

# Por dentro do ouvido absoluto: Investigações por neuroimagem

PATRICIA VANZELLA\* E RONALD RANVAUD\*\*

## Resumo

O ouvido absoluto é um dos traços cognitivos mais intrigantes na percepção musical e tem sido objeto de estudo desde o século XIX. Ao longo das últimas décadas, contudo, houve um aumento significativo de interesse sobre o tema, em grande parte em função do surgimento de técnicas de neuroimagem que potencializaram a investigação das estruturas e mecanismos cerebrais envolvidos na percepção auditiva. O presente estudo apresenta um panorama sobre essa habilidade e, em seguida, enumera as contribuições das pesquisas que utilizaram recursos de neuroimagem em busca de identificar os correlatos neurofisiológicos desse traço cognitivo.

*Palavras-chave:* ouvido absoluto, neuroimagem, percepção auditiva

## Scanning absolute pitch: Neuroimaging studies

### Abstract

Absolute pitch is one of the most intriguing cognitive traits in music perception. Scientific publications about this subject date back to the nineteenth century. However, recent decades have brought renewed interest to this topic, partly due to the development of neuroimaging techniques that provide better visualization of brain structures and mechanisms involved in auditory perception. This paper presents an overview of absolute pitch and describes the contributions of neuroimaging investigations to the understanding of the neurophysiological correlates of this cognitive ability.

*Keywords:* absolute pitch, neuroimaging, auditory perception

---

\* Departamento de Música - Universidade de Brasília/UnB

Núcleo de Engenharia, Modelagem, e Ciências Sociais Aplicadas – Universidade Federal do ABC/UFABC.

E-mail: [pvanzella@unb.br](mailto:pvanzella@unb.br)

\*\* Instituto de Ciências Biomédicas – Departamento de Fisiologia e Biofísica – Universidade de São Paulo/USP

E-mail: [ranvaud@usp.br](mailto:ranvaud@usp.br)

## Origem do ouvido absoluto

O ouvido absoluto (OA) tem sido definido na literatura como a habilidade de identificar, usando rótulos, a altura de um tom isolado (como, por exemplo, Dó para a frequência de 261 Hz) e/ou de cantar uma altura específica, sem auxílio de qualquer referência externa (Bachem, 1937; Baggaley, 1974; Ward, 1999; Parncutt & Levitin, 2001; Zatorre, 2003). Para os portadores dessa habilidade, identificar as notas musicais por seus nomes é uma tarefa tão natural, imediata e automática quanto, por exemplo, reconhecer cores. A facilidade com que essa tarefa é realizada leva a maioria das pessoas a imaginar que apenas indivíduos excepcionalmente talentosos possam apresentar essa habilidade. Essa impressão é reforçada pelo fato de que muitos dos grandes compositores e instrumentistas — como Bach, Mozart, Beethoven, Handel, Chopin, Toscanini, Heifetz, Menuhin, Rubinstein, entre outros — terem sido portadores dessa habilidade (Deutsch, 2006).

Além disso, o OA é um traço cognitivo raro, apresentado aparentemente por apenas uma em cada dez mil pessoas (Bachem, 1955; Profita & Bidder, 1988). Entre músicos, a prevalência varia de 5 a 50% (Wellek, 1963; Chouard & Sposetti, 1991). No Brasil, a prevalência de OA entre estudantes de música em universidades está em torno dos 6,5% (Vanzella, Benassi-Werke, & Oliveira, 2008; Vanzella, Benassi-Werke, Germano, & Oliveira, 2009; Germano, Vanzella, Benassi-Werke, & Oliveira, 2013).

Com base no que se conhece atualmente sobre o sistema auditivo essa raridade é, contudo, intrigante. Em todos os níveis do sistema auditivo, encontram-se células que respondem, cada uma, a uma estreita faixa de frequências específicas (Bharucha, 1992; Handel, 1989; Kolb & Whishaw, 1990; Pierce, 1983). Informação sobre a altura absoluta de um determinado estímulo sonoro estaria, portanto, potencialmente disponível por todo sistema auditivo. Sendo assim, Levitin (1994, p. 414) sugere que, ao invés de nos perguntarmos: “por que pouquíssimas pessoas têm OA?”, deveríamos nos perguntar: “por que não temos, todos, OA?”.

Ao longo dos últimos 120 anos, a opinião científica tem levantado algumas hipóteses sobre a etiologia do OA. A origem dessa habilidade, no entanto, permanece um enigma. Em um eixo que tem como extremidades a genética, de um lado, e a influência ambiental, de outro, é possível identificar na literatura quatro teorias principais. A primeira postula que o OA seja uma habilidade inata, herdada geneticamente (Révész, 1913; Bachem, 1940). Uma segunda teoria, radicalmente oposta à primeira, advoga que qualquer pessoa pode adquirir OA desde que receba treinamento apropriado (Meyer, 1899; Gough, 1922; Mull, 1925; Wedell, 1934; Cuddy, 1968, 1970; Brady,

1970). Uma terceira hipótese é de que todos nasçam com essa capacidade, mas que nem todos a desenvolvam — ou que até mesmo a percam em função da própria natureza do treinamento musical, que enfatiza a percepção de relações entre os sons ao invés de sua altura absoluta (Abraham, 1901; Watt, 1917). Finalmente, outra hipótese postula que o OA possa ser adquirido, mas somente através de treinamento musical em tenra idade (Copp, 1916; Sergeant & Roche, 1973; Ward, 1963).

Alguns trabalhos recentes admitem a possibilidade de existir, na realidade, uma combinação de fatores genéticos e ambientais envolvidos na origem do OA. Zatorre (2003) afirma, inclusive, que o estudo dessa habilidade representa uma oportunidade de investigar a interação entre genética e ambiente no desenvolvimento de comportamentos cognitivos complexos no ser humano. As evidências que apontam nesse sentido são várias e serão discutidas a seguir.

Em primeiro lugar, parece ser bastante improvável que a aquisição do OA se dê exclusivamente por meio de treinamento apropriado. Identificar notas musicais, para indivíduos portadores dessa habilidade, é uma tarefa que ocorre espontaneamente e sem nenhum esforço. Por outro lado, pessoas que não manifestam naturalmente essa capacidade e se propõem a adquiri-la, através de métodos desenvolvidos especialmente para isso, necessitam de muita motivação e disciplina para enfrentar um treinamento longo e exaustivo. Embora alguns dos resultados obtidos com esses treinamentos possam, às vezes, aproximar o desempenho dos sujeitos treinados ao desempenho de portadores de OA, observa-se que o nível de acurácia e a velocidade na identificação de alturas musicais, através de seus rótulos, decaem quando o treinamento é interrompido. Não há relatos convincentes de casos de pessoas que tenham efetivamente adquirido essa habilidade depois de adultas (Cuddy, 1968; Rush, 1989; Ward, 1999).

Muitos estudos apontam para uma estreita relação entre a idade de início do treinamento musical e a incidência de OA. Sergeant (1969) constatou em seu estudo que 87,5% dos músicos que iniciaram o treinamento musical por volta dos cinco anos de idade eram portadores de OA, enquanto entre aqueles que começaram treinamento após os dez anos nenhum apresentava esse traço cognitivo. Investigações posteriores reforçam a estreita relação entre o início precoce do treinamento musical e a manifestação do OA (Miyazaki, 1988; Takeuchi, 1989; Baharloo, Service, Risch, Gritschier, & Freimer, 1998; Ward, 1999; Gregersen, Kowalsky, Kohn, & Marvin, 1999, 2001; Costa-Giomi, Gilmour, Siddell, & Lefebvre, 2001; Chin, 2003; Vitouch, 2003; Levitin & Rogers, 2005; Deutsch, Henthorn, Marvin, & Xu, 2006; Deutsch, Doo-

ley, Henthorn, & Head, 2009; Dooley & Deutsch, 2010, 2011; Lee & Lee, 2010; Vanzella & Schellenberg, 2010).

O que facilitaria a manifestação do OA na maioria das pessoas que iniciam cedo o treinamento musical? Assim como existe para a linguagem um período crítico para sua aquisição (Lenneberg, 1967), há também para o OA um período (aparentemente antes dos 7 anos de idade) no qual a exposição às notas musicais juntamente com seus rótulos correspondentes seria fundamental para a manifestação desse traço cognitivo (Russo, Windell, & Cuddy, 2003; Ward, 1999). A ideia de que a aquisição do OA aconteça apenas durante um estágio específico do amadurecimento é corroborada pelos altos índices de incidência de casos de OA adquiridos mais tardiamente por indivíduos cujo desenvolvimento mental ocorre mais lentamente, como indivíduos com Transtornos do Espectro Autista (TEA) (Brown et al., 2003; Heaton, Hermelin, & Pring, 1998) ou indivíduos com Síndrome de Williams (Lenhoff, Perales, & Hickok, 2001). Além disso, há muitos indícios de que os falantes de línguas tonais, como o chinês, são mais propensos à aquisição de OA, sugerindo que um foco atencional na altura dos sons durante o período de aquisição da fala facilitaria a manifestação do OA (Deutsch, Henthorn, & Dolson, 2004a, 2004b; Deutsch et al., 2006, 2009). Um estudo farmacológico recente (Gervain et al., 2013) mostrou que pessoas adultas às quais foi administrado *Valproato* — uma droga comumente usada para a epilepsia e transtorno bipolar, que através da alteração de processos celulares de neuroplasticidade pode induzir uma situação semelhante ao período crítico — adquiriram temporariamente OA, apresentando um desempenho ligeiramente melhor do que os controles placebo, proporcionando assim forte evidência para a hipótese do período crítico.

Se, por um lado, a experiência musical precoce parece ser fundamental para a aquisição do OA, por outro, nem todos os músicos que iniciam cedo o treinamento musical chegam efetivamente a desenvolvê-lo. Quais seriam as razões que impediriam alguns de manifestar essa capacidade, mesmo começando cedo o treinamento musical? Em primeiro lugar, convém lembrar que os chamados períodos críticos — assim como outros processos biológicos ou psicológicos — não têm balizamentos fixos que definem quando exatamente algo irá ocorrer, podendo existir, portanto, variações de um indivíduo para outro. Em segundo lugar, durante o chamado período crítico para a aquisição do OA, parece ser fundamental que haja uma ênfase nos rótulos correspondentes às diferentes alturas musicais (Takeuchi & Hulse, 1993). O tipo de treinamento musical, portanto, pode estar intimamente relacionado com a aquisição ou não do OA. Alguns dados sugerem que, na medida em que se aprende a perceber a música por meio do estabe-

lecimento de relações entre seus diversos componentes, a atenção deixa de ser colocada na percepção de alturas isoladas e passa progressivamente a ser colocada nas relações estabelecidas, formando conceitos mais complexos sobre o agrupamento de alturas musicais. Em outras palavras, quando a criança percebe que a relação entre as alturas é mais relevante para o entendimento da estrutura musical que a percepção das alturas separadamente, ela deixa de prestar atenção ao aspecto absoluto da altura do som (Takeuchi & Hulse, 1993). Essa transferência de foco dos aspectos absolutos de um único estímulo para as relações entre diferentes estímulos ocorre não somente no desenvolvimento musical, mas também em outras áreas como na linguagem (Gentner, 1988), no desempenho de tarefas espaciais (DeLoache, Sugarman, & Brown, 1985) e na compreensão numérica (Michie, 1985). Alguns investigadores postulam, portanto, que se o treinamento musical focalizar somente as relações entre os sons, sem associá-los aos seus rótulos, é muito provável que a criança não desenvolva o OA (Takeuchi & Hulse, 1993).

Por fim, outra possível explicação para o fato de nem todos os que iniciam cedo o treinamento musical possuírem OA seria a inexistência, nesses indivíduos, de alguma característica conferida geneticamente que pudesse lhes facilitar o desenvolvimento dessa habilidade. Algumas pesquisas recentes parecem apontar para essa direção. Estudos genômicos mostraram ligação entre OA e vários cromossomos, especialmente o cromossomo 8, sugerindo que é uma característica que envolve contribuições de vários genes (Theusch, Basu, & Gitschier, 2009; Theusch & Gitschier, 2011). Além disso, vários estudos mostraram existir um maior índice de portadores de OA entre membros de uma mesma família (Barhaloo, Johnston, Service, Gitschier, & Freimer, 1998; Barhaloo, Service, Risch, Gitschier, & Freimer 2000; Gregersen, et al., 2001). É extremamente comum irmãos apresentarem OA, sem necessariamente os pais serem músicos (Baharloo et al., 1998, 2000). Mais uma possível evidência em favor de uma explicação genética para o OA é a existência de *clusters* étnicos: Gregersen et al. (2001) observaram que há uma maior prevalência de OA em populações asiáticas. A maior concentração de indivíduos com OA nessas populações não pode ser atribuída somente a fatores sócio-culturais, uma vez que esse índice elevado ocorre também entre americanos que descendem de asiáticos (Gregersen et al., 1999). Falar uma língua tonal tampouco pode, por si só, explicar o elevado número de indivíduos portadores de OA nessas populações, pois nem todas as línguas asiáticas são tonais.

Resumidamente, a manifestação do OA parece efetivamente estar associada não apenas ao início precoce do treinamento musical (até

aproximadamente os 7 anos de idade), mas também à certa predisposição genética para essa habilidade.

## Ouvido absoluto, ouvido relativo e ouvido perfeito

Deve-se distinguir o OA do chamado ouvido relativo. Enquanto o OA é um traço cognitivo raro, o ouvido relativo é uma capacidade que todo músico treinado adquire. Esta capacidade permite identificar ou produzir “intervalos musicais” (distância entre duas notas). Quando, por exemplo, duas notas são apresentadas a um músico treinado, ele é capaz de identificar o intervalo musical formado entre elas (ex: terça menor, quinta justa, etc.), sem que seja capaz, no entanto, de identificar o nome de cada uma das notas isoladamente. Se lhe forem apresentadas, por exemplo, as notas Ré e Fá, ele será capaz de identificar o intervalo musical formado por essas duas notas como sendo uma terça menor, mas não identificará o nome de cada uma das notas separadamente. Se enganosamente lhe for dito que a primeira nota apresentada foi um Dó, ele calculará a distância de uma terça menor acima deste Dó e identificará a segunda nota como sendo um Mi bemol, sem provavelmente desconfiar que a informação que lhe foi dada estava incorreta. Por outro lado, se a um portador de OA for tocado um Ré e dito que é um Dó ele saberá imediatamente que a informação está incorreta.

Outra distinção que deve ser feita é entre os termos OA e ouvido perfeito. Na literatura encontra-se às vezes o termo “ouvido perfeito” (*perfect pitch*) usado indistintamente no lugar de “ouvido absoluto” (*absolute pitch*). Essa denominação é equivocada, uma vez que conduz o leitor a inferir que o OA seria um ouvido perfeito. É verdade que há algumas vantagens em possuir OA, mas há igualmente desvantagens e por isso não se pode dizer que OA seja um ouvido perfeito. Uma das vantagens seria ajudar a imaginar uma nota antes de tocá-la (em instrumentos onde as notas não estão prontas ou não podem ser visualizadas, como na trompa, por exemplo) ou cantá-la (sobretudo em obras atonais, onde não há uma tonalidade de referência). Entre as desvantagens, pode-se citar a grande dificuldade em tocar ou cantar em uma tonalidade diferente da tonalidade escrita. Para se ter uma ideia do transtorno que significa para um portador de OA ter que executar tal transposição (ler uma nota e ouvir ou cantar outra em seu lugar), Levitin e Rogers (2005, p. 27) sugerem que se faça a seguinte analogia: “imagine que você está em um mercado e que momentaneamente, devido a um distúrbio temporário em seu processamento visual, você passa a enxergar bananas cor de laranja, alfaces amarelas e maçãs roxas”. Essa sensação seria a mesma de um

portador de OA quando tem que fazer uma transposição ou tocar em um piano que esteja com a afinação meio tom abaixo da afinação padrão, por exemplo. Além disso, músicos com OA não são necessariamente mais precisos que bons músicos sem OA, quando têm que avaliar se uma determinada nota está ou não absolutamente afinada, quando comparada a um padrão (Levitin, 2004).

Na realidade, um “ouvido perfeito” estaria, portanto, mais próximo de um ouvido bem treinado, capaz de estabelecer relações entre diferentes aspectos da estrutura musical e não simplesmente capaz de identificar notas musicais de maneira absoluta e isolada. O compositor e organista canadense Healey Willan, muito pertinentemente, dizia que “em música, o ouvido absoluto tem importância relativa, mas o ouvido relativo é de absoluta importância” (Welch, 1993).

## Tipos de ouvido absoluto

Na literatura sobre o OA, muitos dos trabalhos publicados foram escritos por autores que aparentemente não possuíam OA. Alguns desses estudos abordam o fenômeno de maneira bastante generalizada, na medida em que parecem supor que exista um único tipo de OA. No entanto, os portadores dessa habilidade demonstram, com frequência, diferentes maneiras de perceber os sons, sugerindo a existência de diferentes graus ou diferentes tipos de OA, distribuídos ao longo de um *continuum*.

Pesquisas realizadas por Bachem (1937), ainda na primeira metade do século passado, apontam para a existência de várias categorias de OA. Segundo esse autor, em primeiro lugar, deve-se distinguir o “OA genuíno”, do “quase-OA” e do “pseudo-OA”. Entre eles, somente o primeiro, o “OA genuíno”, seria considerado verdadeiramente OA. O músico que tem um bom ouvido relativo e que tem apenas um tom interiorizado (como, por exemplo, a nota lá, 440 Hz, tom de referência na afinação da orquestra) teria o que Bachem chamou de “quase-OA”. O músico com “pseudo-OA”, por sua vez, seria aquele que possui a capacidade de fazer uma estimativa sobre a altura de uma nota com base em um treinamento intensivo. Bachem ressalta, contudo, que nesses casos a precisão e a rapidez na identificação das notas costumam ser significativamente inferiores que as apresentadas por portadores de “OA genuíno”.

Bachem indicou também que, mesmo entre portadores de “OA genuíno”, há diferenças significativas na percepção de alturas. Enquanto, por exemplo, a maioria dos portadores de OA é mais precisa na identificação de notas no registro médio do teclado,

violinistas são mais precisos nos registros mais agudos, violoncelistas nos registros mais graves e pianistas são mais precisos para as teclas brancas do que as teclas pretas (Miyazaki, 1989). Com relação à identificação de notas em diferentes timbres, observa-se que não é incomum portadores de OA apresentarem dificuldade em tons senoidais (Miyazaki, 1989; Vanzella & Schellenberg, 2010) e dificuldade ainda maior em timbres vocais (Vanzella & Schellenberg, 2010). Outros estudos descreveram igualmente diferenças significativas na percepção e identificação das notas musicais entre os portadores dessa habilidade. Esses trabalhos mostram que tanto a extensão da sensibilidade a timbres e registros como o grau de precisão e consistência na identificação e produção de diferentes alturas podem variar amplamente entre os indivíduos dessa categoria (Bermudez & Zatorre, 2009; Takeuchi & Hulse, 1993).

### Correlatos neurais do ouvido absoluto

Desde o século XIX pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento têm estudado o OA. Ao longo das duas últimas décadas, houve, contudo, um aumento significativo no número de publicações sobre o tema. Grande parte do renovado interesse em OA decorre de progressos metodológicos que proporcionam oportunidades para uma melhor compreensão das estruturas e dos mecanismos cerebrais, entre eles a percepção auditiva. Técnicas de neuroimagem desenvolvidas no decorrer das duas últimas décadas do século vinte revolucionaram o campo da neurofisiologia cerebral e tornaram-se indispensáveis para o entendimento das relações entre cérebro, cognição e comportamento. Com a possibilidade de visualizar de maneira clara estruturas e processos metabólicos, essas técnicas abriram perspectivas inéditas de investigação para a neurociência, ampliando as possibilidades de uma melhor compreensão dos mecanismos envolvidos em diferentes traços cognitivos, entre eles o OA.

Entre essas técnicas destacam-se o *Imageamento por Ressonância Magnética* (MRI), o *Imageamento Funcional por Ressonância Magnética* (fMRI) e a *Tomografia por Emissão de Pósitrons* (PET). Os mecanismos pelos quais são obtidas imagens cerebrais diferem, contudo, de uma técnica para outra. Enquanto a MRI é capaz de produzir, com grande definição, imagens de estruturas anatômicas encefálicas, a PET e a fMRI revelam o local de maior atividade metabólica no cérebro durante a realização de uma tarefa. Tanto a fMRI como a PET visualizam variações no fluxo sanguíneo cerebral (resposta hemodinâmica). Cada uma delas, porém, se utiliza de princípios distintos para

a obtenção das imagens e visualização das áreas ativadas. O princípio básico da PET consiste na detecção da radioatividade emitida por marcadores injetados na corrente sanguínea, que se acumulam nas regiões cerebrais envolvidas na execução da tarefa em questão. As imagens da fMRI, por outro lado, são obtidas utilizando um mecanismo de contraste que depende do nível de oxigenação do sangue cerebral, conhecido como efeito BOLD (*Blood Oxygen Level Dependent*). Em outras palavras, quando uma ou mais regiões cerebrais são ativadas ao realizar uma determinada tarefa (como, por exemplo, ouvir uma música) ocorre naquelas áreas uma variação na oxigenação ligada à atividade neuronal (Ogawa, Lee, Nayak & Glynn, 1990) e essa variação é revelada pela fMRI.

A literatura apresenta, hoje, cerca de duas dezenas de estudos sobre OA que adotaram técnicas de neuroimagem na tentativa de identificar os correlatos neurais dessa habilidade. Esses estudos vêm revelando alguns dos mecanismos e estruturas cerebrais responsáveis pela percepção de alturas em portadores de OA e, ao mesmo tempo, mostrando que estes indivíduos possuem uma circuitaria cerebral peculiar.

## Particularidades neuroanatômicas

Pesquisas feitas com MRI mostraram que existem diferenças anatômicas entre portadores e não portadores de OA. Uma acentuada assimetria hemisférica (em favor do lado esquerdo) em uma região cerebral denominada *planum temporale* (PT) foi identificada apenas em músicos com OA, comparados a músicos sem OA e a não músicos (Schlaug, Jancke, Huang, & Steinmetz, 1995; Zatorre, Perry, Beckett, Westbury, & Evans, 1998; Keenan, Thangaraj, Halpern, & Schlaug, 2001; Hamilton, Pascual-Leone, & Schlaug, 2004; Wilson, Lusher, Wan, Dudgeon, & Reutens, 2008). O PT está situado em uma região do lobo temporal, no córtex auditivo, que coincide com a área de Wernicke, responsável pela compreensão da linguagem. É importante observar que sujeitos destros normais exibem naturalmente uma assimetria esquerda de PT (Steinmetz, 1996). No entanto, a assimetria apresentada pelo grupo de músicos com OA (também destros) mostrou-se significativamente maior que a usual.

Um outro estudo também observou uma elevada assimetria esquerda de PT ao comparar músicos com OA ( $n=10$ ) com uma amostra de sujeitos destros não selecionados com relação à habilidade musical ( $n=50$ ). Além disso, os autores verificaram que quanto maior o volume do PT nos portadores de OA, melhor o desempenho

no teste de OA aplicado durante a investigação (Zatorre et al., 1998). Resultados recentes de comparações da espessura cortical entre portadores e não portadores de OA convergem com as conclusões de estudos anteriores ao mostrar maior espessura cortical no giro temporal superior esquerdo (STG) em portadores de OA, comparados com controles sem OA (Dohn et al., 2013).

A origem dessa assimetria é, contudo, desconhecida. Para investigar se ela poderia ser causada pelo início precoce do treinamento musical, Keenan et al. (2001) selecionaram para suas amostras somente músicos (com e sem OA) que haviam começado a estudar música em tenra infância, até no máximo os 7 anos de idade. Os resultados obtidos mostraram que somente os músicos com OA apresentavam maior assimetria esquerda de PT, indicando que não é a exposição precoce ao treinamento musical que determina essa característica anatômica. Os resultados também mostraram que a assimetria esquerda observada em músicos com OA era resultado não de um PT esquerdo maior, mas de um PT direito significativamente menor em números absolutos. De acordo com os autores, esses resultados podem indicar que a “poda neuronal” (redução natural no volume de neurônios durante os primeiros anos de desenvolvimento) do PT direito acaba resultando em uma elevada assimetria esquerda de PT, constituindo-se um marcador anatômico do OA. Embora ainda não esteja claro o que desencadeia tal poda no PT direito, os autores sugerem que talvez possam ser os mesmos fatores genéticos que determinam a especialização hemisférica, e que crianças com elevada assimetria esquerda de PT tenham grande propensão a apresentar OA, se forem expostas a um treinamento musical adequado em tenra idade.

Um achado interessante foi relatado por Bermudez e Zatorre (2009), cujo estudo chama a atenção para áreas do cérebro fora do PT. Esse estudo revelou uma redução da espessura cortical em várias regiões cerebrais de músicos com OA e, ao mesmo tempo, não encontrou a mesma assimetria de PT descrita em estudos anteriores. Ao ampliar o foco de investigação para além do PT, este estudo aponta para potenciais áreas cerebrais a serem futuramente investigadas sobre as correlações anatômicas e funcionais do OA.

## Particularidades neurofisiológicas

Além das características anatômicas descritas acima, identificadas através de MRI em indivíduos com OA, processos metabólicos — indicativos de atividade neuronal aumentada — envolvidos no

processamento tonal em portadores dessa habilidade foram identificados por meio de fMRI ou PET. Conforme dito anteriormente, essas técnicas permitem a visualização das áreas cerebrais recrutadas para a realização de uma determinada tarefa.

Uma das regiões cerebrais que tem sido associada ao processamento tonal por meio do OA é o córtex frontal dorsolateral (CFDL). Ao analisar as ativações cerebrais de músicos com e sem OA, um primeiro estudo constatou que somente sujeitos com OA apresentavam ativação no CFDL posterior esquerdo enquanto ouviam passivamente pares de tons, tocados um após o outro (Zatorre et al, 1998). Quando, contudo, a tarefa era de identificar os intervalos formados por aqueles pares de tons, tanto indivíduos com OA como sem OA apresentaram ativação naquela mesma área. Normalmente observa-se atividade no CFDL em situações que requerem a associação entre um estímulo e um rótulo, estando fortemente vinculado à memória associativa (Halsband & Passingham, 1985; Lepage, Brodeur, & Bourgouin, 2003). Uma vez que tanto músicos com como sem OA são capazes de fazer esse tipo de associação, houve ativação no CFDL esquerdo em ambos os grupos nessa tarefa específica. Por outro lado, como somente músicos com OA associam automaticamente um nome a qualquer nota que ouvem, somente estes apresentaram ativação no CFDL posterior esquerdo quando a tarefa era apenas ouvir passivamente os pares de tons.

Em um trabalho posterior, foram observados os padrões de ativação cerebral de músicos e não músicos durante a escuta de um determinado trecho musical (Onishi et al., 2001). Ao ouvirem passivamente um excerto do Concerto Italiano de J. S. Bach durante uma sessão de fMRI, músicos e não músicos apresentaram ativações em áreas corticais bastante distintas. Enquanto em não músicos a atividade predominante foi no córtex temporal direito, em músicos houve maior ativação no córtex temporal esquerdo. Além disso, comparados aos não músicos, os músicos apresentaram maior ativação no PT e no CFDL posterior esquerdo. Como mais de dois terços dos músicos investigados nessa amostra eram portadores de OA, esses resultados possivelmente refletem características que talvez sejam específicas dos portadores dessa habilidade. A ativação no CFDL posterior esquerdo corroborou, portanto, os achados do estudo anterior.

Esse trabalho de Onishi e colegas mostrou, ainda, uma significativa correlação linear negativa entre a idade de início do treinamento musical e o grau de ativação no PT esquerdo. Além disso, pôde estabelecer uma importante correlação linear positiva entre o desempenho dos músicos da amostra em um teste de OA e o grau de ativação no CFDL posterior esquerdo. Em outras palavras, quanto

mais cedo o início do treinamento musical, maior a ativação no PT; e quanto melhor o desempenho no teste de OA aplicado, maior a ativação no CFDL posterior esquerdo.

O estudo de Zatorre et al. (1998) havia apresentado a hipótese de um envolvimento do CFDL posterior em tarefas que requerem o uso de memória associativa para identificação de alturas musicais em sujeitos com OA. Bermudez e Zatorre (2005) buscaram confirmar essa hipótese, utilizando em seu estudo uma amostra de indivíduos não músicos apenas. Elaboraram uma tarefa que tinha como objetivo reproduzir em não músicos a utilização de um mecanismo análogo àquele utilizado por portadores de OA na identificação de tons e, através de fMRI, observaram o envolvimento do CFDL na execução daquela tarefa. Para isso, treinaram 8 sujeitos, sem nenhuma experiência musical formal, a associar quatro tríades distintas (maior, menor, aumentada e diminuta) a quatro números (1–4). Do mesmo modo que, no estudo de Zatorre et al. (1998), sujeitos com OA manifestavam ativação no CFDL ao associar automaticamente um estímulo (ex: 440Hz) a um rótulo (ex: Lá), esperava-se que os sujeitos não músicos deste novo experimento, após um treinamento, ao associar cada uma das tríades a seu respectivo número, também apresentassem ativação naquela mesma área. Foram realizadas duas sessões de fMRI, uma antes e outra após o treinamento e, de fato, pôde-se observar, na sessão pós-treinamento, uma ativação bilateral no CFDL posterior. A importância desse experimento reside no fato de revelar que parte da cadeia de processamento envolvida na identificação de tons através do OA — o pareamento associativo de uma dimensão de um estímulo a um rótulo e o acesso a essa informação — é uma habilidade universal e envolve substratos neurais comuns a indivíduos com OA e não músicos.

Conforme mencionado anteriormente, alguns estudos comportamentais descrevem diferenças significativas na percepção de tons dentro do grupo de músicos com OA, indicando diferentes graus da mesma habilidade. Como a maioria dos traços humanos, o OA não é uma habilidade bimodal, porém distribuída ao longo de um *continuum* (Levitin & Rogers, 2005). O termo "ouvido quase absoluto" (OQA) tem sido utilizado por alguns pesquisadores para descrever os indivíduos que se enquadram em algum ponto entre as extremidades desse *continuum*. Alguns indivíduos com OQA são capazes, por exemplo, de identificar notas, sem nenhuma referência, em um único instrumento apenas. Outros identificam somente uma (ou algumas) nota(s) e, quando precisam dar nomes às outras, recorrem ao ouvido relativo para fazê-lo (Bachem, 1937; Levitin & Rogers, 2005). Wilson et al. (2008) estudaram três grupos de músicos: com

OA, com OQA e sem OA e verificaram um pico significativo de ativação na extensão posterior do STG esquerdo apenas em músicos com OA durante o desempenho de uma tarefa de identificação de alturas musicais. Uma análise combinando o grupo de músicos com OA com o grupo de músicos com OQA revelou uma extensa ativação adicional no hemisfério direito e nas regiões frontotemporais (bilateralmente), áreas previamente associadas a tarefas de discriminação de alturas e à memória operacional auditiva (Zatorre, Evans, & Meyer, 1994). Esse recrutamento de uma rede neural mais extensa durante o processo de identificação de alturas reflete a variação no grau de precisão entre os indivíduos com OA e indivíduos com OQA. Em outras palavras, quanto mais baixo o desempenho na tarefa de identificação de alturas, maior o envolvimento do hemisfério direito e de estruturas relacionadas à memória operacional.

A relação entre memória operacional e processamento auditivo de alturas tonais foi abordada em estudo subsequente, no qual músicos com e sem OA também foram comparados através de fMRI, porém por meio de uma tarefa de memória tonal (Schulze, Gaab, & Schlaug, 2009). Nesse experimento, os participantes escutavam uma sequência de notas que tinham que reter na memória para em seguida identificar se a última nota apresentada era igual ou diferente da primeira nota da sequência. É importante ressaltar que músicos com OA, durante a fase inicial de codificação perceptual, mostraram uma maior ativação do sulco temporal superior (STS) esquerdo, uma área importante para a categorização de informação. Por outro lado, os músicos sem OA mostraram mais atividade no lobo parietal, região normalmente envolvida em estratégias de associação espacial entre alturas musicais e configuração espacial. Conjuntamente, esses resultados indicam que músicos com e sem OA empregam estratégias cognitivas distintas na identificação e categorização de alturas. Músicos sem OA usam memória operacional tonal e/ou codificação multimodal para realizar uma tarefa de memorização de alturas, enquanto músicos com OA usam um mecanismo de categorização automática.

Esses estudos nos fazem questionar se eventualmente existiriam correlações entre o OA e outros aspectos cognitivos ou, ainda, se o OA poderia ser uma manifestação no domínio musical de elementos mais amplos da cognição. São recentes os primeiros estudos a investigar por neuroimagem a existência de possíveis correlações nesse sentido. Oechslin, Meyer e Jäncke (2010a), por exemplo, encontraram diferenças fisiológicas significativas entre não músicos e músicos com e sem OA em termos de processamento da fala. Músicos com OA, comparados a músicos sem OA e não músicos em uma tarefa lé-

xico-semântica apresentaram ativação mais forte na parte posterior do STS esquerdo. Por outro lado, tanto os músicos com OA como os sem OA mostraram atividade bilateral mais forte no giro temporal medial (MTG) posterior em todas as condições do experimento. Esses resultados sugerem que, embora a formação musical leve a maiores ativações bilaterais no MTG em qualquer processamento de som, o OA de fato influencia a percepção da fala, estando associado mais especificamente a um rápido acesso e atribuição de categorias aos sons, função esta provavelmente conferida pelo STS esquerdo.

No domínio das relações entre música e emoção, um estudo bastante recente investigou por meio de fMRI os correlatos neurais de julgamentos emocionais de músicos com e sem OA ao ouvirem estímulos musicais familiares (Loui, Zamm, & Schlaud, 2012a). Clipes curtos contendo trechos musicais foram apresentados a esses indivíduos que avaliaram o nível de excitação provocado por cada um deles. Os resultados desse trabalho mostraram um aumento significativo da atividade neuronal em portadores de OA no STG estendendo-se para o STS, no giro precentral (envolvido na saída motora da tarefa), e no hipocampo, amígdala e área tegmental ventral (áreas reconhecidas por desempenharem papéis importantes no processamento de memória e recompensa). Todas essas elevadas ativações funcionais em regiões auditivas, emocionais e de recompensa foram observadas sem que houvesse quaisquer diferenças comportamentais entre os grupos (indivíduos com e sem OA mostraram desempenho semelhante na tarefa de classificação emocional). Esses resultados sugerem que indivíduos com OA podem perceber música de um modo mais gratificante ou que podem haver diferenças de conectividade funcional que são intrínsecas ao OA sem que haja necessariamente qualquer relação com uma tarefa específica.

## Algumas conclusões

Em conjunto, os estudos aqui mencionados apontam para a existência de aspectos anatômicos e fisiológicos que caracterizam portadores de OA. Contudo, esses estudos apresentam diferenças metodológicas — com relação não somente aos procedimentos, tarefas e paradigmas adotados, mas, também, à seleção das amostras (especialmente nos critérios de avaliação para seleção de portadores de OA) — que apontam para a necessidade de realização de outras pesquisas que possam confirmar ou esclarecer alguns desses achados.

Nos estudos que recorreram à utilização de PET ou fMRI, por exemplo, a adoção de diferentes desenhos experimentais às vezes torna complicada a comparação de resultados, pois a execução de tarefas distintas, ainda que ligeiramente, pode levar à ativação (ou à não ativação) de diferentes áreas cerebrais. Outro aspecto não menos importante é a diferença nos critérios para a seleção dos participantes. Alguns estudos aqui apresentados se basearam na declaração de indivíduos sobre sua capacidade de produzir e reconhecer qualquer altura musical sem referência externa, outros utilizaram testes de produção (entonação) ou de identificação de notas musicais, porém usando estímulos em timbres distintos. Conforme comentado anteriormente, a literatura descreve variações significativas na percepção de alturas dentro do grupo de portadores de OA, apontando para diferentes graus dessa mesma habilidade. Sabe-se que essas variações ocorrem tanto no que se refere à extensão da sensibilidade a timbres e registros como no que se refere ao grau de precisão e consistência na identificação e produção de tons (Takeuchi & Hulse, 1993; Vanzella & Schellenberg, 2010). É importante, pois, enfatizar que os resultados obtidos nesses trabalhos devem ser interpretados à luz das características dos participantes selecionados. Sujeitos que conseguem reconhecer tons no timbre do piano, não necessariamente os reconheceriam se produzidos como ondas senoidais ou ondas “dentes de serra”. Esses indivíduos, portanto, selecionados para compor grupos de sujeitos com OA, poderiam eventualmente apresentar diferentes resultados se comparados entre si.

De toda forma, o corpo de conhecimento acumulado através de mais de um século de pesquisa, pontencializadas nas últimas décadas pelas técnicas de imageamento, sugere que o OA seja um fenômeno perceptual caracterizado por uma habilidade de categorização relativamente automática e independente da memória operacional, que decorre de uma interação entre fatores inatos e experienciais, que compartilha algumas características em comum com outros grupos especiais (TEA, Síndrome de Williams), e que é caracterizado por redes neurais especializadas.

Além das técnicas de imageamento apresentadas neste trabalho, o uso de outros recursos utilizados hoje pela neurociência cognitiva, como a eletroencefalografia e, mais recentemente, o mapeamento genético e o DTI (*Diffusion Tensor Imaging*), vêm trazendo igualmente novos *insights* com relação às origens, à arquitetura e ao funcionamento do cérebro dos portadores de OA (Parkinson et al., 2014; Elmer, Sollberger, Meyer, & Jäncke, 2013; Itoh, Suwazono, Arao, Miyazaki, & Nakada, 2005; Hirose et al., 2002; Renninger, Granot, & Donchin, 2003; Hirata, Kuriki, & Pantev, 1999; Hantz, Kreilick, Braveman, & Swartz, 1995; Crummer, Walton, Wayman, Hantz, &

Frisina, 1994; Tervaniemi, Alho, Paavilainen, & Sams, 1993; Wayman et al., 1992; Klein, Coles, & Donchin, 1984; Theusch, et al., 2009; Theusch & Gitschier, 2011; Dohn et al., 2013; Loui, Li, Hohmann, & Schlaug, 2011; Loui et al., 2012b; Oechslin, Imfeld, Loenneker, Meyer, & Jäncke, 2010b).

Na medida em que começam a surgir evidências de correlações entre o OA e outros aspectos cognitivos (como, por exemplo, o processamento da linguagem), abrem-se perspectivas de novas pesquisas para estabelecer se, e em que medida, esta habilidade única pode efetivamente se transferir para outros domínios não musicais ou, ainda, se o OA poderia ser uma manifestação no domínio musical de elementos mais amplos da cognição.

Por fim, cabe ressaltar que as diferenças entre um portador e um não portador de OA estão além da cóclea, e não em estruturas mais periféricas; situam-se em caminhos e conexões dentro do cérebro que fazem com que essa habilidade peculiar possa existir.

## Referências

- Abraham, O. (1901). Das absolute Tonbewusstsein. *Internationale Musikgesellschaft; Sammelbande*, 3, 1–86.
- Bachem, A. (1937). Various types of Absolute Pitch. *Journal of the Acoustical Society of America*, 9, 146–151.
- Bachem, A. (1940). The genesis of absolute pitch. *Journal of the Acoustical Society of America*, 11, 434–439.
- Bachem, A. (1955). Absolute pitch. *Journal of the American Acoustical Society of America*, 27, 1180–1185.
- Baggaley, J. (1974). Measurements of Absolute Pitch: A confused field. *Psychology of Music*, 2, 11–17.
- Baharloo, S.; Johnston, P. A.; Service, S. K.; Gitschier, J., & Freimer, N. B. (1998). Absolute pitch: An approach for identification of genetic and nongenetic components. *American Journal of Human Genetics*, 62, 224–231.
- Baharloo, S.; Service, S. K., Risch, N., Gitschier, J., & Freimer, N. B. (2000). Familial aggregation of absolute pitch. *American Journal of Human Genetics*, 67, 755–758.
- Bermudez, P., & Zatorre, R. J. (2005). Conditional associative memory for musical stimuli in nonmusicians: Implications for absolute pitch. *Journal of Neuroscience*, 25, 7718–7723.
- Bermudez, P., & Zatorre, R. J. (2009). A distribution of absolute pitch ability as revealed by computerized testing. *Music Perception*, 27, 89–101.

- Bharucha, J. J. (1992). Tonality and learnability. In M. R. Jones & S. Holleran (Eds.), *Cognitive bases of musical communication* (pp. 213–223). Washington, DC: American Psychological Association.
- Brady, P. T. (1970). Fixed-scale mechanism of absolute pitch. *Journal of the Acoustical Society of America*, 48, 883–887.
- Brown, W. A., Cammuso, K., Sachs, H., Winklosky, B., Mullane, J., Bernier, R., ... Folstein, S. E. (2003). Autism-related language, personality, and cognition in people with absolute pitch: Results of a preliminary study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 33, 163–167.
- Chin, C. S. (2003). The development of absolute pitch: A theory concerning the roles of music training at an early developmental age and individual cognitive style. *Psychology of Music*, 31, 155–171.
- Chouard, C. H., & Sposetti, R. (1991). Environmental and electrophysiological study of absolute pitch. *Acta Otolaryngologica*, 111, 225–230.
- Copp, E. F. (1916). Musical ability. *Journal of Heredity*, 7, 297–305.
- Costa-Giomi, E., Gilmour, R., Siddell, J., & Lefebvre, E. (2001). Absolute pitch, early music training and spatial abilities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 394–396.
- Crummer, G. C., Walton, J. P., Wayman, J. W., Hantz, E. C., & Frisina, R. D. (1994). Neural processing of musical timbre by musicians, nonmusicians, and musicians possessing absolute pitch. *Journal of the Acoustic Society of America*, 95, 2720–2727.
- Cuddy, L. L. (1968). Practice effects in the absolute judgment of pitch. *Journal of the Acoustical Society of America*, 43, 1069–1076.
- Cuddy, L. L. (1970). Training the absolute identification of pitch. *Perception & Psychophysics*, 8, 265–269.
- DeLoache, J. S., Sugarman, S., & Brown, A. L. (1985). The development of error correction strategies in young children's manipulative play. *Child Development*, 56, 928–939.
- Deutsch, D. (2006). O quebra-cabeça do ouvido absoluto. *Cognição & Artes Musicais / Cognition & Musical Arts*, 1, 16–21.
- Deutsch, D., Dooley, K., Henthorn, T., & Head, B. (2009). Absolute pitch among students in an American music conservatory: Association with tone language fluency. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125, 2398–2403.
- Deutsch, D., Henthorn, T., & Dolson, M. (2004a). Absolute pitch, speech, and tone language: Some experiments and a proposed framework. *Music Perception*, 21, 339–356.
- Deutsch, D., Henthorn, T., & Dolson, M. (2004b). Speech patterns heard early in life influence later perception of the tritone paradox. *Music perception*, 21, 357–372.
- Deutsch, D., Henthorn, T., Marvin, E., & Xu H-S. (2006). Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: Prevalence differences, and evidence for a speech-related critical period. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119, 719–722.
- Dohn, A., Garza-Villarreal, E. A., Chakravarty, M. M., Hansen, M., Lerch, J. P., & Vuust, P. (2013). Gray- and White-Matter Anatomy of Absolute

- Pitch Possessors. *Cerebral Cortex*. doi: 10.1093/cercor/bht334.
- Dooley, K., & Deutsch, D. (2010). Absolute pitch correlates with high performance on musical dictation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 128, 890–893.
- Dooley, K., & Deutsch, D. (2011). Absolute pitch correlates with high performance on interval naming tasks. *Journal of the Acoustical Society of America*, 130, 4097–4104.
- Elmer, S., Sollberger, S., Meyer, M., & Jäncke, L. (2013). An empirical re-evaluation of absolute pitch: behavioural and electrophysiological measurements. *Journal of Cognitive Neuroscience*. doi:10.1162/jocn\_a\_00410.
- Gentner, D. (1988). Metaphor as structure mapping: The relational shift. *Child Development*, 59, 47–59.
- Germano, N. G., Vanzella, P., Benassi-Werke, M., & Oliveira, M. G. M. (2013). Categorização de ouvido absoluto em estudantes de música de nível universitário das cidades de São Paulo e Brasília. *Anais do IX Simpósio de Cognição e Artes Musicais*, 21–32.
- Gervain, J., Vines, B. W., Chen, L. M., Seo, R. J., Hensch, T. K., Werker, J. F., & Young, A. H. (2013). Valproate reopens critical-period learning of absolute pitch. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 7, 102.
- Gough, E. (1922). The effects of practice on judgment of absolute pitch. *Archives of Psychology, New York*, 7(47), 93.
- Gregersen, P. K., Kowalsky, E. Kohn, N., & Marvin, E. W. (1999). Absolute pitch: Prevalence, ethnic variation, and estimation of the genetic component. *American Journal of Medical Genetics*, 65, 911–913.
- Gregersen, P. K., Kowalsky, E. Kohn, N., & Marvin, E. W. (2001). Early childhood music education and predisposition to absolute pitch: Teasing apart genes and environment. *American Journal of Medical Genetics*, 98, 280–282.
- Halsband, U., & Passingham, R. E. (1985). Premotor cortex and the conditions for movement in monkeys (*Macaca fascicularis*). *Behavioural Brain Research*, 18, 269–277.
- Hamilton, R. H., Pascual-Leone, A., & Schlaug, G. (2004). Absolute pitch in blind musicians. *Neuroreport*, 15, 803–806.
- Handel, S. (1989). *Listening: An introduction of the perception of auditory events*. Cambridge: MIT Press.
- Hantz, E. C., Kreilick, K. G., Braveman, A. L., & Swartz, K. P. (1995). Effects of musical training and absolute pitch on a pitch memory task: An event-related potential study. *Psychomusicology*, 14, 53–76.
- Heaton, P., Hermelin, B., & Pring, L. (1998). Autism and pitch processing: A precursor for savant musical ability. *Music Perception*, 15, 291–305.
- Hirata, Y., Kuriki, S., & Pantev, C. (1999). Musicians with absolute pitch show distinct neural activities in the auditory cortex. *Neuroreport*, 10, 999–1002.
- Hirose, H., Kubota, M., Kimura, I., Ohsawa, M., Yumoto, M., & Sakakihara, Y. (2002). People with absolute pitch process tones with producing P300. *Neurosciences Letters*, 330, 247–250.

- Itoh, K., Suwazono, S., Arao, H., Miyazaki, K. & Nakada, T. (2005). Electro-physiological correlates of absolute pitch and relative pitch. *Cerebral Cortex*, *15*, 760–769.
- Keenan, J.P., Thangaraj, V., Halpern, A.R. & Schlaug, G. (2001). Absolute pitch and planum temporale. *Neuroimage*, *14*, 1402–1408.
- Klein, M., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1984). People with absolute pitch process tones without producing a P300. *Science*, *223*, 1306–1309.
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (1990). *Fundamentals of human neuropsychology*. (3<sup>rd</sup>. ed.) New York: Freeman.
- Lee, C. Y., & Lee, Y. F. (2010). Perception of musical pitch and lexical tones by Mandarin-speaking musicians. *Journal of the Acoustics Society of America*, *127*, 481–490.
- Lenhoff, H. M., Perales, O., & Hickok, G. (2001). Absolute pitch in Williams Syndrome. *Music Perception*, *18*, 491–503.
- Lenneberg, E. H. (1967). *Biological foundations of language*. New York: Wiley.
- Lepage, M., Brodeur, M., & Bourgeois, P. (2003). Prefrontal cortex contribution to associative recognition memory in humans: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, *346*, 73–76.
- Levitin, D. J. (1994). Absolute memory for musical pitch: Evidence from the production of learned melodies. *Perception & Psychophysics*, *56*, 414–423.
- Levitin, D. J. (2004). L’Oreille Absolue: Autoréférencement et Mémoire. *L’Année psychologique*, *104*, 103–120.
- Levitin, D. J., & Rogers, S. E. (2005). Absolute pitch: perception, coding, and controversies. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*, 1.
- Loui, P., Li, H. C., Hohmann, A. & Schlaug, G. (2011). Enhanced connectivity in absolute pitch musicians: A model of hyperconnectivity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(4), 1015–1026.
- Loui, P., Zamm, A., & Schlaug, G. (2012a). Enhanced functional networks in Absolute Pitch. *NeuroImage*, *63*, 632–640.
- Loui, P., Zamm, A. & Schlaug, G. (2012b). Enhanced functional networks in Absolute Pitch. *NeuroImage*, *63*(2), 632–640.
- Meyer, M. (1899). Is the memory of absolute pitch capable of development by training? *Psychological Review*, *6*, 514–516.
- Michie, S. (1985). Development of absolute and relative concepts of number in preschool children. *Developmental Psychology*, *21*, 247–252.
- Miyazaki, K. (1988). Musical pitch identification by absolute pitch possessors. *Perception & Psychophysics*, *44*, 501–512.
- Miyazaki, K. (1989). Absolute pitch identification: Effects of timbre and pitch region. *Music perception*, *7*, 1–14.
- Mull, H. K. (1925). The acquisition of absolute pitch. *American Journal of Psychology*, *36*, 469–493.
- Oechslin, M. S., Meyer, M. & Jäncke, L. (2010a). Absolute pitch – Functional evidence of speech-relevant auditory acuity. *Cerebral Cortex*, *20*, 447–455.
- Oechslin, M. S., Imfeld, A., Loenneker, T., Meyer, M. & Jäncke, L. (2010b). The plasticity of the superior longitudinal fasciculus as a function of

- musical expertise: a diffusion tensor imaging study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3, 1–12.
- Ogawa, S., Lee, T. M., Nayak, A. S. & Glynn, P. (1990). Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields. *Magnetic Resonance in Medicine* 14, 68–78.
- Onishi, T., Matsuda, H., Asada, T., Aruga, M., Hirata, M., Nishikawa, M., Katoh, A., Imabayashi, E. (2001). Functional anatomy of musical perception in musicians. *Cerebral Cortex*, 11, 754–760.
- Parkinson, A. L., Behroozmand, R., Ibrahim, N., Korzyukov, O., Larson, C. R., & Robin, D. A. (2014) Effective connectivity associated with auditory error detection in musicians with absolute pitch. *Front. Neurosci*, 8(46). doi: 10.3389/fnins.2014.00046.
- Parncutt, R., & Levitin, D. J. (2001). Absolute Pitch. In S. Sadie (Ed.) *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*. Grove, 37–39.
- Pierce, J. R. (1983). *The science of musical sound*. New York: Scientific American Books/Freeman
- Profita, J., & Bidder, T. G. (1988). Perfect pitch. *American Journal of Medical Genetics*, 29, 763–771.
- Renninger, L. B., Granot, R. I., & Donchin, E. (2003). Absolute pitch and the P300 component of the event-related potential: An exploration of variables that may account for individual differences. *Music Perception*, 20(4), 357–382.
- Révész, G. (1913). *Zur Grundlegung der Tonpsychologie*. Leipzig: Veit.
- Rush, M. A. (1989). *An experimental investigation of the effectiveness of training on absolute pitch in adult musicians* (Unpublished doctoral dissertation). Ohio State University, Columbus.
- Russo F. A., Windell, D. L., & Cuddy, L. L. (2003). Learning the “special note”: Evidence for a critical period for absolute pitch acquisition. *Music Perception*, 21(1), 119–127.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H, (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267, 699–701.
- Schulze, K., Gaab, N., & Schlaug, G. (2009). Perceiving pitch absolutely: comparing absolute and relative pitch possessors in a pitch memory task. *BMC Neuroscience*, 10, 106.
- Sergeant, D. C. (1969). Experimental investigation of absolute pitch. *Journal of Research in Music Education*, 17, 135–143.
- Sergeant, D. C., & Roche, S. (1973). Perceptual shifts in the auditory information processing of young children. *Psychology of Music*, 1, 39–48.
- Steinmetz, H. (1996). Structure, function and cerebral asymmetry: In vivo morphometry of the Planum Temporale. *Neurosci Biobehav Rev*, 20, 587–591.
- Takeuchi, A. H. (1989). *Absolute pitch and response time: The processes of absolute pitch identification* (Unpublished master’s thesis). Johns Hopkins University, Baltimore, MD.
- Takeuchi, A. H. & Hulse, S. H. (1993). Absolute pitch. *Psychological Bulletin*, 113(2), 345–361.

- Tervaniemi, M., Alho, K., Paavilainen, P., & Sams, M. (1993). Absolute pitch and event-related brain potentials. *Music Perception, 10*, 305–316.
- Theusch, E., Basu, A., & Gitschier, J. (2009). Genome-wide study of families with absolute pitch reveals linkage to 8q24.21 and locus heterogeneity. *American Journal of Human Genetics, 85*, 112–119.
- Theusch, E., & Gitschier, J. (2011). Absolute pitch twin study and segregation analysis. *Twin Research and Human Genetics, 14*, 173–178.
- Vanzella, P., Benassi-Werke, M. E., Germano, N. G., & Oliveira, M. G. M. (2009). Prevalence and categories of absolute pitch in music schools in Brazil. *Abstracts presented at the International Neuropsychological Society, Finnish Neuropsychological Society, Joint Mid-Year Meeting, Helsinki, Finland & Tallin, Estonia, 47*.
- Vanzella, P.; Benassi-Werke, M. E., & Oliveira, M. G. M. (2008). Incidência e categorização de ouvido absoluto em estudantes de música da Universidade de Brasília. *Anais do IV Simpósio de Cognição e Artes Musicais, 46–53*.
- Vanzella, P., & Schellenberg, G. E. (2010). Absolute Pitch: Effects of Timbre on Note-Naming Ability. *PLoS ONE 5*(11), e15449. doi:10.1371/journal.pone.0015449.
- Vitouch, O. (2003). Absolutist models of absolute pitch are absolutely misleading. *Music perception, 21*, 111–117.
- Ward, W. D. (1963). Absolute pitch: Part II. *Sound, 2*, 33–41.
- Ward, W. D. (1999). Absolute Pitch. In D. Deutsch (Ed.), *The Psychology of Music* (pp. 265–298). San Diego: Academic Press.
- Watt, H. J. (1917). *The psychology of sound*. London & New York: Cambridge University Press.
- Wayman, J. W., Frisina, R. D., Walton, J. P., Hantz, E. C., & Crummer, G. C. (1992). Effects of musical training and absolute pitch ability on event-related activity in response to sine tones. *Journal of the Acoustical Society of America, 91*, 3527–3531.
- Wedell, C. H. (1934). The nature of the absolute judgment of pitch. *Journal of Experimental Psychology, 17*, 485–503.
- Welch, J. P. (1993). A consideration of the inheritance of musical talent on the occasion of the Mozart Bicentenary. *Dalhousie Review 73*, 153–165.
- Wellek, A. (1963). *Musikpsychologie und Musikästhetik: Grundriss der systematischen Musikwissenschaft*, Akadenucher Verlag, Frankfurt.
- Wilson, S. J., Lusher, D., Wan, C. Y., Dudgeon, P., & Reutens, D. C. (2008). The neurocognitive components of pitch processing: insights from absolute pitch. *Cerebral Cortex 19*, 724–732.
- Zatorre, R. J. (2003). Absolute pitch: a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function. *Nature Neuroscience 6*(7), 692–695.
- Zatorre, R. J., Evans, A. C., & Meyer, E. (1994). Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *Journal of Neuroscience, 14*, 1908–1919.
- Zatorre, R. J., Perry, D. W., Beckett, C. A., Westbury, C. F., & Evans, A. (1998). Functional anatomy of musical processing in listeners with ab-

solute pitch and relative pitch. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 95, 3172–3177.