejlettebbek a végrehajtó funkcióik. Hipotéziseink szerint a zenészeknél a fejlett végrehajtó funkciók következtében kevésbé érvényesül az interferenciahatás (tehát nem romlik le annyira a teljesítményük, mint a kontrollszemélyeknek), emellett gyorsabb reakcióidőt és nagyobb pontosságot produkálnak a Stroop-teszt során, mint a zeneileg laikusnak tekinthető kontrollok. Kutatásunk célja továbbá annak a kérdésnek a vizsgálata, hogy miként befolyásolja a gyermekkor óta tartó folyamatos motoros képzés az idői szempontból bizonytalan (tehát nem bejósolható) szekvenciák megtanulását. Erre vonatkozó hipotéziseink az alábbiak: (1) A zenészek jobb teljesítményt nyújtanak fix ISI – ingerek közti időintervallum – esetén, mint a kontrollszemélyek (tehát szignifikánsan gyorsabbak és pontosabbak lesznek). (2) Random ISI esetén nem vártunk a csoportok között különbséget: az ISI feltételhez képest mind a két csoport lelassul és pontatlanabb lesz.

Módszerek

Résztevők

Kutatásunkban összesen 55 fő vett részt: 24 zenész (13 fő több, 11 pedig kevesebb, mint 5 éve zenél) és 31 egyetemista kontrollszemély. A kísérleti csoport átlagéletkora 21,29 év (SD=2,02), a kontrollcsoporté pedig 21,55 év (SD=3,14 év) volt; a zenészeken belül a hosszabb ideje zenélők átlagosan 20,92 (SD=2,36), a kevesebb ideje zenélők pedig 20,91 (SD=1,64) évesek voltak. A kevesebb ideje zenélők átlagban 11,73 éve (SD=2,83), a hosszabb ideje zenélők 19,77 éve (SD=3,09), a kontrollok 1,11 éve (SD=1,94) zenéltek ($p < 0,001$).

Eszközök és vizsgálati eljárás

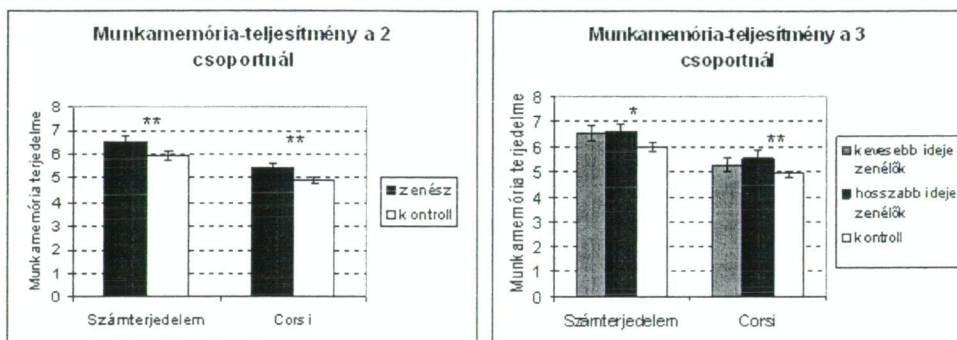
A munkamemória verbális részét Számterjedelem tesztel, téri részét pedig Corsi kocka tesztel vizsgáltuk. Előbbi során számjegyeket kell a megfelelő sorrendben visszamondani, utóbbinál pedig egy meghatározott téri elrendezést kell megfelelő sorrendben visszamutatni. A végrehajtó funkciók mérésére számítógépes, E-

Prime segítségével készült Stroop-tesztet (Stroop, 1935) használtunk, mely három feltételből áll: két kongruens (színmegnevezés és olvasás) és egy inkongruens színmegnevezéses feltételből áll; az inkongruencia abból fakad, hogy színek eltérő színnel vannak írva, s az olvasott szöveget ignorálni kell és a helyes válasz az, hogy milyen színnel van írva a szó. Az implicit szekvenciatanulást szintén E-Prime programban írt SRT (Serial Reaction Time, Howard és HOWARD, 1997) feladat segítségével mértük, amelyben a vizsgálati személynek egy, a képernyőn megjelenő dalmata fejére kell gombnyomással reagálnia. A célinger 4 helyen villanhat fel szekvenciálisan vagy random sorrendben. A ritmus hatását az ingerek közti időintervallum kötött vagy random voltával, tehát két feltételben vizsgáltuk (fix ISI feltétel: a célinger 800 ms-ig jelenik meg egy helyen, az ingerek közti idő 700 ms; random ISI feltétel: ugyanúgy 800 ms a bemutatás ideje, azonban az ingerek közt eltelt idő 200 és 1200 ms között váltakozik). Az általunk használt scriptben a szekvencia és a random sorozat egyaránt 12 elemű, a szekvencia a következő: 231432413421, ahol a számok balról jobbra számozva a négy lehetséges helyet jelölik.

Eredmények

Munkamemória

A munkamemóriát két, illetve három csoportra bontva is vizsgáltuk. Már két csoport esetén is találtunk szignifikáns különbségeket a zenészek javára mind a számterjedelem ($t(53)=2,048$, $p=0,046$), mind a Corsi kocka teszten ($t(53)=0,095$, $p=0,035$) (ld. 1. ábra). Három csoportra bontáskor, míg az ANOVA nem jelzett szignifikáns különbséget a számterjedelem esetén ($F(2, 54)=2,069$, $p=0,137$), addig a Corsi kockákon tendenciaszinten tért el egymástól a három csoport ($F(2,52)=2,584$, $p=0,085$). Ez az LSD post-hoc teszten is megmutatkozik: a hosszabb ideje zenélők tendenciaszerűen magasabb számterjedelmi ($p=0,085$) és szignifikánsan magasabb Corsi kocka-teljesítményt ($p=0,033$) produkáltak, mint a kontrollszemélyek (ld. 1. ábra).



1. ábra: Munkamemória-teljesítmény két illetve három csoportra bontás esetén. A zenészek verbális ($p=0,046$) és téri ($p=0,035$) munkamemória-terjedelme is magasabb a kontrollszemélyekéhez képest, emellett a hosszabb ideje zenélők tendenciaszerűen magasabb pontszámot értek el a számterjedelem ($p=0,085$) és szignifikánsan jobban teljesítettek a Corsi kocka teszten ($p=0,033$) is. A * a $p<0,1$, a ** pedig a $p<0,05$ értékeket jelöli, a hibásávok pedig a standard hibát jelzik.

Végrehajtó funkciók

A Stroop-teszt elemzésének első lépéseként kiszámoltuk a Stroop-alapmutatókat, melyek az egyes feltételekben elért reakcióidőt illetve pontosságot jelzik. A zenei képzettség főhatását összetartozó mintás ANOVA segítségével vizsgáltuk, ahol a független változó a CSOPORT (zenész vagy nem zenész), a függő változó pedig a FELTÉTEL (első kongruens, második kongruens, inkongruens) volt. A különbség nem volt szignifikáns ($F(1, 53)=1,261$, $MSE=26026,918$, $p=0,266$), tehát pusztán a csoporttagság nem volt hatással a reakcióidő-eredményekre. A gyakorlás mennyiségét szem előtt tartva a három részre bontott mintát is megvizsgáltuk: a ZENESZINT (kevesebb, hosszabb ideje zenélők, valamint nem zenélők) főhatása ebben az esetben sem volt szignifikáns ($F(2, 52)=0,962$, $MSE=19976,48$, $p=0,389$), tehát a három csoport nem tért el egymástól az általános gyorsaság szempontjából. A FELTÉTEL szignifikáns főhatást mutatott ($F(2, 52)=89,833$, $MSE=722043,857$, $p<0,001$), tehát a három feltételben eltérően teljesítettek a résztvevők. A várt ZENESZINT X FELTÉTEL interakciós hatás nem jelentkezett ($F(4, 52)=0,745$, $MSE=5991,106$, $p=0,527$): minden csoport teljesítménye lecsökkent a második kongruens ($p=0,026$) illetve az inkongruens feltételre is ($p<0,001$).

A pontosság tekintetében szintén nem találtunk szignifikáns CSOPORT főhatást a 2 csoportos bontásban ($F(1, 53)=1,059$, $MSE=0,003$, $p=0,308$), sem pedig CSOPORT x FELTÉTEL interakciós hatást ($F(2, 53)=1,444$, $MSE=0,016$, $p=0,237$). A ZENESZINT már tendenciaszerű főhatást mutatott, tehát volt különbség a három csoport teljesítményében ($F(2, 52)=2,516$, $MSE=0,006$, $p=0,091$). A post-hoc tesztek eredményei szerint a keveset zenélők (átlag: 98,3%) és a többet zenélők (átlag: 94,3%) különbsége tendenciaszerű ($p=0,053$), míg a keveset zenélők és a kontrollcsoport (átlag: 94,7%) közti eltérés szignifikáns volt ($p=0,043$). Szignifikáns volt továbbá a FELTÉTEL főhatása ($F(2, 51)=3,249$, $MSE=0,064$, $p=0,047$), mégsem jelent meg ZENESZINT X FELTÉTEL interakciós hatás ($F(4, 104)=0,897$, $MSE=0,01$, $p=0,422$), tehát mindhárom csoportban az egyes feltételekben eltérően teljesítettek a vizsgálati személyek (az első kongruens és az inkongruens feltétel közti különbség $p=0,025$, a második kongruens és az inkongruens feltétel különbsége $p=0,015$).

Ezután létrehoztunk egy mutatót a két kontrollhelyzet és a kísérleti helyzet különbségéből; ez azt jelzi, hogy mekkora változás történt a teljesítményben a kongruens feltételekről az inkongruensre való váltáskor. Reakcióidő esetében a zenész és a kontrollcsoportot összehasonlítva nem találtunk váltásbeli különbséget ($t(53)=-1,165$, $p=0,249$), sem pedig három csoportra bontás esetében ($F(2, 52)=0,799$, $MSE=11306,425$, $p=0,455$). Hasonló eredményeket kaptunk a pontosság esetében is: sem két ($t(47,403)=-1,329$, $p=0,19$), sem pedig három csoportos bontásban ($F(2, 52)=0,913$, $MSE=0,016$, $p=0,408$) nem volt különbség a kongruens feltételekről inkongruensre való váltás esetén.

Implicit szekvenciatanulás

A szekvenciatanulás mintázatát szintén reakcióidő- (ms) és pontosságmutatók (%) összetartozó mintás varianciaanalízisével vizsgáltuk. Ezenkívül tanulási mutatókat számoltunk ki a szekvencia és a random bemutatású sorozatok különbségeinek átlagolásával: a feladat utolsó két blokkpárjának különbségeit (13. szekvencia-14. random; 15. szekvencia-16. random) átlagoltuk feltételenként.

Két csoportot vizsgálva a FELTÉTEL (fix vagy random ISI) X BLOKK (1-16.) X INGERTÍPUS (szekvencia vagy random sorozat) X CSOPORT (zenész vagy kontroll) varianciaanalízis CSOPORT főhatás eredményei arra utalnak, hogy a zenészek feltételtől függetlenül szignifikánsan gyorsabbak ($F(1, 53)=8,757$, $MSE=12600,075$, $p=0,005$) és tendenciaszerűen pontosabbak voltak ($F(1,$

hasonlóan lelassultak az inkongruens feltételre (ez ellentmond BIALYSTOK és DEPAPE, 2009 eredményének), a pontosság terén meglepő módon a rövidebb ideig zenélők nyújtották tendenciaszerűen a legjobb eredményt, mely a gátlás fejlettségére utal. Váltás esetében semmilyen szempontból nem találtunk különbséget a csoportok között.

Az implicit szekvenciatanulás során a zenészek feltételtől függetlenül gyorsabbak voltak, mely összhangban áll LANDAU ÉS D’ESPOSITO (2006) illetve HUND-GEORGIADIS ÉS VON CRAMON (1999) eredményével is, emellett tendenciaszerűen pontosabbak is voltak a kontrollszemélyekhez képest. A zenészek differenciálását követően a leggyorsabbnak a hosszabb ideje zenélők bizonyultak, pontosság esetén azonban a rövidebb ideje zenélők nyújtották a legjobb teljesítményt, hasonlóan a Stroop-feladathoz. Mind két, mind pedig három csoportot vizsgálva megjelent a szekvenciaspecifikus tanulás, tehát a szekvenciaszerűen bemutatott sorozatokat gyorsabban és pontosabban teljesítették a résztvevők. A csoportok közt a tanulási hatás tekintetében is jelentkeztek különbségek: fix ritmus esetén a zenészek nagyobb mértékben tanultak a pontosság szempontjából, három csoport esetén pedig fix és random ritmus esetén is megjelent a hosszabb ideje zenélők előnye.

Kutatásunk a zenei képzés jótékony hatásai mellett rávilágít arra is, hogy fontos a zenészeket differenciálni a gyakorlás mennyiségének szempontjából, hisz legtöbb esetben a hosszabb zenei képzés jobb teljesítménnyel járt együtt munkamemória és implicit szekvenciatanulás esetében is. Eredményeink alkalmazhatósága is jelentős, hiszen károsodott kontrollfunkciókkal (pl. Tourette-szindróma, figyelemzavar) vagy egyéb rendellenességekkel (pl. autizmus, demencia) élő betegek fejlesztésében is hasznos lehet a zeneterápia.

Hivatkozások

- BADDELEY, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Neuroscience*, 4, 829–839.
- BADDELEY, A.D., & HITCH, G. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 8). New York: Academic Press; 47–89.
- BIALYSTOK, E., & DEPAPE, A. (2009). Musical expertise, Bilingualism, and Executive functioning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(2), 565–574.

- BROWN L. L., SCHNEIDER J. S., & LIDSKY, T. I. (1997). Sensory and cognitive functions of the basal ganglia. *Current Opinion in Neurobiology*, 7, 157–163.
- FRANKLIN, M. S., MOORE, S., YIP, C., & JONIDES, J. (2008). The effects of musical training on verbal memory. *Psychology of Music*, 36, 353–365.
- GASER, C., & SCHLAUG, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *The Journal of Neuroscience*, 23(27), 9240–9245.
- GRAFTON, S. T., HAZELTINE, E., & IVRY, R. (1995). Functional Mapping of Sequence Learning in Normal Humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7(4), 497–510.
- HANNON, E. E., & TRAINOR, L. J. (2007). Music acquisition: effects of enculturation and formal training on development. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 11(11), 466–472.
- HOWARD, J. H., & JR., HOWARD, D. V. (1997). Age differences in implicit learning of higher-order dependencies in serial patterns. *Psychology and Aging*, 12(4), 634–656.
- HUND-GEORGIADIS, M., & VON CRAMON, D. Y. (1999). Motor-learning-related changes in piano players and non-musicians revealed by functional magnetic-resonance signals. *Experimental Brain Research*, 125, 417–425.
- LANDAU, S. M., & D'ESPOSITO, M. (2006). Sequence learning in pianists and nonpianists: An fMRI study of motor expertise. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 6(3), 246–259.
- LEE, D. (2000). Learning of spatial and temporal patterns in sequential hand movements. *Cognitive Brain Research*, 9, 35–39.
- PATSTON, L., KIRK, I. J., ROLFE, M. H. S., CORBALLIS, M. C., & TIPPETT, L. J. (2007). The unusual symmetry of musicians: Musicians have equilateral interhemispheric transfer for visual information. *Neuropsychologia*, 45, 2059–2065.
- RACSMÁNY, M., ALBU, M., LUKÁCS, Á., & PLÉH, Cs. (2007). A téri emlékezet vizsgálati módszerei: fejlődési és neuropszichológiai adatok. In M. RACSMÁNY *A fejlődés zavarai és vizsgálómódszerei*. Budapest: Akadémiai Kiadó; 11–44.
- RAUSCHER, F. H., & ZUPAN, M. A. (2000). Classroom keyboard instruction improves kindergarten children's spatial-temporal performance: A field experiment. *Early Childhood Research Quarterly*, 15(2), 215–228.
- SCHLAUG, G., JÄNCKE, L., HUANG, Y., STAIGER, J. F., & STEINMETZ, H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 33(8), 1047–1055.
- SLUMING, V., BARRICK, T., HOWARD, M., CEZAYIRLI, E., MAYES, A., & ROBERTS, N. (2002). Voxel-based morphometry reveals increased gray matter density in Broca's area in male symphony orchestra musicians. *NeuroImage*, 17(3), 1613–1622.
- SQUIRE, L. R., & ZOLA, S. M. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(24), 13515–13522.
- STROOP, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643–662.
- TÁRNOK Zs., BARSÍ P., GÁDOROS J., & HALÁSZ P. (2006). Végrehajtó funkciók zavara frontális károsodásokban és epilepsziában. *Ideggyógyászati Szemle*, 59(7-8), 269–280.
- WATANABE, D., SAVION-LEMIEUX, T., & PENHUNE, V. B. (2007). The effect of early music training on adult motor performance: evidence for a sensitive period in motor learning. *Experimental Brain Research*, 176, 332–340.