

O Aprendizado do Canto e Neuroplasticidade

Feedback Auditivo-motor, Interferência Neural e Adaptação a Diferentes Estilos Vocais

JEAN CARLOS GORGES¹, ANA PAULA MACHADO DE OLIVEIRA²,
ISABEL MONTEIRO DA COSTA³, MARIA DA ASSUNÇÃO COELHO DE
MATOS⁴, ISABEL MARIA DE OLIVEIRA ALCOBIA⁵

Resumo: Este estudo investiga o papel da neuroplasticidade através do Feedback Auditivo-motor e Interferência Neural no aprendizado do canto e os desafios relacionados à transição entre diferentes estilos vocais. A partir de uma revisão narrativa de literatura, são analisados os mecanismos neuromotores, auditivos e cognitivos que regulam a voz cantada, com ênfase na interferência neural e no feedback auditivo-motor gerado pela especialização em um único estilo durante o aprendizado. Fundamentado em referenciais de neurociência aplicada à música, voz e cognição motora, o artigo explica que o fortalecimento de padrões motores específicos para um estilo vocal dificulta a adaptação estilística, exigindo reconfiguração dos circuitos motores e auditivo-motores. Como conclusão, destaca-se a necessidade de estratégias pedagógicas que favoreçam a flexibilidade vocal, além da recomendação de estudos experimentais com técnicas de neuroimagem para validar os processos descritos.

Palavras-chave: Neuroplasticidade, Interferência Neural, Aprendizado Vocal, Cognição Musical, Neurofisiologia da voz.

The Learning of Singing and Neuroplasticity: Auditory-Motor Feedback, Neural Interference, and Adaptation to Different Vocal Styles

1

Abstract: This study investigates the role of neuroplasticity through auditory-motor feedback and neural interference in singing learning, as well as the challenges related to transitioning between different vocal styles. Based on a narrative literature review, it analyzes the neuromotor, auditory, and cognitive mechanisms that regulate the singing voice, with emphasis on neural interference and the auditory-motor feedback resulting from specialization in a single style during the learning process. Grounded in neuroscience frameworks applied to music, voice, and motor cognition, the article explains that the reinforcement of motor patterns specific to a given vocal style hinders stylistic adaptation, requiring reconfiguration of motor and auditory-motor circuits. In conclusion, it highlights the need for pedagogical strategies that promote vocal flexibility and recommends experimental studies employing neuroimaging techniques to validate the described processes.

Keywords: Neuroplasticity, Neural Interference, Vocal Learning, Musical Cognition, Vocal Neurophysiology.

- 1 Universidade de Aveiro – UA – Aveiro, PT
E-mail: jeangorges@ua.pt
<https://orcid.org/0000-0001-9246-845X>
- 2 Pesquisadora Independente
E-mail: ana.paula1985@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-6492-2528>
- 3 Universidade de Aveiro – UA – Aveiro, PT
E-mail: imonteiro@ua.pt
<https://orcid.org/0000-0002-5205-0101>
- 4 Universidade de Aveiro – UA – Aveiro, PT
E-mail: maria.matos@ua.pt
<https://orcid.org/0000-0002-8976-0625>
- 5 Universidade de Aveiro – UA – Aveiro, PT
E-mail: ialcobia@ua.pt
<https://orcid.org/0000-0002-3789-2589>

1. Introdução

O aprendizado de novas habilidades representa uma das capacidades cognitivas mais sofisticadas do cérebro humano, envolvendo a modulação de circuitos neurais e a formação de novos padrões sinápticos. No caso da voz cantada, essa habilidade depende de um sistema auditivo-motor altamente refinado, cuja plasticidade permite a aquisição e o aprimoramento de competências vocais específicas. Nesse contexto, o conceito de interferência neural, amplamente reconhecido em estudos de neuroplasticidade e aprendizado motor (Krakauer et al., 2019; Nudo, 2013) torna-se particularmente relevante para a compreensão dos desafios enfrentados no canto, especialmente durante a transição entre diferentes estilos vocais com padrões previamente consolidados.

A aplicação específica desse conceito à prática vocal propõe uma nova perspectiva integradora entre neurociência e pedagogia vocal ainda pouco sistematizada na literatura sobre ensino do canto. Ela permite refletir sobre como a consolidação de novas habilidades técnicas específicas pode dificultar a adaptação a outras exigências estilísticas, exigindo a reconfiguração dos circuitos auditivo-motores. Deste modo, o presente artigo assume como premissa que a prática vocal é moldada por mecanismos de neuroplasticidade e que o fenômeno da interferência neural pode limitar, mas também, possibilitar novas formas de aprendizado desde que abordado de forma consciente e pedagógica (Waters et al., 2021).

Ainda mais notável é a capacidade do sistema nervoso central de adaptar funções previamente consolidadas pelo sistema biomecânico, um processo que exige reorganização neural e ajustes motores finos, a fim de otimizar a eficiência e a execução de novas habilidades (Duffy, 2019). Entre essas habilidades complexas, destaca-se o aprendizado do canto, que requer não apenas o controle motor da emissão vocal, mas também o processamento auditivo em tempo real e a capacidade de resposta automática ao feedback auditivo (Guenther, 2016e).

Enquanto a fala é estruturada para assegurar a inteligibilidade linguística e a transmissão ágil de informações verbais, a voz cantada demanda um controle refinado da frequência fundamental (F_0), possibilitando a sustentação e manipulação de sons, bem como a modulação da intensidade sonora por meio de mecanismos neuromusculares e auditivo-cognitivos especializados (Kadiri et al., 2020). No contexto da

voz cantada, os estilos vocais podem ser caracterizados por abordagens técnicas distintas, pela escolha específica de timbres e por combinações variadas de ajustes fisiológicos, configuradas segundo as exigências estéticas e culturais de cada gênero musical. Por exemplo, o *canto lírico*, amplamente utilizado na ópera e em repertórios da música erudita, demanda um alto grau de ressonância, a fim de garantir uma projeção natural da voz sem o auxílio de amplificação. Para isso, o cantor lírico utiliza um timbre encorpado e trabalha cuidadosamente as transições entre registros vocais, priorizando a homogeneidade do som ao longo de toda a extensão vocal (Crocco et al., 2020).

Por sua vez, o *belting*, técnica amplamente difundida no teatro musical e na música pop, exige uma abordagem mais intensa e energética, com predomínio de ajustes laríngeos que resultam em uma emissão vocal potente e brilhante (Sundberg et al., 2012). Tal emissão dependente do controle da pressão glótica e da resistência laríngea, além de explorar uma ampla combinação de registros vocais e contrastes sonoros (Jennings, 2014). Já o *belting* também permite, em certos contextos, o uso de ajustes mais agressivos de saturação vocal e distorção, como os *drives* e *growls* (Aaen et al., 2024), amplamente utilizados em estilos como o *hard rock* e o *metal*, o que acrescenta complexidade técnica à emissão vocal (Unterhofer et al., 2023).

Esta diversidade estilística evidencia a notável capacidade adaptativa do sistema fonador humano frente às demandas culturais e estéticas de cada prática musical. (Nusseck et al., 2021). A produção de cada estilo vocal envolve ajustes neuromusculares e auditivo-motores específicos, demonstrando a flexibilidade e a maleabilidade do controle vocal humano frente às diferentes exigências técnicas e expressivas, mas também evidencia os limites impostos por padrões neurais já estabelecidos (Hakanpää et al., 2019). Entretanto, embora a prática contínua durante o processo de aprendizado do canto leve ao fortalecimento de circuitos motores e auditivo-motores específicos, melhorando a precisão vocal, tal especialização em um único estilo pode, paradoxalmente, limitar a flexibilidade vocal ao reforçar padrões motores e sensório-motores específicos daquele estilo (Zarate, 2013). Assim, transitar entre estilos não é apenas uma variação estética, mas uma exigência neurofuncional que envolve reorganização motora, cognitiva e sensorial, dependente da plasticidade neural (Bradshaw et al., 2025).

Esses mecanismos são essenciais para a adaptação e o reaprendizado de funções motoras, permitindo que o sistema neural se modifique em resposta às novas demandas estilísticas (Kervin, 2023). Compreender como a neuroplasticidade atua

nesse processo é fundamental para a prática pedagógica vocal, pois possibilita o desenvolvimento de abordagens mais eficazes no treinamento técnico e artístico, ampliando a eficiência do aprendizado e a flexibilidade estilística dos cantores (Waters et al., 2021).

Nesse cenário, emergem duas perguntas centrais: Como a neuroplasticidade permite a adaptação a novos estilos vocais? Qual é o impacto da interferência neural nesse processo? Dessa forma, o presente estudo propõe analisar a partir de uma revisão narrativa de literatura, como o aprendizado do canto é mediado pelos mecanismos cerebrais de neuroplasticidade, com especial atenção ao feedback auditivo-motor e ao impacto da interferência neural na adaptação a diferentes estilos vocais. Esta análise visa contribuir para a compreensão do processo de especialização vocal e para o desenvolvimento de abordagens pedagógicas mais eficazes no ensino contemporâneo do canto.

2. Metodologia

Este estudo configura-se como uma revisão narrativa da literatura, cujo objetivo é analisar de que forma o aprendizado do canto é mediado pelos mecanismos cerebrais de neuroplasticidade, com ênfase no papel do feedback auditivo-motor, nos efeitos da interferência neural e nas implicações pedagógicas para a adaptação a diferentes estilos vocais. Diferentemente da revisão sistemática, que segue um protocolo rigoroso de seleção, avaliação e síntese de evidências com critérios explícitos de inclusão e exclusão, a revisão narrativa permite maior flexibilidade na escolha e interpretação das fontes, possibilitando uma abordagem abrangente, integrativa e crítica sobre temas complexos e interdisciplinares, como é o caso do presente estudo.

A coleta de dados foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica em bases de dados científicas reconhecidas, incluindo PubMed, Scopus, Web of Science e SciELO. Utilizaram-se os seguintes descritores, isoladamente e em combinação: *vocal learning*, *neuroplasticity and singing*, *auditory-motor feedback*, *neural interference* e *vocal style adaptation*. A seleção dos artigos não seguiu critérios sistemáticos, tendo sido realizada de forma intencional e criteriosa pelos autores, com base na relevância conceitual, teórica e empírica das publicações para os objetivos da investigação. Foram priorizados trabalhos publicados nas duas últimas décadas que dialogassem com as

áreas de neurologia, fisiologia da voz, pedagogia do canto e cognição musical.

As obras selecionadas foram organizadas de modo a estruturar a discussão em torno de quatro eixos temáticos inter-relacionados: (1) os fundamentos neurobiológicos do aprendizado vocal e da neuroplasticidade; (2) o papel do feedback auditivo-motor no controle da voz cantada; (3) os efeitos da interferência neural no desempenho vocal e na transição entre estilos; e (4) as implicações pedagógicas desses mecanismos na formação de uma técnica vocal adaptável e versátil. Esses eixos nortearam a análise crítica do material reunido e apontam direções para investigações futuras.

3.Resultados

3.1. A voz cantada como Processo Neurocognitivo

A produção da voz cantada, à semelhança da voz falada, resulta de uma integração altamente sofisticada entre o sistema nervoso central, o controle neuromuscular e o processamento auditivo (Guenther, 2016e). Contudo, ao contrário da fala, cuja função principal é garantir a clareza e a inteligibilidade linguística, o canto exige um nível elevado de controle sobre a afinação, a sustentação do som e a coordenação precisa da respiração. Para atender essas demandas, diferentes regiões cerebrais atuam de forma coordenada, integrando os processos de percepção auditiva, planejamento motor e execução da fonação assegurando a precisão e a fluidez necessárias para a performance vocal (Belyk & Kotz, 2025).

O cérebro humano, enquanto centro de processamento e coordenação das funções corporais, desempenha um papel essencial neste processo, integrando de maneira contínua informações motoras, sensoriais e auditivas (Pitkääniemi et al., 2023). No âmbito dessa complexa rede neural, a área de Broca, localizada no lobo frontal, é responsável pela programação motora da voz, elaborando os comandos necessários para a articulação vocal. Complementarmente, a área de Wernicke, situada no lobo temporal, atua no processamento e interpretação dos estímulos auditivos, permitindo que o cantor ajuste a sua emissão, com base no feedback sonoro que recebe enquanto canta. A comunicação eficiente entre essas duas áreas corticais é mediada pelo Fascículo Arqueado, um feixe neural essencial que conecta as áreas de percepção auditiva e planejamento motor, possibilitando a conversão de informações auditivas em ajustes

motores precisos, fundamentais para a afinação, o timbre e a expressividade vocal em tempo real (Guenther, 2016c).

Além dessas áreas corticais superiores, o córtex motor primário localizado no lobo frontal, é o responsável direto pela ativação dos músculos envolvidos na fonação, respiração e articulação, assegurando a execução coordenada e precisa da produção vocal (Taheri, 2024). Este controle motor é continuamente refinado pelo cerebelo, que ajusta a precisão, fluidez e estabilidade dos movimentos vocais, reduzindo variações indesejadas e assegurando maior controle na emissão (Wang et al., 2025). Os gânglios da base também desempenham um papel fundamental na automatização dos padrões motores vocais, permitindo que, por meio do treinamento contínuo, o cantor desenvolva fluência e coordenação com menor esforço consciente, o que favorece tanto a liberdade interpretativa quanto a consistência técnica (Guenther, 2016d).

Esta rede neural de planejamento e execução motora se concretiza na prática por meio da ativação dos pares cranianos, responsáveis pela inervação da musculatura orofacial, faríngea, laríngea, e respiratória, que dão suporte direto à produção da voz (Belyk et al., 2021). Dentre esses, destacam-se cinco nervos cranianos com funções específicas para a voz cantada: o nervo trigêmeo (V), o facial (VII), o glossofaríngeo (IX), o vago (X) e o hipoglosso (XII)¹. Cada um deles contribui de maneira específica para os movimentos musculares envolvidos na produção vocal, conforme descrito a seguir (Quadro 1) (Dayme, 2009; McFarland, 2008; Saxon & Scheider, 1995):

Quadro 1

Descrição Funcional dos principais nervos cranianos envolvidos na fonação

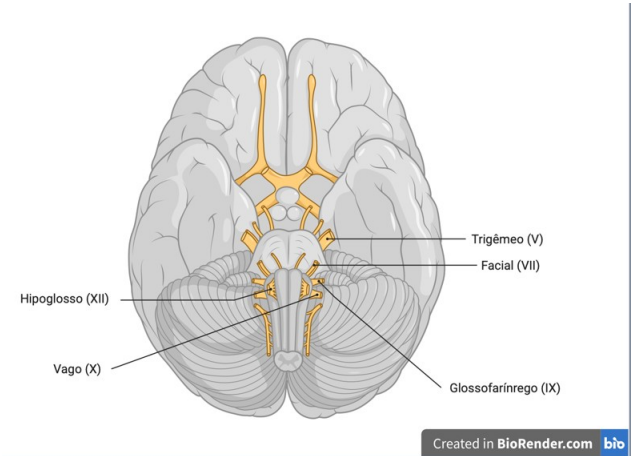
Nervos/Pares Cranianos	Função	Ação específica na voz cantada
Nervo Trígêmeo (V)	Nervo misto, com três ramos (oftálmico, maxilar e mandibular). Atua na sensibilidade da face e na motricidade dos músculos da mastigação.	Permite a movimentação mandibular essencial para a abertura e fechamento da boca, influenciando a articulação, a projeção vocal e a ressonância bucal. Também contribui para a propriocepção oral durante a fonação.
Nervo Facial (VII)	Nervo misto, motor para músculos da expressão facial; sensitivo para o paladar (2/3 anteriores da língua); controla a secreção lacrimal e salivar.	Controla os músculos dos lábios e bochechas, fundamentais para a forma do trato vocal e sua configuração dinâmica. Sua ação permite ajustar a boca para a produção de diferentes timbres e formatos ressonantes (e.g. sorriso, bocal

1 Para representações anatômicas detalhadas dos nervos cranianos envolvidos na produção da voz cantada, recomenda-se a consulta ao Atlas of Human Anatomy (Frank H. Netter, 2022); Trígêmeo pág. 149, Facial pág. 150, Glossofaríngeo pág. 152, vago pág. 153 e Hipoglossal pág. 155.

		arredondado, narinas abertas). Também contribui indiretamente para a expressão artística facial.
Nervo Glossofaríngeo (IX)	Nervo misto que inerva a musculatura estilofaríngea, sensibilidade da faringe, paladar (1/3 posterior da língua), e reflexo de deglutição.	Atua no ajuste da faringe e do palato mole, afetando diretamente a ressonância faríngea e o controle de vozes mais profundas e encorpadas. É importante para a precisão no ataque vocal e na coordenação respiratória-fonatória, além de contribuir para o reflexo de controle laríngeo-faríngeo.
Nervo Vago (X) (Bartoskova, 2024)	Nervo misto com função motora e sensitiva ampla. Inerva a musculatura intrínseca da laringe (exceto o cricotireoideo, que é da responsabilidade do nervo laríngeo superior), musculatura faríngea e parte do palato. Atua também em funções autonômicas torácicas e abdominais.	Controla os movimentos de abertura e fechamento da glote por meio dos músculos laríngeos, regula o tônus vocal, e participa na sustentação da fonação. É o principal mediador da vibração das pregas vocais e da modulação vocal. Também influencia a estabilidade da emissão vocal via aferência proprioceptiva da faringe e laringe.
Nervo Hipoglosso (XII)	Nervo motor que inerva todos os músculos intrínsecos e a maioria dos músculos extrínsecos da língua (exceto o palatoglosso).	Responsável por controlar a posição e o formato da língua, fundamentais para a articulação de vogais e consoantes, ajustes finos de ressonância e afinação, especialmente em passagens rápidas ou dinâmicas no canto. Facilita a coordenação entre ataque vocal e articulação.

Estas estruturas neuroanatômicas (imagem 1) trabalham em sinergia para permitir não apenas a produção vocal eficiente, mas também a articulação clara, o controle da elevação laríngea, a projeção sonora e o ajuste fino do timbre. Tais funções são essenciais no contexto da voz cantada, cuja exigência técnico-estética supera as demandas da fala cotidiana (Simonyan & Horwitz, 2011; Unterhofer et al., 2020).

Imagem 1
Localização dos Nervos Cranianos relacionados com a produção da Voz



Nota: criado com auxílio do BioRnder.com

Por fim, a produção final do som ocorre na laringe, onde o fluxo de ar pulmonar supera a resistência glótica, promovendo a vibração das pregas vocais em um processo conhecido como coaptação glótica (Chen et al., 2017). O sinal laríngeo gerado por esse fenômeno físico percorre os espaços faríngeos, passando por um processo de filtragem e modelação acústica, antes de ser ajustado pelas estruturas articulatórias passivas e ativas, como a estrutura da boca, a língua e o palato, para finalmente ser percebido como som (Greenspon et al., 2017).

Dessa maneira, a voz cantada emerge como o produto de uma intrincada rede de interações entre o sistema nervoso central, núcleos subcorticais, pares cranianos e musculatura especializada, configurando-se como uma habilidade neuromotora e sensório-motora altamente refinada (Guenther, 2016c). A consolidação da voz cantada como uma habilidade altamente refinada depende de treinamento contínuo e da ativação constante dos mecanismos de neuroplasticidade. É por meio desse processo adaptativo que se torna possível alcançar níveis elevados de precisão técnica, expressividade artística e flexibilidade estilística, aspectos fundamentais para a atuação vocal em diferentes contextos musicais (Alemi et al., 2023).

3.2.O Feedback Auditivo-Motor na Regulação Vocal

O feedback auditivo-motor é um mecanismo essencial para o controle refinado da produção vocal, permitindo que o cantor monitoriza e ajuste continuamente a sua emissão sonora (Harris et al., 2023). Esse processo ocorre por meio da integração dinâmica entre áreas corticais auditivas e motoras, responsáveis por comparar o som emitido com o som esperado, este baseado em uma cópia eferente gerada no momento do planejamento motor, corrigindo desvios em tempo real (Guenther, 2016a). A principal região envolvida nesse monitoramento é o córtex auditivo primário e secundário, localizados nos lobos temporais, que recebem e processam o som da própria voz, enquanto áreas motoras ajustam os comandos dirigidos à laringe e aos articuladores (Guenther, 2016f).

Esse mecanismo de feedback ocorre porque o sistema nervoso central, ao emitir um comando motor para produzir som, gera simultaneamente uma cópia eferente também chamada de *feedforward*² (Guenther, 2016b), que é uma

2 O termo “*feedforward*” refere-se ao mecanismo neural pela qual o cérebro antecipa e planeja a execução vocal com base em memórias auditivo-motoras previamente armazenadas, enviando comandos motores antes mesmo de o som ser produzido. No canto, esse processo é essencial para

expectativa interna do som que será produzido. Quando a voz é emitida, o som real é captado pelo sistema auditivo e comparado com essa expectativa interna (Brar et al., 2023). No contexto do canto, a regulação vocal refere-se ao ajuste ativo e contínuo dos parâmetros da emissão, como frequência, intensidade, articulação e timbre, a partir do feedback sensorio-motor e auditivo; assim, caso haja divergências entre o som emitido e o esperado, como alterações na afinação, variações na intensidade ou falhas na articulação, o cérebro rapidamente ajusta os comandos motores necessários para corrigir o erro. (Frühholz et al., 2020).

Este processo de automonitoramento vocal é crucial, especialmente no canto, em que a precisão melódica e a qualidade sonora são exigências centrais. Este mecanismo não garante apenas a precisão na afinação e no timbre, o feedback auditivo-motor também está diretamente envolvido no aprendizado vocal, pois é por meio desse mecanismo que o cérebro aprende a associar comandos motores a resultados acústicos específicos, permitindo a construção de padrões motores estáveis e eficientes (Behroozmand et al., 2020).

A dependência deste circuito explica, em parte, por que cantores com experiência consolidada em um estilo vocal podem encontrar dificuldades em modificar os seus padrões motores e auditivos ao tentar adaptar-se a um novo estilo: os padrões fortemente automatizados dependem de ajustes auditivos específicos, e a transição estilística exige uma recalibração completa deste sistema de feedback.

Embora a interferência neural seja frequentemente tratada como uma limitação à adaptação vocal, é importante considerar que, em contextos de especialização, ela pode representar um ganho técnico significativo. A consolidação de padrões motores eficientes, por exemplo, contribui para uma maior estabilidade vocal dentro de um estilo, permitindo domínio técnico e refinamento expressivo. Contudo, essa mesma rigidez que favorece a excelência estilística pode se tornar um entrave quando há necessidade de transição para estilos com exigências contrastantes. Esse duplo papel da interferência neural evidencia a importância de abordagens pedagógicas que conciliem a consolidação técnica com a abertura à flexibilização motora e auditiva (Kleber et al., 2007).

Sendo assim, com base nos princípios da neuroplasticidade, é necessário analisar como a interferência neural, compreendida como a competição entre padrões motores previamente

garantir a precisão da articulação e das sensações de *pitch* e *loudness* sem depender exclusivamente da correção em tempo real via feedback auditivo.

consolidados e a aquisição de novos padrões, dificulta a adaptação técnica durante a mudança de estilo vocal (Gärtner & Gutschalk, 2021).

3.3. Neuroplasticidade e o Aprendizado Vocal

O aprendizado do canto é um processo neurofisiológico complexo que depende diretamente dos mecanismos de neuroplasticidade, compreendida como a capacidade do sistema nervoso de reorganizar seletivamente suas conexões sinápticas e circuitos funcionais em resposta à prática (Scott, 2022). A neuroplasticidade é o fundamento que possibilita a aquisição e o aperfeiçoamento de habilidades vocais, pois permite que o cérebro desenvolva, fortaleça, mapeie e reorganize os circuitos neurais responsáveis pelo planejamento motor, execução e controle sensório-motor da voz cantada (Shembel & Nanjundeswaran, 2025). Durante o processo de aprendizagem vocal, a prática constante induz modificações nas conexões sinápticas, favorecendo o fortalecimento de trajetórias neurais específicas que promovem ajustes refinados e no controle respiratório e laríngeo, e maior precisão na fonação, na afinação e na articulação, (Sihvonen et al., 2024).

Estas alterações estruturais e funcionais no sistema nervoso são sustentadas por processos de plasticidade sináptica, incluindo o aumento da eficiência na transmissão de impulsos nervosos, o crescimento de novas ramificações dendríticas e axonais, e a potencialização de redes neurais que integram o controle motor e auditivo (Moisseinen et al., 2023). Com o tempo e com a prática sistemática (princípio da especificidade), estes mecanismos permitem que o cantor automatize padrões motores complexos, tornando a emissão vocal progressivamente mais estável, flexível e economicamente eficiente (Ning, 2025). Além disso, a neuroplasticidade possibilita o ajuste dinâmico da coordenação entre as áreas envolvidas no canto, como o córtex motor, o cerebelo, os núcleos da base, o córtex auditivo e as vias córtico-bulbares, assegurando que a produção vocal seja ajustada em tempo real por meio da propriocepção (Wöstmann et al., 2021).

Outros aspectos da neuroplasticidade encontrados no ensino do canto é o reforço e a integração entre o planejamento motor e o monitoramento auditivo, o que permite ao cantor ajustar a afinação e o timbre de forma imediata e precisa. Com a repetição sistemática (princípio da repetição) (Van Hedger et al., 2024), os circuitos motores tornam-se mais eficientes, e o cérebro reduz

gradualmente a necessidade de supervisão consciente de cada movimento, passando a operar por meio de padrões motores automatizados, mediados pelos núcleos da base e refinados pelo cerebelo (Belyk & Kotz, 2025).

3.4. Interferência Neural na Transição entre Estilos Vocais

A interferência neural constitui um dos princípios fundamentais da neuroplasticidade, referindo-se ao fenômeno pelo qual padrões motores fortemente estabelecidos podem dificultar a aprendizagem ou execução de novos padrões de movimento (Dai et al., 2022). No contexto do canto, a interferência neural ocorre quando o treinamento intenso em um estilo específico consolida circuitos motores e auditivos de forma tão eficiente que a transição para outro estilo, com exigências técnicas diferentes, se torna um processo altamente desafiador. Isto acontece porque o sistema nervoso, ao otimizar um determinado padrão de produção vocal, reduz a flexibilidade necessária para ajustar a emissão de acordo com novos parâmetros estilísticos (Zeng et al., 2021).

A especialização vocal em um único estilo fortalece redes neurais específicas, principalmente aquelas relacionadas ao suporte respiratório, ao controle motor laríngeo, e ao processamento auditivo do timbre e da afinação característicos daquele estilo. Como resultado, ao tentar adaptar-se a outro estilo, o cantor precisa de competir com circuitos motores automatizados que resistem à mudança (Kim & Larson, 2019). Esta interferência é especialmente observada na transição por exemplo, entre o *canto lírico* e o *belting*, dado que ambos requerem configurações laríngeas e ajustes de pressão subglótica contrastantes: enquanto o *canto lírico* prioriza uma laringe baixa, uma ressonância amplificada e fluxo de ar contínuo, o *belting* demanda uma laringe mais elevada, uma resistência glótica aumentada e controle intensivo da pressão de ar. Assim, o cantor lírico que busca realizar *belting* precisa romper com padrões consolidados, o que frequentemente gera bloqueios motores, desconforto ou perda momentânea de controle sobre a emissão (Zuim et al., 2024).

Este mesmo princípio se aplica no sentido inverso, quando um cantor treinado exclusivamente em *belting* precisa adotar a suavidade e a flexibilidade técnica exigidas pelo *canto lírico*. A resistência em realizar ajustes motores novos decorre justamente da eficiência adquirida em um único modelo de controle vocal, demonstrando como a plasticidade neural, embora adaptativa,

também se manifesta por meio da estabilização de padrões que podem limitar a versatilidade estilística.

Além dos aspectos motores, a interferência neural afeta também o sistema auditivo-motor, responsável pela regulação da afinação e do timbre (Reed et al., 2024). Cantores especializados em um estilo tendem a desenvolver uma memória auditiva específica para aquele tipo de emissão vocal, o que significa que o cérebro cria uma “referência sonora” internalizada daquele padrão. Por isso, ao tentar mudar de estilo, não apenas os músculos da respiração e da laringe resistem ao novo ajuste, mas também o próprio sistema auditivo-motor falha temporariamente em aceitar e reproduzir um novo timbre ou nova configuração de ressonância (Belyk & Kotz, 2025).

Desta maneira, a interferência neural demonstra como o processo de neuroplasticidade pode, ao mesmo tempo, fortalecer o desempenho de um estilo e dificultar a adaptação a outros, evidenciando a necessidade de abordagens pedagógicas que considerem a flexibilidade neural como uma competência a ser desenvolvida ao longo do treinamento vocal. Por isso, o reconhecimento da interferência neural como um princípio ativo no processo de aprendizagem vocal é essencial para entender os desafios enfrentados por cantores na transição entre estilos ou até mesmo entre padrões de voz falada e cantada, necessitando neste caso de estratégias didáticas que respeitem a complexidade neurofisiológica do sistema fonador (Staunton & Brennan, 2024).

3.5. Abordagens para Reduzir a Interferência Neural e Favorecer a Flexibilidade Vocal: Implicações Pedagógicas para o Aprendizado do Canto

A partir dos constructos apresentados, esta seção propõe estratégias pedagógicas baseadas em evidências empíricas e mecanismos neurofisiológicos que favorecem a flexibilidade vocal, sendo especialmente úteis no contexto da educação musical e do ensino/aprendizado técnico do canto.

A superação da interferência neural e a ampliação da flexibilidade vocal, especialmente em contextos que exigem a transição entre diferentes estilos de canto, dependem de estratégias específicas que estimulem os mecanismos de neuroplasticidade (MacLean et al., 2024). Uma das abordagens fundamentais consiste no treinamento de dissociação motora, que visa desenvolver a capacidade do cantor de realizar ajustes laríngeos independentes, sem a influência direta dos padrões motores previamente automatizados. Esse tipo de treinamento

contribui para que o cantor ganhe consciência e controle sobre movimentos específicos da laringe, permitindo transitar com maior liberdade entre diferentes demandas técnicas, como variações na elevação laríngea, na resistência glótica ou na intensidade vocal, elementos que variam significativamente entre estilos (Patel et al., 2023).

Além da dissociação motora, a realização de exercícios proprioceptivos e auditivo-motores representa um componente crucial para a flexibilização vocal. Por meio desses exercícios, o cantor é levado a desenvolver uma percepção mais apurada das sensações corporais internas (propriocepção) e do resultado acústico da sua emissão, promovendo uma escuta ativa e consciente (Partesotti et al., 2025). Este processo favorece a identificação precisa das diferenças de configuração vocal exigidas por cada estilo musical, facilitando o reconhecimento e a adaptação a novos ajustes técnicos sem a interferência de padrões previamente cristalizados (Leppävuori et al., 2021). A prática contínua de exercícios que integrem percepção auditiva e controle motor é, portanto, essencial para estimular a recalibração do sistema auditivo-motor, promovendo uma maior flexibilidade na afinação, no timbre e na dinâmica vocal (Lester-Smith et al., 2023).

Outra estratégia importante para a redução da interferência neural consiste no treinamento gradual de transição entre registros vocais, com o objetivo de minimizar a rigidez dos padrões motores associados a registros específicos. Muitas vezes, o domínio de um único registro leva à fixação de comportamentos musculares automáticos, dificultando a adaptação a novos contextos vocais. Assim, o treino dirigido à exploração progressiva dos registros, com foco no equilíbrio e na continuidade entre eles, permite que o cantor desenvolva um sistema vocal mais versátil, capaz de atender tanto a demandas estilísticas mais suaves e flexíveis quanto àquelas que exigem maior potência e projeção (Zuim et al., 2024). Essa abordagem, além de fortalecer o controle sobre a passagem entre registros, estimula o refinamento da coordenação neuromuscular e do ajuste respiratório, elementos essenciais para o desenvolvimento de uma técnica vocal eficiente.

Portanto, a implementação de estratégias que combinem dissociação motora, treino proprioceptivo-auditivo e transição consciente entre registros não apenas contribui para reduzir os efeitos limitantes da interferência neural, mas também promove o desenvolvimento de um sistema vocal mais resiliente e adaptável, capaz de responder às diversas exigências estéticas e técnicas presentes na prática do canto contemporâneo (Sielska-

Badurek et al., 2018). Tais estratégias, ao atuarem diretamente sobre os mecanismos de neuroplasticidade, asseguram que o processo de aprendizado vocal ocorra de forma progressiva, respeitando os tempos de adaptação do sistema nervoso e evitando sobrecargas que possam comprometer a eficiência ou a saúde vocal do cantor (Hughes & Knowles, 2024).

Essas dinâmicas neurais sugerem que, em contextos pedagógicos, o ensino vocal deve considerar práticas graduais e adaptativas, respeitando o tempo necessário para a reorganização neural durante a transição entre estilos (Kazi et al., 2023; Nusseck et al., 2021). Ao integrar achados da neurociência aplicada, a pedagogia vocal contemporânea pode, assim, desenvolver currículos e métodos mais eficazes para a formação de cantores versáteis. A adaptação estilística, longe de depender apenas de talento ou intuição, passa a ser compreendida como um processo de reorganização neural orientado por práticas conscientes, sistemáticas e baseadas em feedback sensório-motor.

4. Conclusão e Perspectiva de Pesquisa

O aprendizado do canto é um processo dinâmico e adaptativo, fundamentado na neuroplasticidade, que permite a reorganização dos circuitos neurais responsáveis pela coordenação entre o controle motor, a percepção auditiva e os ajustes proprioceptivos. A prática vocal contínua promove modificações significativas no córtex motor, cerebelo, gânglios da base e córtex auditivo, refinando os padrões motores essenciais para uma emissão vocal precisa, eficiente e ajustada às exigências estilísticas. Entretanto, o fortalecimento de padrões motores e auditivo-motores específicos, decorrente da especialização em um único estilo vocal, pode gerar o fenômeno de interferência neural, limitando a flexibilidade técnica e dificultando a transição para estilos que demandam configurações musculares e auditivas distintas. Essa interferência resulta da estabilização seletiva de redes neurais, que tendem a resistir à introdução de novos padrões de controle vocal, especialmente quando as diferenças estilísticas impõem ajustes contrastantes de respiração, elevação laríngea e ressonância.

Diante desse cenário, o reconhecimento da interferência neural como um mecanismo ativo da neuroplasticidade vocal é fundamental para o desenvolvimento de estratégias pedagógicas que favoreçam a versatilidade, a adaptação técnica e a liberdade expressiva dos cantores principalmente nos cenários onde o cantor necessita estar profissionalmente apto para o ambiente de

trabalho. Tais estratégias devem considerar o tempo necessário para a reorganização dos circuitos neurais e a necessidade de práticas específicas que promovam a dissociação motora e auditivo-motora, facilitando a superação dos padrões consolidados. Entretanto, para que essas estratégias possam ser aplicadas de forma eficiente e embasada, é indispensável o avanço em pesquisas científicas, laboratoriais, que utilizem neuroimagem funcional e técnicas de neuromonitoramento, com o objetivo de investigar, de forma objetiva, como o cérebro se adapta durante o processo de transição entre estilos vocais.

Por isso, recomenda-se o desenvolvimento de estudos de monitoramento que possam oferecer dados concretos sobre os ajustes neurofisiológicos, motores e auditivos envolvidos na prática vocal, especialmente em cantores que transitam entre diferentes estilos. A integração de dados empíricos provenientes de estudos neurocientíficos com o campo pedagógico permitirá a construção de métodos de ensino vocal baseados em evidências, potencializando o desenvolvimento técnico e artístico de cantores versáteis. Assim, este estudo reforça a importância de compreender os mecanismos de interferência neural não apenas como um desafio do ponto de vista neurobiológico, mas também como uma oportunidade para aprimorar o ensino do canto, orientando práticas pedagógicas que respeitem a complexidade do sistema vocal e as necessidades individuais de cada cantor.

5.Conflitos de Interesse

Não foram identificados.

6.Financiamento

Este artigo é financiado pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal no âmbito do projeto 2023.03161.BD com o identificador DOI <https://doi.org/10.54499/2023.03161.BD>.

Referências

- Aaen, M., McGlashan, J., Christoph, N., & Sadolin, C. (2024). Extreme Vocal Effects Distortion, Growl, Grunt, Rattle, and Creaking as Measured by Electroglottography and Acoustics in 32 Healthy Professional Singers. *Journal of Voice*, 38(3), 795.e21-795.e35.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.11.010>
- Alemi, R., Lehmann, A., & Deroche, M. L. D. (2023). Changes in Spoken and Sung Productions Following Adaptation to Pitch-shifted Auditory Feedback. *Journal of Voice*, 37(3), 466.e1-466.e15.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.02.016>

- Bartoskova, M. (2024). The Role of the Vagus Nerve in Speaking and Singing. *Voice and Speech Review*, 1–16.
<https://doi.org/10.1080/23268263.2024.2416265>
- Behroozmand, R., Johari, K., Bridwell, K., Hayden, C., Fahey, D., & den Ouden, D. B. (2020). Modulation of vocal pitch control through high-definition transcranial direct current stimulation of the left ventral motor cortex. *Experimental Brain Research*, 238(6), 1525–1535.
<https://doi.org/10.1007/s00221-020-05832-9>
- Belyk, M., Brown, R., Beal, D. S., Roebroek, A., McGettigan, C., Guldner, S., & Kotz, S. A. (2021). Human larynx motor cortices coordinate respiration for vocal-motor control. *NeuroImage*, 239.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118326>
- Belyk, M., & Kotz, S. A. (2025). The right sound at the right time: Cerebellar and ventral striatal involvement in imitating pitch and timing. *Journal of Neurolinguistics*, 74.
<https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2024.101243>
- Bradshaw, A. R., Wheeler, E. D., McGettigan, C., & Lametti, D. R. (2025). Sensorimotor learning during synchronous speech is modulated by the acoustics of the other voice. *Psychonomic Bulletin & Review*, 32(1), 306–316. <https://doi.org/10.3758/s13423-024-02536-x>
- Brar, G., Silverstein, E., Zheng, M., Castro, M. E., Goldsworthy, R., Holding, L., & Johns, M. M. (2023). Perceptions of Vocal Performance Impairment in Singers with and without Hearing Loss. *Journal of Voice*, 37(6), 972.e1-972.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.06.021>
- Chen, W., Woo, P., & Murry, T. (2017). Vocal Fold Vibration Following Surgical Intervention in Three Vocal Pathologies: A Preliminary Study. *Journal of Voice*, 31(5), 610–614. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2017.02.006>
- Crocco, L., McCabe, P., & Madill, C. (2020). Principles of Motor Learning in Classical Singing Teaching. *Journal of Voice*, 34(4), 567–581.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.12.019>
- Dai, B., McQueen, J. M., Terporten, R., Hagoort, P., & Kösem, A. (2022). Distracting linguistic information impairs neural tracking of attended speech. *Current Research in Neurobiology*, 3.
<https://doi.org/10.1016/j.crneur.2022.100043>
- Dayme, M. (2009). *Dynamics of the Singing Voice* (5 edition, Org.). Springer-Verlag.
- Duffy, J. R. (2019). *Motor Speech Disorders Substrates, Differential Diagnosis, and Management* (4th ed). Elsevier Mosby.
- Frank H. Netter. (2022). *Netter Atlas of Human Anatomy: Classic Regional Approach* (8th Edition). Elsevier.
- Frühholz, S., Trost, W., Constantinescu, I., & Grandjean, D. (2020). Neural Dynamics of Karaoke-Like Voice Imitation in Singing Performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00135>
- Gärtner, K., & Gutschalk, A. (2021). Auditory cortex activity related to perceptual awareness versus masking of tone sequences. *NeuroImage*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117681>
- Greenspon, E. B., Pfordresher, P. Q., & Halpern, A. R. (2017). Pitch Imitation Ability in Mental Transformations of Melodies. *Music Perception*, 34(5), 585–604. <https://doi.org/10.1525/mp.2017.34.5.585>

- Guenther, F. H. (2016a). Auditory Feedback Control. Em *Neural Control of Speech* (p. 153–176). The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.003.0007>
- Guenther, F. H. (2016b). Feedforward Control. Em *Neural Control of Speech* (p. 193–220). The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.003.0009>
- Guenther, F. H. (2016c). Neural Control of Speech. The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.001.0001>
- Guenther, F. H. (2016d). Neural Structures Involved in Speech Production. Em *Neural Control of Speech* (Vol. 1, p. 37–92). The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.003.0004>
- Guenther, F. H. (2016e). Overview of Speech Motor Control. Em *Neural Control of Speech* (p. 93–120). The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.003.0005>
- Guenther, F. H. (2016f). Somatosensory Feedback Control. Em *Neural Control of Speech* (p. 177–192). The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/10471.003.0008>
- Hakanpää, T., Waaramaa, T., & Laukkanen, A. M. (2019). Emotion Recognition From Singing Voices Using Contemporary Commercial Music and Classical Styles. *Journal of Voice*, 33(4), 501–509.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.01.012>
- Harris, I., Niven, E. C., Griffin, A., & Scott, S. K. (2023). Is song processing distinct and special in the auditory cortex? *Nature Reviews Neuroscience*, 24(11), 711–722. <https://doi.org/10.1038/s41583-023-00743-4>
- Hughes, D., & Knowles, J. (2024). The technologically mediated voice: Captured and processed contemporary singing. *Journal of Popular Music Education*, 8(2), 219–237. https://doi.org/10.1386/jpme_00143_1
- Jennings, C. A. (2014). Belting is beautiful [University of Iowa].
<https://doi.org/10.17077/etd.l88uzhug>
- Kadiri, S. R., Alku, P., & Yegnanarayana, B. (2020). Analysis and classification of phonation types in speech and singing voice. *Speech Communication*, 118, 33–47.
<https://doi.org/10.1016/j.specom.2020.02.004>
- Kazi, A. A., Yu, C., Vahidi, N. A., Donnell, C., & Moore, J. E. (2023). Longitudinal Assessment of Singing Students. *Journal of Voice*, 37(1), 145.e19–145.e21. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.12.026>
- Kervin, S. R. (2023). The Key to Singing Off-Key: The Trained Singer and Pitch Perception Distortion. *Journal of Voice*.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2022.12.016>
- Kim, J. H., & Larson, C. R. (2019). Modulation of auditory-vocal feedback control due to planned changes in voice fo. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 145(3), 1482–1492.
<https://doi.org/10.1121/1.5094414>
- Kleber, B., Veit, R., Birbaumer, N., & Lotze, M. (2007). Neural correlates of professional classical singing.
- Krakauer, J. W., Hadjiosif, A. M., Xu, J., Wong, A. L., & Haith, A. M. (2019). Motor Learning. Em *Comprehensive Physiology* (p. 613–663). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/cphy.c170043>
- Leppävuori, M., Lammontausta, E., Peuna, A., Bode, M. K., Jokelainen, J., Ojala, J., & Nieminen, M. T. (2021). Characterizing Vocal Tract Dimensions in the Vocal Modes Using Magnetic Resonance Imaging.

- Journal of Voice, 35(5), 804.e27-804.e42.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.01.015>
- Lester-Smith, R. A., Kim, J. H., Hilger, A., Chan, C.-L., & Larson, C. R. (2023). Auditory-Motor Control of Fundamental Frequency in Vocal Vibrato. *Journal of Voice*, 37(2), 296.e9-296.e19.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.12.049>
- MacLean, J., Stirn, J., Sisson, A., & Bidelman, G. M. (2024). Short- and long-term neuroplasticity interact during the perceptual learning of concurrent speech. *Cerebral Cortex*, 34(2).
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhad543>
- McFarland, D. H. (2008). *Anatomia em Ortofonía: Palavra, Voz e Deglutição*. Lusociência/Lusodidacta.
- Moisseinen, N., Särkämö, T., Kauramäki, J., Kleber, B., Sihvonen, A. J., & Martínez-Molina, N. (2023). Differential effects of ageing on the neural processing of speech and singing production. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 15. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1236971>
- Ning, L.-H. (2025). The impact of musical expertise and directional isotropy on the proportions and magnitudes of pitch-shift responses in glissandos. *Frontiers in Psychology*, 15.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1332028>
- Nudo, R. J. (2013). Recovery after brain injury: mechanisms and principles. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00887>
- Nusseck, M., Immerz, A., Spahn, C., Echternach, M., & Richter, B. (2021). Long-Term Effects of a Voice Training Program for Teachers on Vocal and Mental Health. *Journal of Voice*, 35(3), 438–446.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.11.016>
- Partesotti, E., Feitosa, J. A., Manzolli, J., & Castellano, G. (2025). Stimulating neuroplasticity: Therapeutic applications of an extended digital musical instrument. *Nordic Journal of Music Therapy*, 34(1), 62–80.
<https://doi.org/10.1080/08098131.2024.2445824>
- Patel, S., Hebert, K., Korzyukov, O., & Larson, C. R. (2023). Effects of sensorimotor voice training on event-related potentials to pitch-shifted auditory feedback. *PLOS ONE*, 18(1), e0269326.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269326>
- Pitkaniemi, A., Särkämö, T., Siponkoski, S.-T., Brownsett, S. L. E., Copland, D. A., Sairanen, V., & Sihvonen, A. J. (2023). Hodological organization of spoken language production and singing in the human brain. *Communications Biology*, 6(1), 779. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-05152-y>
- Reed, C. N., Pearce, M., & McPherson, A. (2024). Auditory imagery ability influences accuracy when singing with altered auditory feedback. *Musicae Scientiae*, 28(3), 478–501.
<https://doi.org/10.1177/10298649231223077>
- Saxon, K., & Scheider, C. M. (1995). *Vocal Exercise Physiology* (1o ed). Singular Publishing Group Inc.
- Scott, S. K. (2022). The neural control of volitional vocal production - From speech to identity, from social meaning to song. *Em Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 377, Número 1841). Royal Society Publishing.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0395>

- Shembel, A. C., & Nanjundeswaran, C. (2025). Potential Biophysiological Mechanisms Underlying Vocal Demands and Vocal Fatigue. *Journal of Voice*, 39(1), 281.e1-281.e10. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2022.07.017>
- Sielska-Badurek, E. M., Sobol, M., Olszowska, K., & Niemczyk, K. (2018). Contemporary Commercial Music Singing Students—Voice Quality and Vocal Function at the Beginning of Singing Training. *Journal of Voice*, 32(6), 668–672. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2017.08.027>
- Sihvonen, A. J., Pitkäniemi, A., Siponkoski, S.-T., Kuusela, L., Martínez-Molina, N., Laitinen, S., Särkämö, E.-R., Pekkola, J., Melkas, S., Schlaug, G., Sairanen, V., & Särkämö, T. (2024). Structural Neuroplasticity Effects of Singing in Chronic Aphasia. *eneuro*, 11(5), ENEURO.0408-23.2024. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0408-23.2024>
- Simonyan, K., & Horwitz, B. (2011). Laryngeal motor cortex and control of speech in humans. *Neuroscientist*, 17(2), 197–208. <https://doi.org/10.1177/1073858410386727>
- Staunton, D., & Brennan, A. (2024). Brain Health for Learning (D. Staunton & A. Brennan, Orgs.). Peter Lang Verlag. <https://doi.org/10.3726/b20604>
- Sundberg, J., Thalén, M., & Popeil, L. (2012). Substyles of Belting: Phonatory and Resonatory Characteristics. *Journal of Voice*, 26(1), 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2010.10.007>
- Taheri, A. (2024). The partial upward migration of the laryngeal motor cortex: A window to the human brain evolution. *Brain Research*, 1834. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2024.148892>
- Unterhofer, C., Buchberger, A. M. S., Jeleff-Wölfler, O., Mansour, N., & Graf, S. (2020). Laryngeal and Pharyngeal Movements During Inner Singing: A Cross-Sectional Study. *Journal of Voice*, 34(5), 807.e1-807.e9. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.02.011>
- Unterhofer, C., Marscheider, J., Auer, S., Jeleff-Wölfler, O., & Graf, S. (2023). Prevalence of Dysphonia in Metal Singers and the Impact of Vocal Education: A Subjective Analysis. *Journal of Voice*. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2022.12.004>
- Van Hedger, S. C., Halpern, A. R., Vollweiler, D. J., Smith, E. E., & Pfordresher, P. Q. (2024). Is Hey Jude in the right key? Cognitive components of absolute pitch memory. *Memory & Cognition*, 52(5), 1142–1151. <https://doi.org/10.3758/s13421-024-01530-x>
- Wang, A., Zhang, W., Chang, C., Tang, X., & Zhang, M. (2025). Long-term exercise training reduced the sound-induced flash illusion in multisensory illusions owing to the cerebellum. *Consciousness and Cognition*, 128, 103805. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2024.103805>
- Waters, S., Kanber, E., Lavan, N., Belyk, M., Carey, D., Cartei, V., Lally, C., Miquel, M., & McGettigan, C. (2021). Singers show enhanced performance and neural representation of vocal imitation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 376(1840). <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0399>
- Wöstmann, M., Maess, B., & Obleser, J. (2021). Orienting auditory attention in time: Lateralized alpha power reflects spatio-temporal filtering. *NeuroImage*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117711>
- Zarate, J. M. (2013). The neural control of singing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00237>
- Zeng, K., Drummond, N. M., Ghahremani, A., Saha, U., Kalia, S. K., Hodaie, M., Lozano, A. M., Aron, A. R., & Chen, R. (2021). Fronto-subthalamic



phase synchronization and cross-frequency coupling during conflict processing. *NeuroImage*, 238.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118205>

Zuim, A. F., Stewart, C. F., & Titze, I. R. (2024). Vocal Dose and Vocal Demands in Contemporary Musical Theatre. *Journal of Voice*, 38(1), 53–68.

<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.08.006>