

MÚSICA: UMA ATIVIDADE PROMISSORA PARA A ESTIMULAÇÃO COGNITIVA

Emmanuel Bigand

Universidade de Bourgogne (França)

emmanuel.bigand@u-bourgogne.fr

Tradução: Lina Maria Ribeiro Noronha

Resumo: O poder da música foi redescoberto pelas neurociências cognitivas, que atualmente explicam seus fundamentos biológicos graças aos métodos de imagem cerebral. Esse texto aborda como a música, graças a seu potencial, pode contribuir no campo da estimulação cognitiva. Após uma revisão sobre o valor social da estimulação cognitiva para a educação e para a saúde, e em seguida um breve resumo dos diferentes programas atuais de estimulação cognitiva, o texto apresenta os argumentos que levam a entender a música como uma atividade promissora no sentido de responder a alguns grandes desafios, sobretudo no campo do envelhecimento cognitivo e da patologia cerebral. A música teria agido durante a filogênese como uma “tecnologia transformadora da mente” (Patel 2008). Atualmente ela pode ajudar a retomar tais desafios que se apresentam às sociedades modernas.

Palavras-chave: estimulação cognitiva, estado da arte sobre estimulação cognitiva, fundamentos neurocognitivos da música.

Abstract: The power of music has been rediscovered by the cognitive neurosciences, which currently explain their biological fundaments through brain imaging methods. This paper discusses how music has the potential to contribute to the field of cognitive stimulation. After a review of the social value of cognitive stimulation for health and

education, followed by a brief summary of the many cognitive stimulation programs available today, the paper presents the arguments that support the understanding of music as a promising activity in terms of addressing a number of important challenges, especially in the field of cognitive aging and cerebral pathology. During phylogenesis, music seems to have acted as a “transformative technology of the mind” (Patel, 2008). Today, music may help bring back such challenges as they present themselves to modern societies. er à relever ces défis qui se posent aux sociétés modernes.

Keywords: cognitive stimulation, survey on cognitive stimulation, the neurocognitive foundations of music.

Implicações sociais da estimulação cognitiva na saúde e na educação

Estimulação cognitiva é como se denomina toda intervenção não farmacológica que tenha por objetivo melhorar o funcionamento cognitivo e motor. Delimita um campo promissor de pesquisa que tem valores consideráveis para a sociedade. O conceito emana de um importante *corpus* de trabalhos que demonstram que o cérebro e a mente humana possuem uma grande plasticidade ao longo de toda a vida (Cabeza 2002; Galvan 2010; Neves, Cooke e Bliss 2008; Stiles 2000). Essa plasticidade é observada também em indivíduos que sofrem de problemas cognitivos leves (Belleville et al. 2011; Li et al. 2011), assim como entre pacientes de Alzheimer (Kim e Park 2011; Sitzter, Twamley e Jeste 2006) ou pacientes com lesões cerebrais causadas por acidente vascular cerebral (Särkämö et al. 2009). Tais descobertas levaram ao desenvolvimento de novas tecnologias, que permitem manter ou melhorar a função cognitiva e motora, baseando-se no princípio de “usar para não perder” (Swaab 1991). A estimulação cognitiva é um campo científico fascinante que diz respeito a uma característica essencial do cérebro: sua plasticidade.

dade funcional e anatômica. Compreender os mecanismos neuronais que sustentam essa plasticidade é uma questão crucial para as ciências básicas com consequentes implicações para a sociedade, nos campos da educação, da saúde e das novas tecnologias. Em indivíduos saudáveis, a estimulação cognitiva pode melhorar as funções cognitivas e motoras como resposta a necessidades específicas de operários, de motoristas novatos ou ainda de idosos, por exemplo. A estimulação cognitiva pode igualmente contribuir para a diminuição dos efeitos do envelhecimento em indivíduos de meia-idade (Meade e Peark 2009). Entre pacientes, a estimulação cognitiva constitui um meio não farmacológico de recuperar as funções cognitivas e motoras alteradas por lesões cerebrais ou por um atraso de desenvolvimento. Ela pertence aos métodos não invasivos de assistência médica que são, atualmente, bastante incentivados e indicados. Por todas essas razões, a estimulação cognitiva terá certamente um impacto significativo para a sociedade. Ela pode otimizar as performances de indivíduos saudáveis em inúmeras situações da vida cotidiana (incluindo os aspectos profissionais e pedagógicos) e possivelmente reduzir os efeitos da idade. Assim, a estimulação cognitiva pode contribuir para a diminuição do custo da assistência médica para pessoas idosas e pacientes portadores de patologias cerebrais, aumentando sua autonomia e seu bem-estar. A estimulação cognitiva pode também diminuir o custo do mal desempenho escolar, auxiliando na obtenção de bons resultados em crianças com deficiências sensoriais e cognitivas.

O impacto econômico da estimulação cognitiva já é bem visível na variedade de produtos que propõem treinos cognitivos e que foram comercializados por uma nova indústria da “boa forma cognitiva e cerebral” (“*brain fitness*”). Inúmeras obras apresentam títulos que evocam o sucesso, como “exercite seu cérebro”, e vários sites na internet garantem melhorias nas capacidades cognitivas, afetivas e sociais, graças a programas de “*cognitive e brain fitness*”, que deixam os neurônios “felizes” (os sites “*Happy neurons*”). Todavia, em geral, o fundamento científico desses produtos não é seguro e sua eficácia foi questionada por um amplo estudo publicado na revista *Nature* (ver Owen et al. 2010). Enfim, em sua grande maioria, esses programas não são acessíveis aos pacientes e às

pessoas idosas porque seu funcionamento é de tamanha complexidade que supõe que se possuam recursos cognitivos que essa população fragilizada justamente não tem. Trata-se de um problema central porque um dos grandes desafios das sociedades futuras é exatamente conseguir cuidar da população que envelhece e das pessoas portadoras de transtornos cerebrais. Em suma, a estimulação cognitiva abre perspectivas promissoras em resposta a grandes desafios educacionais e médicos das sociedades modernas, mas progressos consideráveis precisam ser feitos nesse campo para que tal estratégia seja frutífera. Portanto, é indispensável que a pesquisa básica em psicologia e neurociências cognitivas oriente-se na seguinte direção: a plasticidade pode certamente ser estimulada para a melhoria dos desempenhos motores e cognitivos, e para a diminuição dos efeitos do envelhecimento e dos transtornos cerebrais. A questão central é como reconhecer os procedimentos de estimulação mais eficazes para tais objetivos. O presente trabalho está focado nessa problemática.

O estado da arte da pesquisa sobre estimulação cognitiva

A estimulação cognitiva não tem por finalidade treinar os indivíduos em competências específicas. Seu objetivo é promover uma melhora no conjunto das funções cognitivas. Ela visa a produzir transferências de aprendizagem da atividade trabalhada para as atividades cognitivas próximas ou distantes que são essenciais no cotidiano do indivíduo. A possibilidade de criar transferências é uma questão central nas ciências cognitivas, particularmente no campo da estimulação cerebral. Os vários programas de treinamento cognitivo podem ser agrupados em quatro grandes categorias que foram elaboradas para facilitar tais transferências: treinamento cognitivo multifatorial, elaboração de estratégias cognitivas, treinamento de mecanismos no cerne da cognição e programas naturais-recreativos de treinamento.

Os treinamentos cognitivos multifatoriais demandam vários

componentes cognitivos, frequentemente de maneira simultânea. Esses programas requerem a execução de diversas tarefas que exigem componentes cognitivos de diferentes campos (visão, memória, raciocínio). O programa COGITO, utilizado por Schmiedek, Lövdén, e Lindenberger (2010), e os programas de informática para treinamento cognitivo desenvolvidos pela companhia estadunidense *Posit Science Corporation* pertencem a tal categoria. Programas de treinamento multifatorial foram oferecidos para o uso com pessoas idosas por Tranter e Koustaal (2008), Stine-Morrow, Parisi, Morrow e Park (2008), e Carlson et al. (2008). As tarefas implementadas são, com frequência, similares aos exercícios colocados em prática nos testes neuropsíquicos que tratam também das competências sociais. Uma das qualidades desse tipo de programa reside na diversidade de exercícios que aumentam as possibilidades de obtenção de transferências a uma ampla variedade de comportamentos.

O aprendizado de estratégias cognitivas designa técnicas que permitem aos indivíduos realizar tarefas em níveis de atuação superiores ao que seria esperado (Lemaire e Reder 1999). Essas estratégias fornecem meios engenhosos de abordagem dos déficits cognitivos ou das limitações naturais dos mecanismos mentais, tais como os limites de atenção e de memória de curta duração. Os programas de aprendizagem de estratégias foram inicialmente desenvolvidos para melhorar a capacidade de memorização de pessoas idosas (Rebok, Carlson e Langbaum 2007) e prolongar a autonomia desses indivíduos. O método de *loci*, associações “nome-rostos”, estratégias de imagem, organização semântica e classificação são exemplos clássicos de estratégias mnemônicas. O aprendizado de estratégias cognitivas requer no entanto funções íntegras no que diz respeito à capacidade de execução e são difíceis de ser postas em prática na vida cotidiana pelos mais velhos. A transferência dessas estratégias para novas tarefas torna-se problemática nesses indivíduos (Anschultz et al. 1987; Brooks, Friedman e Yesavage 1993; Kliegl, Smith e Baltes 1990).

A estimulação de mecanismos no cerne da cognição (*Core training*) designa toda intervenção que atue sobre mecanismos cognitivos gerais, tais como a velocidade de processamento ou as funções

de controle de execução. Como esses mecanismos estão no cerne de uma grande variedade de atividades cognitivas (senão de todas), sua estimulação deve logicamente produzir grandes efeitos de transferência no todo da cognição. Os programas de treinamento visam aqui normalmente a aumentar a velocidade de processamento, que é um fator determinante para inúmeras atividades mentais. Segundo Salthouse (1996), os efeitos do envelhecimento cognitivo poderiam ser explicados em grande parte pelo alentamento desses processamentos. Pode-se, por estimulação, aumentar a velocidade de processamento (Edwards et al. 2002; Roenker, Cissell, Ball, Wadley e Edwards 2003), mas ainda é preciso demonstrar que esses aumentos produzem uma melhora geral da cognição (Edwards et al. 2005). Da mesma forma, poucos estudos confirmaram a importância da velocidade de processamento sobre o funcionamento cognitivo cotidiano de pessoas idosas (Ball, Edwards e Ross 2007). O “cerne da cognição” pode ser também estimulado por exercícios que atuam sobre o funcionamento da memória de trabalho (Buschkuhl e Jaeggi 2010; Klingberg 2010; Morrisson e Chein 2011). O programa Robomemo, desenvolvido por Klingberg et al. (2002, 2005), é um exemplo desse tipo de programa que compreende sobretudo várias tarefas espaço-visuais e verbais. Efeitos de transferências foram notados por alguns autores entre crianças nas quais se aplicaram esses exercícios (Klingberg et al. 2002, 2005; Holmes et al. 2010), mas não por outros (Holmes et al. 2009; Jaeggi et al. 2011). As pesquisas atuais com jovens também são contraditórias (ver Jaeggi et al. 2008; Moody 2009; Chein e Morrisson 2010) e ainda é preciso demonstrar que esses métodos de treinamento são eficazes com pessoas idosas.

Os programas precedentes apresentam-se todos como exercícios explícitos, os quais os indivíduos devem realizar com atenção. Em comparação, os programas “naturais” de estimulação cognitiva designam atividades “recreativas” que produzem efeitos positivos sobre a cognição mesmo sendo aprazíveis, e sem demandar o empenho de capacidades de atenção e de recursos cognitivos elevados. Os programas mais conhecidos são os de treino “cardiovascular” e os videogames. Os programas de estimulação cardiovascular têm efeitos surpreendentes

sobre a cognição, particularmente nas funções executivas. Dessa forma, Kramer et al. (1999) obtiveram melhoras mais significativas das funções executivas após exercícios aeróbicos, que provocam uma estimulação cardiovascular, do que com atividades físicas que não têm atuação sobre o funcionamento cardiovascular. As pesquisas com animais e a neuroimagem humana sugerem que exercícios aeróbicos estão associados ao aumento da neurogênese e da angiogênese (Swain et al. 2003), assim como à maior conectividade e à maior integração das redes de conexão da matéria branca em direção às zonas do córtex pré-frontal (Marks et al. 2007). Como tais zonas estão envolvidas no controle executivo, a estimulação cardiovascular poderia ter um efeito indireto sobre a cognição por intermédio dessas redes de conexão (West 1996). Os efeitos benéficos dos videogames sobre a cognição ilustram um outro aspecto dos programas de estimulação cognitiva recreativa. Os videogames não são concebidos para uma melhora cognitiva, mas está demonstrado que a sua prática tem efeitos positivos sobre as funções cognitivas que demandam atenção visual (Green e Bavelier 2003, 2006), sobre as funções de rotação mental (Feng, Spence e Pratt 2007), incluindo-se o que se relaciona aos idosos (Basak et al. 2008). Outros programas recreativos foram estudados. A prática teatral, por exemplo, produziria um ganho maior nas funções de memória episódica e de solução de problemas do que a participação em aulas de canto ou de artes visuais. Todas essas atividades apresentam efeitos positivos sobre componentes cognitivos na comparação com um grupo-controle sem nenhuma atividade particular aplicada (Noice e Noice 2004, 2009).

Os programas de estimulação cognitiva atuais levantam inúmeras questões. Na maior parte deles, as atividades cognitivas são divididas em mecanismos elementares nos quais as habilidades motoras e mentais são abordadas separadamente. Certos programas referem-se mesmo às concepções skinnerianas de aprendizado nas quais a repetição das associações “estímulo-resposta” define o mecanismo principal do aprendizado. Como Meade e Park (2009, 40) destacam, “virtually all of the training literature relies on the repetition of effortful top-down cognitive processes (...) and on the assumption that repeated perfor-

mance of the process will make the operation easier or more efficient to perform on a range of tasks.” Essa concepção do aprendizado se presta facilmente à aplicação da informática, o que explica sua predominância nesse campo. Entretanto, diversas outras estratégias de aprendizado mais eficazes foram identificadas pela psicologia e pelas neurociências cognitivas e apresentam vantagens na estimulação cognitiva, particularmente entre os doentes e os idosos. A maior parte dos programas de estimulação cognitiva, por exemplo, apoia-se sobre uma dicotomia artificial corpo-mente, no entanto, um grande número de pesquisas demonstrou o quanto a cognição estava enraizada, incorporada na ação (“embodied cognition”). Diversos estudos demonstraram sobretudo que o sistema de neurônios-espelho está envolvido na percepção e na ação, e que a captação de um gesto ou de um som pode ser o suficiente para provocar uma ativação das áreas motoras (Fadiga, Craighero, Buccino e Rizzolatti 2002), incluindo-se nesse caso a fala e a música (Fadiga, Craighero e D’Ausilio 2009). Esse sistema de neurônios-espelho está igualmente envolvido em atividades mais complexas, como a compreensão da linguagem, as intenções dos outros ou o reconhecimento das emoções (Rizzolatti et al. 2009). Esses resultados são importantes porque se pôde demonstrar que a observação das ações trazia um impacto positivo sobre a recuperação da linguagem entre os afásicos após um acidente vascular cerebral. Em suma, todos esses estudos sugerem que os recursos cerebrais e cognitivos podem ser estimulados por métodos inovadores que a psicologia e as neurociências estão descobrindo, cujos efeitos apenas se começou a testar. O presente trabalho se insere nessa perspectiva, promovendo programas de estimulação cognitiva inovadores que integrem as descobertas recentes das neurociências cognitivas da música.

Os fundamentos neurocognitivos da música

A música é uma atividade complexa que exige inúmeras habilidades nos diferentes níveis da arquitetura cognitiva (Bigand 1993, 1994). Os processos sensoriais contribuem para a extração da altura fundamental do som, para a fusão dos componentes espectrais, para a discriminação de mudanças sutis de frequência, de intensidade ou de duração. Assim, a organização perceptiva consiste em separar os fluxos sonoros e obter organizações localizadas considerando as qualidades formais proeminentes (*Gestalt*) no aspecto da altura, como o “contorno melódico”, ou no aspecto temporal, como a métrica. Uma fase de integração, similar à integração linguística das palavras em frases, ocorre. Toda linguagem musical cria regularidades estatísticas entre os sons musicais que são implicitamente interiorizados pelos ouvintes (Tillmann, Bharucha e Bigand 2000). A audição de sons musicais vai, automaticamente, ativar nos ouvintes reconhecimentos implícitos das regularidades dessa linguagem musical, o que irá contribuir, no caso da música ocidental, para que se integrem os sons musicais em uma rede complexa de relações hierárquicas (Bigand e Poulin-Charronnat 2006). Como considerado por Lerdahl e Jackendoff (1983), tal fase de integração supõe o tratamento simultâneo, na memória de trabalho, de um grande número de informações sensoriais ligadas aos sons e de um grande número de atributos mais abstratos ligados tanto ao contexto musical – no qual os sons intervêm – quanto às regularidades estatísticas próprias da linguagem musical. A memória de trabalho desempenha assim um papel crucial para a compreensão do desenrolar de um processo musical em pequena e em larga escala temporal (Bigand 1993; Lalitte e Bigand 2006; Lalitte, Bigand et al. 2009). Uma peça musical está organizada em nível retórico tal qual um discurso (Francès 1958). Ela compreende unidades temáticas que se repetem em diferentes momentos da obra, seja de forma estritamente igual, seja com modificações. Reconhecer a repetição exata dos temas musicais é essencial tanto na música clássica quanto no jazz, pois a presença dessas repetições tem implicações precisas na construção da peça. Os temas são algumas vezes repetidos sem nenhuma modificação, mas frequentemente os compositores e improvisadores propõem elab-

orações e variações dos elementos temáticos que podem tornar o tema difícil de ser reconhecido. Compreender essas transformações como derivações lógicas do material temático e não como “novos” temas é um processo central da cognição musical. Tal é o caso, por exemplo, dos desenvolvimentos temáticos no jazz. Em tal nível de processamento, a percepção musical solicita procedimentos cognitivos abstratos de busca de invariantes acústicas e estruturais, o que evidentemente estimula os mecanismos de raciocínio.

Por fim, outras formas de memória são solicitadas quando a música termina, as quais atuam no sentido de armazenar a peça ouvida na memória semântica (se a peça for familiar) e de armazenar informações contextuais (nomes do compositor e dos intérpretes, momento, condição e local da escuta, etc.) sobre a audição na memória episódica. Concomitantemente à intervenção desses mecanismos, e algumas vezes mesmo em conexão direta com eles (Bigand 2009), o ouvinte geralmente sentirá várias emoções, algumas vezes muito intensas, no plano neurofisiológico, e que evoluem de modo dinâmico com a obra (Blood e Zatorre 2001; Salimpoor et al. 2011). Essa experiência emocional se insere no rastro da memória deixada pela escuta. A música também tem qualidades dinâmicas que vêm de sua organização temporal hierárquica (Lerdahl e Jackendoff 1983) e que são como que convites ao movimento (e.g. Janata e Grafton 2003). Conforme a cultura e o contexto social, esse ímpeto pode levar a procedimentos complexos de dança ou a simples movimentos que acompanham, em sincronia, o ritmo dos sons. Várias outras operações cognitivas emocionais e motoras poderiam ser descritas se nós considerássemos a situação do músico intérprete. Os intérpretes precisam transformar uma informação visual dada pela partitura em ações motoras que são, de forma bastante precisa, organizadas no espaço e no tempo (Drai-Zerbib, Baccino e Bigand 2011; Bigand et al. 2010), cuja intensidade deve produzir uma estrutura sonora rica em expressividade. Quando vários intérpretes tocam em conjunto, devem desenvolver certas capacidades complexas para entrarem em sincronia e em empatia, elementos sem os quais o resultado sonoro será incoerente e sem interesse expressivo para o público ouvinte. É provável que

nenhum desses mecanismos cognitivos seja específico da música. Em contrapartida, há um grande consenso em considerar que a música é uma das raras atividades que pode empregar esse conjunto de procedimentos simultaneamente.

Nos últimos trinta anos, as ciências da cognição musical analisaram detalhadamente cada um desses mecanismos cognitivos, emocionais e motores, e buscaram compreender os substratos neurofisiológicos a eles associados (Peretz 2006). A música é uma estrutura de alturas organizadas no tempo com finalidades expressivas, que tem uma forte propensão a gerar movimentos de dança ou de interpretação. Dessa forma, não surpreende a constatação de que ela ativa um grande área junto aos córtex auditivos primário e secundário. Segundo Janata (2009), a característica principal das ativações cerebrais induzidas pela música reside em empregar de uma só vez uma rede neuronal dedicada à gestão das ações voltadas ao mundo exterior e uma rede neuronal (frequentemente qualificada como “rede padrão”; Raichel 2010) voltada à vida interior do indivíduo, e que parece atuar nos estados de auto consciência, no que concerne aos pensamentos, às emoções ou às relações sociais. A função principal da primeira rede é organizar o comportamento no tempo e no ambiente exterior, o que exige uma conexão constante entre percepção e ação, e a mobilização dos meios de atenção e da memória de trabalho. Essa rede está associada às funções cognitivas da linguagem, às operações semânticas da memória de trabalho da atenção, às funções executivas e ao planejamento motor. As zonas cerebrais abrangidas nessa rede situam-se na região do sulco intraparietal, do giro frontal inferior, especialmente no córtex pré-frontal dorsolateral e no córtex ventrolateral pré-frontal. Esta última corresponde, à esquerda, à área de Broca que está envolvida na organização sequencial das ações. A área motora suplementar e o córtex pré-motor lateral pertencem ao componente motor dessa rede. Ligam a ação e a percepção por meio do sistema dos neurônios-espelho, que envia ao córtex motor uma cópia das ações observadas. A maior parte dessa rede pode ser ativada por estímulos musicais. Por exemplo, observamos que o giro frontal inferior e o opérculo frontal são ativados, com uma acentuada assimetria à direita,

quando ou ouvintes escutam sequências de acordes que podem ou não obedecer a regularidades sintáticas da música ocidental tonal (Tillmann, Koelsch, Escoffier, Bigand et al. 2006). Em comparação, a rede neural interna está envolvida nas diversas formas de respostas afetivas e nos processos autorreferenciais. Várias zonas dessa rede interna são também ativadas pela música, tais como o córtex pré-frontal ventromedial (Blood e Zatorre 1999, 2001; Brown et al. 2004) e diversos elementos do sistema emocional límbico, como a amígdala (Blood e Zatorre 2001; Koelsch 2010; Kalfa, Bigand et al. 2008), o hipocampo (Blood e Zatorre 2001; Steinbeis et al. 2006), o giro para-hipocampal (Blood, Zatorre, Bermudaz e Evans 1999; Green et al. 2008), o córtex cingular (Mitterschiffthaler et al. 2007), o córtex orbitofrontal (Blood e Zatorre 2001; Tillmann, Koelsch, Escoffier e Bigand et al. 2006), o hipotálamo (Menon e Levitin 2005), a ínsula e o estriado (Mitterschiffthaler et al. 2007; Blood e Zatorre 2001).

Um aspecto esclarecedor no entendimento do impacto da música sobre o cérebro humano é a constatação de que ela consegue ativar duas grandes redes neuronais, intimamente ligadas, mas que têm funções psicológicas complementares para a adaptação. Como destaca Janata (2009, 70), “music engages basic brain circuitry that’s in place for our survival and well-being. But it engages it in a way that’s pleasurable for us.” Segundo o tipo de estímulos musicais utilizados ou as tarefas requeridas, cada uma dessas redes poderá ser mais ou menos solicitada. Recorrer a estímulos musicais em laboratório, bastante artificiais no plano estético mas que atendem às necessidades científicas, poderia facilitar para que se destacasse a rede neural externa. Por outro lado, o uso de músicas reais facilitaria a ativação da segunda rede, como demonstram os estudos de Zatorre e seus colaboradores (Blood e Zatorre 2001; Salimpoor et al. 2011). Esse aspecto é muito importante porque sugere que uma manipulação adequada de estímulos e de tarefas permitiria mobilizar, conforme as necessidades, por escolha, uma região determinada dentre essas duas grandes redes de ativação.

Música: uma atividade promissora para a estimulação cognitiva

Os fundamentos neurocognitivos da música sugerem que ela pode ter um impacto intenso sobre o funcionamento da mente e do cérebro humano. Toda atividade que enriquece o ambiente do indivíduo oferece perspectivas promissoras à estimulação cognitiva. É evidente que a complexidade das tarefas, assim como das atividades de lazer, contribui para o estímulo cerebral e cognitivo (Schooler 2009, para uma revista). Entretanto, diversas observações científicas foram relatadas nos últimos dez anos, mostrando que a música modifica nosso cérebro e nosso sistema cognitivo de uma maneira específica. A psicologia cognitiva destacou os efeitos de transferências positivas no treinamento musical; as neurociências demonstraram como a música modifica anatômica e funcionalmente certas regiões cerebrais, incluindo-se aí pesquisas feitas após breves treinamentos entre adultos não músicos; e a pesquisa clínica em neuropsicologia relatou efeitos positivos surpreendentes da música sobre a reabilitação de pacientes com lesões cerebrais. O conjunto desses dados indica que a música apresenta vantagens valiosas para a estimulação cognitiva. Tais dados serão mencionados sucintamente em seguida, mas o leitor poderá encontrar um relato mais detalhado na revisão bibliográfica sobre o assunto que fizemos recentemente (Mousard, Rochette e Bigand, no prelo).

A suposição de que a música colabora no desenvolvimento cognitivo tem uma longa história na cultura ocidental. O famoso “efeito Mozart” corroborou na reativação dessa crença (Rauscher et al. 1993), apesar desse estudo ter sido amplamente criticado (Steele et al. 1999). Além do efeito benéfico da exposição à música sobre o quociente intelectual, os efeitos do aprendizado musical foram amplamente documentados em diversas outras atividades mentais, como a memória verbal (Chan, Ho e Cheung 1998) ou o raciocínio (Brandler e Rammsayer 2003). Alunos que tiveram aulas particulares de música, principalmente de piano, obtiveram performances em matemática superiores a estudantes que não tiveram tais aulas (Cheek e Smith 1999). Crianças que tiveram au-

las de música apresentaram melhores resultados em uma ampla gama de testes de quociente intelectual (Schellenberg 2004, 2006). Os efeitos convincentes do aprendizado musical sobre o desenvolvimento cognitivo e a organização cerebral de crianças foram demonstrados em um estudo longitudinal por meio da comparação de um grupo de crianças que estudavam música com um grupo-controle, formado por crianças do mesmo nível socioeconômico, de Q.I. e idade equivalentes (Schlaug et al. 2005).

A plasticidade cerebral de músicos foi amplamente estudada (Pantev e Herholz 2011). Várias áreas do cérebro, como o corpo caloso anterior (Schlaug et al. 1995; Schmithorst et al. 2002), a concentração de massa cinzenta no córtex auditivo direito (Bermudez e Zatorre 2005), o volume de massa cinzenta no giro de Heschl (*e.g.*, Gaser e Schlaug 2003; Schneider et al. 2005, 2007), o plano temporal (Keenan et al. 2001; Luders et al. 2004; Schlaug et al. 1995b), o giro frontal inferior (Gaser e Schlaug 2003; Luders et al. 2004), o córtex motor primário (Amunts et al. 1997) e o cerebelo (Hutchinson et al. 2003) são maiores em músicos. Tais transformações anatômicas dependem do tempo de prática musical que o músico possui e do tipo de instrumento que ele toca (Bangert e Schlaug 2006; Elbert et al. 1995). Diferenças funcionais também foram relatadas na pesquisa com músicos quanto à melhora das capacidades espaço-visuais e de concentração (Patston et al. 2007), ao tempo de resposta mais curto em tarefas mono e bimanuais (Hughes e Franz 2007), assim como à maior rapidez na detecção das diferenças prosódicas em uma língua estrangeira (Marques et al. 2007). Além disso, outros estudos mostram maiores ativações motoras nas áreas motoras secundárias em pianistas do que em indivíduos não músicos durante a audição de uma obra para piano (Baumann et al. 2007). Portanto, a prática especializada da música provoca modificações anatômicas e funcionais em diversas áreas do cérebro. Por fim, estudos recentes mostram que tais efeitos não são limitados apenas aos músicos, mas podem ser obtidos após um treinamento musical relativamente curto (Moussard, Rochette e Bigand no prelo).

Neuropsicologia

Os programas de treinamento auditivo e musical contribuem para a melhora em pacientes com patologias cognitivas. Treinos audiovisuais podem reduzir problemas de dislexia entre crianças (Magnan et al. 2004) e o aprendizado da música reduz especialmente as deficiências no processamento temporal fino (Overy 2003) e na diferenciação de alturas (Santos et al. 2007), tanto em nível comportamental como neuropsicológico. Os efeitos positivos da música sobre as habilidades cognitivas foram pesquisados em pacientes autistas (Gold et al. 2006), esquizofrênicos (Talwar et al. 2006), portadores de esclerose múltipla (Thaut et al. 2005), de patologias da artéria coronária (Emery et al. 2003) e de demência (Brotons e Koger 2000; Foster e Valentine 2001; Van der Winckel et al. 2004). Tais resultados são condizentes com inúmeros outros relatados pela musicoterapia, que indicam os efeitos positivos da música sobre aspectos psicológicos dos pacientes (Le Roux et al. 2007. Richard et al. 2007). O efeito da música na recuperação das funções cognitivas entre pacientes vítimas de acidentes vasculares cerebrais foram recentemente demonstrados por Särkämö et al. (2008), dentre uma amostragem de pacientes aleatoriamente separados em três grupos experimentais: no primeiro grupo, cada um ouvia sua música favorita; no segundo grupo, textos eram lidos para que os pacientes ouvissem; e o terceiro era o grupo-controle, que seguia a reabilitação tradicional. Todos os pacientes passaram por testes neuropsicológicos cognitivos e por testes de avaliação do humor, antes do experimento, assim como após três e seis meses de aplicação do tratamento. Os resultados mostram que o grupo “música” apresentou uma melhor recuperação cognitiva em relação ao grupo “linguagem”, nos testes de memória verbal, de memória de trabalho, de fluência verbal, de funções executivas, de capacidade de atenção concentrada e de atenção sustentada. O grupo “música” demonstrou, com mais frequência, estados mentais positivos.

Esse conjunto de dados provenientes da pesquisa fundamental em psicologia, neurociências e da pesquisa clínica está certamente conectado: a escuta musical é um processo complexo que ativa várias

regiões do cérebro, associadas a componentes cognitivos e emocionais diversos. Consequentemente, a ativação de tais redes pela estimulação musical tem potenciais efeitos positivos sobre o conjunto das capacidades cognitivas, emocionais e motoras dos indivíduos. Esse resultado tem implicações importantes para a educação e para a terapêutica: a estimulação cognitiva pela música pode aumentar os recursos neurais dos indivíduos normais, pode protegê-los dos efeitos do envelhecimento e também pode contribuir na recuperação de habilidades nos casos de lesões cerebrais (Grant e Brody 2004). A música apresenta, portanto, diversos benefícios para a estimulação cognitiva. (1) É uma atividade aprazível que pode ser facilmente posta em prática com uma ampla variedade de indivíduos (crianças, idosos) e que tem efeitos evidentes sobre o humor, além de reduzir a apatia dos pacientes, sobretudo nos portadores de Alzheimer (Holmes, Knights, Dean, Hodkinson e Hopkins 2006). Da mesma forma, a música aumenta a motivação nos indivíduos, o que pode ser uma das causas para seus efeitos benéficos gerais sobre as performances (Schellenberg 2006). (2) No plano cognitivo, a música apresenta a vantagem de se desenvolver no tempo e, por isso, solicitar uma forte atenção sustentada por parte dos ouvintes e dos intérpretes. Segundo Posner (2009), é pelo fato de a música solicitar constantemente a rede atencional – rede que tem papel central para a memória e para o aprendizado – que ela pode ter efeitos benéficos sobre as funções cognitivas. (3) Esse raciocínio pode ser estendido a outros aspectos centrais da cognição, como apresentado na secção anterior. A música permite sobretudo estimular os mecanismos que estão no cerne da cognição (*"core training"*), visando à melhora da "velocidade de processamento", da "memória de trabalho", dos processos de inibição ou ainda das operações mentais de "shifting", e isso de maneira muito mais atrativa que os habituais exercícios usados na estimulação cognitiva. Sob o aspecto neuropsicológico, pode-se deduzir que, como a música ativa regiões cerebrais que também estão envolvidas em diversas atividades cognitivas (como a linguagem, por exemplo), a estimulação pela música é mais apropriada na indução de transferências do que outros programas de exercício cognitivo. Além disso, uma estimulação apropriada das tare-

fas e dos estímulos musicais pode facilmente permitir a ativação de mecanismos particulares segundo necessidades específicas.

Mas a música apresenta duas vantagens suplementares que são, sem dúvida, as mais importantes para a estimulação cognitiva. (4) Ela oferece um meio natural de unir percepção e ação, e de reforçar as integrações sensório-motoras. Promover a conexão percepção-ação é fundamental para a cognição humana (Rizzolatti e Craighero, 2004) e constitui, sem dúvida, um vetor importante para a plasticidade cerebral (Schneider et al. 2007; Pantev e Helmoltz 2011). Os atuais programas de estimulação cognitiva são extremamente pobres nesse aspecto, pois a maior parte deles apoia-se sobre a dicotomia estrita entre cognição e ação. (5) Por fim, a música tem um impacto emocional mais importante do que se imaginou até o presente e que se traduz de modo bastante específico no plano neurofisiológico (Koelsch 2010). Como apresentado na terceira parte deste artigo, a música ativa o centro de recompensa do cérebro emocional (como o núcleo *acumbens*, considerado o centro cerebral do prazer) (Blood e Zatorre 2001; Salimpoor et al. 2011). Tais ativações do centro de emoções devem ter consequências sobre o todo no funcionamento cerebral, inclusive no aspecto bioquímico. A ativação do sistema dopaminérgico modifica as secreções hormonais e essa mudança poderia promover a neurogênese e a plasticidade cerebral (Fukui e Toyoshima 2008).

Em suma, a música é uma “atividade recreativa” que tem o poder de unir cognição, emoção e ação em uma mesma experiência, o que pode ter, em contrapartida, um impacto importante sobre o funcionamento neurocognitivo. Patel (2008) destaca também que a especificidade da música é o fato de solicitar, de maneira exigente, o conjunto desses mecanismos. Por tal razão, Patel (2008) considera a música uma excepcional “tecnologia transformadora da mente humana”, a qual provavelmente contribuiu no sentido de moldar o cérebro e a mente durante toda a evolução. Considerada sob tal perspectiva, a música apresenta-se, portanto, como uma ferramenta natural privilegiada de estimulação cognitiva.

Referências

Amunts K, Schlaug G, Schleicher A, Steinmetz H, Dabringhaus A, Roland PE, Zilles K. (1996) Asymmetry in the human motor cortex and handedness. *Neuroimage*. 4:216-22.

Anschultz, L., Camp, C. J., Markley, R. P., & Kramer, J. J. (1987). Remembering mnemonics: A three year follow-up on the effects of mnemonics training in elderly adults. *Experimental Aging Research*, 13, 141-143.

Ball, K., Edwards, J. D., & Ross, L. A. (2007). The impact of speed of processing training on cognitive and everyday functions. *Journals of Gerontology: SERIES B*, 62B, 19-31.

Bangert M, Schlaug G. Specialization of the specialized in features of external human brain morphology. *Eur J Neurosci*. 24(6):183

Basak, C., Boot, W. R., Voss, M., & Kramer, A. F. (2008). Can training on a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychology and Aging*, 23(4), 765-777.

Baumann S Koeneke S, Schmidt CF (2007) A network for audio-motor coordination in skilled pianists and non-musicians. *Brain Res*, 1161:65-78.

Belleville, S., Clément, F., Mellah, S., Gilbert, B., Fontaine, F., & Gauthier, S. (2011). Training-related brain plasticity in subjects at risk of developing Alzheimer's disease. *Brain*, 134, 1623-1634.

Bermudez, P. et Zatorre, R. J. (2005). Differences in gray matter between musicians and nonmusicians. *Ann N Y Acad Sci* 1060: 395-9.

Bigand, E. (1993). Contribution of music to research on human auditory cognition. in S. McAdams & E. Bigand (Eds.). *Thinking in sound: The cognitive psychology of human audition*, (pp. 231-273), Oxford: Oxford Uni-

versity Press, French version, P.U.F. (1994). *Penser les sons: la psychologie cognitive de l'audition*.

Bigand, E. (2009). L'émotion dans le langage musical. In S. Dehaene & C. Petit (Eds.), *Parole et Musique. Aux origines du dialogue humain* (Odile Jacob ed.). Paris: Collège de France.

Bigand, E., Lalitte, P., Lerdahl, F., Boucheix, J.-M., Gérard, Y & Pozzo, T. (2010). Looking into the eyes of the conductor. *Musicae Scientiae*. 275-295.

Bigand, E., Poulin-Charronnat*, B (2006). Are we all « experienced listeners », *Cognition*, 100, 100-130

Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(20), 11818-11823.

Blood, A. J., Zatorre, R. J., Bermudez, P., & Evans, A. C. (1999). Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. Emotional responses. *Nature Neurosciences*, 2, 383 – 387.

Brandler, S., & Rammsayer, T. H. (2003). Differences in mental abilities between musicians and non musicians. *Psychology of music*, 31(2), 123-138.

Brooks, J. O., Friedman, L., & Yesavage, J. A. (1993). A study of the problems older adults encounter when using a mnemonic technique. *Psychogeriatrics*, 5, 57-65.

Brotons, M., & Koger, S. M. (2000). The impact of music therapy on language functioning in dementia. *Journal of Music Therapy*, 37(3), 183-195.

Brown, S., Martinez, M.J., Parsons, L.M., 2004. Passive music listening spontaneously engages limbic and paralimbic systems. *Neuroreport* 15 (13), 2033–2037.

Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. (2010). Improving intelligence: a literature review. *Swiss Medical Weekly*, 140, 266-272.

Cabeza, R. (2002). Hemispheric reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and Aging*, 17, 85-100.

Carlson, M. C., Saczynski, J. S., Rebok, G. W., Seeman, T., Glass, T. A., McGill, S., et al. (2008). Exploring the effects of an everyday activity program on executive functions and memory in older adults: Experience Corps. *Gerontologist*, 48(6), 793-801.

Chan, A. S., Ho, Y. C., & Cheung, M. C. (1998). Music training improves verbal memory. *Nature*, 396(6707), 128.

Cheek, J. M., & Smith, L. R. (1999). Music training and mathematics achievement. *Adolescence*, 34(136), 759-761.

Chein, J., & Morrisson, A. (2010). Expanding the mind's workspace: training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychonomic Bulletin and Review*, 17(2), 193-199.

Drai-Zerbib*, V., Baccino, T., & Bigand, E. (2011). Sight-reading expertise: Cross-modality integration investigated using eye tracking. *Psychology of music*. [39](#), (3)

Edwards, J. D., Wadley, V. G., Myers, R. S., Roenker, D. L., Cissell, G. M., & Ball, K. (2002). Transfer of a speed of processing intervention to near and far cognitive functions. *Gerontology*, 48, 329-340.

Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995). In-

creased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270, 305-307.

Emery CF, Hsiao ET, Hill SM, Frid DJ. (2003). Short-term effects of exercise and music on cognitive performance among participants in a cardiac rehabilitation program. *Heart Lung*; 32(6): 368-73.

Fadiga L, Craighero L, Buccino G, Rizzolatti G. (2002). Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: a TMS study. *Eur J Neurosci*. 15(2):399-402.

Foster, N. A., & Valentine, E. R. (2001). The effect of auditory stimulation on autobiographical recall in dementia. *Experimental aging research*, 27, 215-228.

Francès R. (1958). *La perception de la musique*. Presses Universitaire de France, Paris.

Fukui, H., & Toyoshima, K. (2008). Music facilitate the neurogenesis, regeneration and repair of neurons. *Medical Hypotheses*, 71(5), 765-769.

Galvan, A (2010). Neural plasticity of development and learning. *Human Brain Mapping*, 31(6), 879-890.

Grant, M. D., & Brody, J. A. (2004). Musical experience and dementia. Hypothesis. *Aging Clinical and Experimental Research*, 16, 403-405.

Green, C. S. & Bavelier, D. (2003). Action video game playing modify visual selective attention. *Nature*, 423, 534-537.

Green, C. S. & Bavelier, D. (2006). Effects of action video game playing on the spatial distribution of visual selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 1465-1478.

Green, C. S. & Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: A review of hu-

man brain plasticity and training-induced learning. *Psychology and Aging*, 23(4), 692-701.

Holmes, C., Knights, A., Dean, C., Hodkinson, S., & Hopkins, V. (2006). Keep music live: music and the alleviation of apathy in dementia subjects. *International Psychogeriatrics*, 18(4), 623-630.

Hughes CM, Franz EA. (2007) Experience-dependent effects in uni-manual and bimanual reaction time tasks in musicians. *Journal of Motor Behavior*, 39 (1): 3-8.

Hutchinson, S., L. H. Lee, et al. (2003). "Cerebellar volume of musicians." *Cerebral Cortex* 13(9): 943-9.

Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, L., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *PNAS*, 105(19), 6829-6833.

Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, L., & Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *PNAS*, 108(25), 10081-10088.

Janata, P. (2009). The neural architecture of music-evoked autobiographical memories. *Cerebral Cortex*, 19(11), 2579-2594.

Janata, P. & Grafton, S.T. (2003). Swinging in the brain: shared neural substrates for behaviors related to sequencing and music, *Neuroimage*, 21, 1055-1060.

Keenan JP, Thangaraj V, Halpern AR, Schlaug G. (2001) Absolute pitch and planum temporale. *Neuroimage*, 14(6):1402-8.

Khalfa, S., Delbé*, C., Bigand,E , Reynaud, E., Chauvel, P., & Liégeois-Chauvel, C. (2008), Positive and negative music recognition reveals a specialization of mesio-temporal structures in epileptic patients. *Music Perception*, 25, pp. 295-302.

Kim, N-G, & Park, J-H (2011). Learning to perceive structure from motion and neural plasticity in patients with Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 48, 1464-1471.

Kliegl, R. K., Smith, J., & Baltes, P. B. (1990). On the locus and process of magnification of age differences during mnemonic training. *Developmental Psychology*, 26, 894-904.

Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(7), 317-324.

Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dalstrom, K., et al. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD- a randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44(2), 177-186.

Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781-191.

Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(2), 131-137.

Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrisson, C. R., et al. (1999). Ageing, fitness, and neurocognitive function. *Nature*, 400, 418-419.

Lalitte, P., Bigand, E., Kantor, J., & Delbé, C. (2009). On listening to atonal variants of two Piano Sonatas by Beethoven, *Music Perception*, 26(3), 223-234.

Lallite, P. & Bigand, E. (2006). Music in the moment: revisiting the effect of large scale structure, *Perceptual & Motor Skill*, 1003-811-826.

Le Roux FH, Bouic PJ, Bester MM. (2007) The effect of Bach' s magnificat on emotions,immune, and endocrine parameters during physio-

therapy treatment of patients with infectious lung conditions. *J Music Ther.*;44(2):156-68.

Lemaire, P., & Reder, L. (1999). What affects strategy selection in arithmetic? An example of parity and five effects on product verification. *Memory & Cognition*, 22, 364-382.

Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). A generative theory of tonal music, MIT Press, Cambridge.

Li, H., Li, J., Li, N., Li, B., Wang, P., & Zhou, T. (2011). Cognitive intervention for persons with mild cognitive impairment: A meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, 10, 285-296.

Luders E, Gaser C, Jancke L, Schlaug G. (2004) A voxel-based approach to gray matter asymmetries. *Neuroimage*. 22(2):656-64.

Magnan, A., Ecalle, J., Veuillet, E., & Collet, L. (2004). The effects of an audio-visual training program in dyslexic children. *Dyslexia*, 10(2), 131-140.

Marks, B. L., Madden, D. J., & Bucur, B. (2007). Role of aerobic fitness and aging on cerebral white matter integrity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1097, 171-174.

Marques, C., Moreno, S., Castro, S. L., & Besson, M. (2007). Musicians detect pitch violation in a foreign language better than nonmusicians: Behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(9), 1453-1463.

Meade, ML; Park, DP. (2009). Enhancing Cognitive Function in Older Adults. In Chodzko-Kajko,W., & Kramer, A.F. (Eds.), Enhancing Cognitive and Brain plasticity, Champaign, IL : *Human Kinetics*.

Menon, V., & Levitin, D. J. (2005). The rewards of music listening: response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *Neuroimage*, 28(1), 175-184.

Mitterschiffthaler, M. T., Fu, C. H., Dalton, J. A., Andrew, C. M., & Williams, S. C. (2007). A functional MRI study of happy and sad affective states induced by classical music. *Hum Brain Mapp*, 28(11), 1150-1162.

Moody, D. E. (2009). Can intelligence be increased by training on a task of working memory? *Intelligence*, 37(4), 327-328.

Morrisson, A. B., & Chein, J. M. (2011). Does working memory training work ? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, 18, 46-60.

Moussard, A., Rochette, F. & Bigand E. (sous presse) : La musique comme outil de stimulation cognitive, *Année Psychologique*.

Neves, G., Cooke, S. F., & Bliss, T. V. (2008). Synaptic plasticity, memory, and the hippocampus: A neural network approach to causality. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), 65-75.

Noice, H., & Noice, T. (2009). Neuropsychology, Development and Cognition, 16(1), 56-79.

Noice, H., Noice, T., & Staines, G. (2004). A short-term intervention to enhance cognitive and affective functioning in older adults. *Journal of Aging and Health*, 16(4), 1-24.

Overy, K. (2003). Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York Academy of Science*, 999(497-505).

Owen, A., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A., et al. (2010). Putting brain training to the test. *Nature*, 465, 775-779.

Pantev, C., & Herholz, S. (2011). Plasticity of the human auditory cortex related to musical training, *Neuroscience and behavioral reviews*, 35, 2041-2154.

Patel, A. D. (2008). Music, language, and the brain. New York: Oxford University Press.

Patel, A. D. (2010). Music, biological evolution, and the brain. In M. Bailar (Ed.), *Emerging Disciplines* (pp. 91-144). Houston: TX: Rice University Press.

Patston, L. L., Kirk, I. J., Rolfe, M. H., Corballis, M. C., & Tippett, L. J. (2007). The unusual symmetry of musicians: musicians have equilateral inter-hemispheric transfer for visual information. *Neuropsychologia*, 45(9), 2059-2065.

Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, 100, 1-32.

Peretz, I. (2010). Towards a neurobiology of musical emotions. In P. N. Juslin & J. Sloboda (Eds.), *Handbook of Music and Emotion: Theory, research, applications*. Oxford: Oxford University Press.

Posner, P, & Patoise, B. (2009) How Arts Training Improves Attention and Cognition, <http://dana.org/news/cerebrum/detail.aspx?id=23206>

Raichel, M (2010). Two views of brain function, *Trends in cognitive sciences*, Volume 14, Issue 4, 180-190

Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature*, 365(6447), 661.

Rebok, G. W., Carlson, C. C., & Langbaum, (2007). Training and maintaining memory abilities in healthy older adults: Traditional and novel approaches. *Journals of Gerontology: SERIES B*, 62B, 53-61.

Rizzolatti G, Craighero L (2004) The mirror-neuron system. *Annual Rev Neurosci.*; 27:169-92.

Roenker, D. L., Cissell, G. M., Ball, K., Wadley, V. G., & Edwards, J. D. (2003). Speed-of-processing training and driving simulator training result in improved driving performance. *Human Factors*, 45(2), 218-233.

Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011).

Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience*, 14(2), 257-262.

Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428.

Santos, A., Joly-Pottuz, B., Moreno, S., Habib, M., & Besson, M. (2007). Behavioral and event-related potential evidence for pitch discrimination deficit in dyslexic children: improvement after intensive phonic intervention. *Neuropsychologia*, 45, 1080-1090.

Särkämö, T., Tervaniemi, M., Laitinen, S., Forsblom, A., Soinila, S., Mikkonen, M., Hietanen, M. (2008). Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke. *Brain*, 131, 866-876.

Schellenberg, E. G. (2004). Music lessons enhance IQ. *Psychological Science*, 15(8), 511-514.

Schellenberg, E. G. (2006). Long-term positive associations between music lessons and IQ. *Journal of Educational Psychology*, 98(2), 457-468.

Schellenberg, E. G., & Hallam, S. (2005). Music listening and cognitive abilities in 10 and 11 year olds: The Blur effect. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060(202-209).

Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 3(267(5198)), 699-701.

Schlaug, G., Norton, A., Overy, K., & Winner, E. (2005). Effects of music training on the child's brain and cognitive development. *Annals New York Academy of Science*, 1060, 219-230.

Schmiedek, F., Lövdén, M., & Lindenberger, U. (2010). Hundred days of cognitive training enhance broad cognitive abilities in adulthood: Findings from the COGITO study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2, 1-10.

Schmithorst VJ, Wilke M. (2002) Correlation of white matter diffusivi-

ty and anisotropy with age during childhood and adolescence: a cross-sectional diffusion-tensor MR Imaging study. *Radiology*; 222(1):212-8.

Schneider P, Scherg M, Dosch HG, Specht HJ, Gutschalk A, Rupp A. (2002) Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neurosciences*. 5(7):688-94.

Schneider, P., Sluming, V., Roberts, N., Scherg, M., Goebel, R., Specht, H. J., Rupp, A. (2005). Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nature Neuroscience*, 8(9), 1241-1247.

Schneider, S., Schönle, P. W., Altenmüller, E., & Münte, T. F. (2007). Using musical instruments to improve motor skill recovery following a stroke. *Journal of Neurology*, 254(10), 1339-1346.

Sitzer, D. I., Twamley, E. W., & Jeste, D. W. (2006). Cognitive training in Alzheimer's disease: A meta-analysis of the literature. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 114, 75-90.

Steele, K., Dalla Bella, S., Peretz, I., Dunlop, T., Dawe, L., Humphrey, G., Shannon, R., Kirby, J. Jr. & Olmstead, C. (1999) Prelude or requiem for "The Mozart Effect", *Nature*, 400, 826-827.

Steinbeis, N., Koelsch, S., & Sloboda, J. A. (2006). The role of harmonic expectancy violations in musical emotions: Evidence from subjective, physiological, and neural responses. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(8), 1380-1393.

Stiles, J. (2000). Neural plasticity and cognitive development. *Developmental Neuropsychology*, 18(2), 237-272.

Stine-Morrow, E. A. L., Parisi, J. M., Morrow, D. G., & Park, D. C. (2008). The effects of an engaged lifestyle on cognitive vitality: A field experiment. *Psychology and aging*, 23(4), 778-786.

Swaab, D. F. (1991). Brain aging and Alzheimer's disease: 'wear and tear' versus 'use it or lose it'. *Neurobiology of Aging*, 12, 317-324.

Swain, R. A., Harris, A. B., Wiener, E. C., Dutka, M. V., Morris, H. D., Theien, B. E., et al. (2003). Prolonged exercises induces angiogenesis and increases cerebral blood volume in primary motor cortex of the rat. *Neuroscience*, 13(1), 120-131.

Thaut, M. H., Peterson, D. A., & McIntosh, G. C. (2005). Temporal entrainment of cognitive functions: Musical mnemonics induce brain plasticity and oscillatory synchrony in neural networks underlying memory. *Annals New York Academy of Science*, 1060, 243-254.

Thompson, W. F., Schellenberg, E. G., & Husain, G. (2001). Arousal, mood, and the Mozart effect. *Psychological Science*, 12, 248-251.

Thompson, W. F., Schellenger, G. E., & Husain, G. (2003). Perceiving prosody in speech. Effects of music lessons. *Annals of the New York Academy of Science*, 999, 530-532.

Tillmann, B., Koelsch, S., Escoffier, N., Bigand, E., Lalitte, P.*, Friederici, A. D. & von Cramon, D. Y. (2006), Cognitive priming in sung and instrumental music: Activation of inferior frontal cortex, *NeuroImage*, 31, 1771-1792.

Tillmann*, B., Bharucha, J., & Bigand, E. (2000). Implicit learning of tonality: A self-organizing approach. *Psychological Review*. 107, 885-913.

Tranter, L. J., & Koustaal, W. (2008). Age and flexible thinking: an experimental demonstration of the beneficial effects of increased cognitively stimulating activity on fluid intelligence in healthy older adults. *Aging Neuropsychology and Cognition*, 15(2), 184-207.

Van der Winckel, A., Feys, H., De Weerd, W., & Dom, R. (2004). Cognitive and behavioral effects of music-based exercises in patients with dementia. *Clinical rehabilitation*, 18, 253-260.

West, R. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, 120, 272-292.