



ARTIGO DE REVISÃO

Biofeedback in dysphonia – progress and challenges[☆]



Geová Oliveira de Amorim^{a,*}, Patrícia Maria Mendes Balata^b,
Laís Guimarães Vieira^c, Thaís Moura^a e Hilton Justino da Silva^a

^a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil

^b Hospital dos Servidores do Estado de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

^c LGV Assessoria e Consultoria Médica, Recife, PE, Brasil

Recebido em 11 de janeiro de 2016; aceito em 15 de julho de 2017

Disponível na Internet em 14 de fevereiro de 2018

KEYWORDS

Speech therapy;
Voice;
Dysphonia;
Electromyography
feedback

Abstract

Introduction: There is evidence that all the complex machinery involved in speech acts along with the auditory system, and their adjustments can be altered.

Objective: To present the evidence of biofeedback application for treatment of vocal disorders, emphasizing the muscle tension dysphonia.

Methods: A systematic review was conducted in Scielo, Lilacs, PubMed and Web of Sciences databases, using the combination of descriptors, and admitting as inclusion criteria: articles published in journals with editorial committee, reporting cases or experimental or quasi-experimental research on the use of biofeedback in real time as additional source of treatment monitoring of muscle tension dysphonia or for vocal training.

Results: Thirty-three articles were identified in databases, and seven were included in the qualitative synthesis. The beginning of electromyographic biofeedback studies applied to speech therapy were promising and pointed to a new method that enabled good results in muscle tension dysphonia. Nonetheless, the discussion of the results lacked physiological evidence that could serve as their basis. The search for such explanations has become a challenge for speech therapists, and determined two research lines: one dedicated to the improvement of the electromyographic biofeedback methodology for voice disorders, to reduce confounding variables, and the other dedicated to the research of neural processes involved in changing the muscle engram of normal and dysphonic patients.

DOI se refere ao artigo: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2017.07.006>

[☆] Como citar este artigo: Amorim GO, Balata PM, Vieira LG, Moura T, Silva HJ. Biofeedback in dysphonia – progress and challenges. Braz J Otorhinolaryngol. 2018;84:240–8.

* Autor para correspondência.

E-mail: geovafono@uol.com.br (G.O. Amorim).

A revisão por pares é da responsabilidade da Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial.

PALAVRAS-CHAVE

Fonoaudiologia;
Voz;
Disfonia;
Feedback de
eletromiografia

Conclusion: There is evidence that the electromyographic biofeedback promotes changes in the neural networks responsible for speech, and can change behavior for vocal emissions with quality.

© 2017 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Biofeedback em disfonia – progresso e desafios**Resumo**

Introdução: Há evidências de que o complexo aparato envolvido no ato da fala, juntamente com o sistema auditivo, e seus ajustes podem ser alterados.

Objetivo: Apresentar evidências da aplicação de *biofeedback* (biorretroalimentação) para tratamento de distúrbios vocais, enfatizar a disfonia de tensão muscular.

Método: Realizou-se uma revisão sistemática nas bases de dados de Scielo, Lilacs, PubMed e Web of Sciences, utilizando a combinação de descritores e admitindo como critérios de inclusão: artigos publicados em revistas com comitê editorial, relatos de casos ou pesquisas experimentais ou quase experimentais sobre o uso de *biofeedback* em tempo real como fonte adicional de monitoração de tratamento de disfonia de tensão muscular ou para treinamento vocal.

Resultados: Trinta e três artigos foram identificados em bases de dados, e sete foram incluídos na síntese qualitativa. O início dos estudos de *biofeedback* eletromiográficos aplicados à terapia fonoaudiológica foram promissores e indicaram um novo método que permitiu bons resultados na disfonia de tensão muscular. No entanto, a discussão dos resultados carecia de evidências fisiológicas que pudessem servir de base. A busca por tais explicações tornou-se um desafio para os fonoaudiólogos e determinou duas linhas de pesquisa: uma dedicada à melhoria da metodologia de *biofeedback* eletromiográfico para distúrbios da voz, para reduzir as variáveis de confusão e outra dedicada à pesquisa de processos neurais envolvidos na alteração do engrama muscular de pacientes normais e disfônicos.

Conclusão: Há evidências de que o *biofeedback* eletromiográfico promove mudanças nas redes neurais responsáveis pela fala e pode mudar o comportamento para emissões vocais com qualidade.

© 2017 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introdução

A comunicação oral depende da capacidade de produzir uma enorme variedade de sons que, juntos, caracterizam uma linguagem. A produção desses sons resulta em configurações altamente específicas do trato vocal, que filtra o som produzido na laringe e o modula através de movimentos coordenados dos lábios, da língua e da mandíbula.¹ Essas interações envolvem os músculos e o sistema nervoso autônomo e central e são tópicos intrigantes de pesquisa, envolvem indivíduos normais e aqueles com distúrbios de voz.

Há evidências de que todo o complexo aparato envolvido na fala atua junto com o sistema auditivo, o que permite que o indivíduo desenvolva ajustes dinâmicos naturais durante o discurso, em resposta à poluição sonora perceptível, para tornar a voz mais harmoniosa e adequada ao discurso.² Esses ajustes nem sempre são suficientes para compensar o distúrbio de voz.

A disfonia constitui cerca de 40% das alterações nas clínicas de voz e as outras 60% das alterações são

representadas por solicitações de aprimoramento de voz, relativas ao desvio das propriedades perceptivas da voz que chamam atenção para o orador, o que significa estética da voz.³ A disfonia é um distúrbio de comunicação, representado por qualquer dificuldade na emissão vocal que impede a voz de cumprir seu papel básico de transmissão de mensagens verbais e emocionais de um indivíduo,³ devido ao desequilíbrio dos músculos responsáveis pela produção de voz.⁴ Os padrões vocais alterados, como consequência da disfonia, resultam de ajustes musculares, nos níveis glótico e supraglótico, desenvolvidos pelo indivíduo, em resposta à presença ou não de lesão laríngea.⁵ Na disfonia por tensão muscular, presume-se que o aumento da tensão dos músculos extrínsecos da laringe eleva a laringe no pescoço e perturba a inclinação das cartilagens laríngeas.⁶ Conseqüentemente, os músculos extrínsecos da laringe são afetados e alteram a tensão das pregas vocais, o que determina o distúrbio vocal.⁷

O córtex cerebral é a origem do controle da fala voluntária. Os impulsos do nervo são propagados para ativar o núcleo motor do tronco cerebral (núcleo ambíguo, núcleo do trato solitário e núcleo parabraquial) e medula

espinhal, modula a ação dos músculos laríngeos, bem como os músculos articulatórios, torácicos e abdominais. As consequências dessa ativação em distúrbios de voz são novas representações mentais do comportamento fonatório, o que exigirá um processo terapêutico para reaprender a função.⁸

Os vários tipos de qualidade vocal são produzidos por mudanças na cinesiologia laríngea, cujos músculos intrínsecos e extrínsecos podem estar em desequilíbrio. Essa anormalidade indica a necessidade do diagnóstico de fala para estabelecer um plano de tratamento. Os métodos de diagnóstico não instrumentais incluem história vocal, para determinar abuso ou uso indevido da voz; investigação do estresse e fatores psicológicos que podem alterar a produção vocal, bem como palpação do pescoço, determinação da tensão muscular e elevação da laringe, com a possibilidade de quantificação com uma escala Likert de quatro a cinco pontos. Esses métodos, embora amplamente usados em clínicas e pesquisas, têm baixo poder diagnóstico, são examinador-dependentes.⁷

Os métodos de diagnóstico instrumental incluem videolaringoscopia, radiografia, eletromiografia por agulha ou de superfície e, mais recentemente, embora ainda experimental, ressonância magnética funcional.^{7,9,10} A radiografia permite documentar e avaliar o aumento da contração muscular anteroposterior e a presença de nódulos, pólipos e cistos, mas tem baixa potência de diagnóstico para distúrbios da voz.

A eletromiografia (EMG) permite a avaliação da atividade elétrica dos músculos laríngeos e, portanto, da tensão das fibras musculares e da integridade do sistema nervoso laríngeo.¹¹ Além disso, a eletromiografia com eletrodos colocados na pele (chamada de EMG de superfície – EMGs) pode ser usada na aprendizagem operante para modificação autonômica interna de um comportamento através de informações simultâneas para uma tarefa. A EMG permite ao indivíduo observar o processo fisiológico, em tempo real, contribui para mudanças comportamentais, ou seja, para estabelecer correção, cumpre objetivos claramente definidos pela fisiologia da função orgânica alterada.

A fisiopatologia da disфония de tensão muscular ainda não está totalmente elucidada. Algumas hipóteses admitem que a tensão nos músculos extrínsecos move a laringe para cima no pescoço, o que altera a inclinação das cartilagens laríngeas. Como resultado, os músculos intrínsecos da laringe são afetados e causam tensão nas pregas vocais, promovem a disфония.⁷

Na presença de disфония, o sistema nervoso autônomo e central registra a mudança de som e desencadeia a acomodação para reduzir os distúrbios. Esse mecanismo fisiológico adaptativo pode ser monitorado e visualizado através de programas que convertem o registro de receptores proprioceptivos ou táteis em imagens, em um processo chamado biorretroalimentação, ou *biofeedback*.¹²

O *biofeedback* ocorre durante a emissão vocal, permite que o emissor faça adaptações para a correção de distúrbios vocais. Na disфония, essas correções também podem chamar a atenção do orador para a intensidade do distúrbio, porque existe uma tendência natural de subestimá-lo. Assim, no *biofeedback*, os eventos autonômicos internos, como a tensão muscular, são eletronicamente amplificados, permitem que o indivíduo ("bio") receba as informações (*feedback*), que normalmente não estão disponíveis.¹²

Vários estudos¹³⁻¹⁸ têm demonstrado a possibilidade de uso de *biofeedback* para ajudar os indivíduos a modificar os padrões fisiológicos, admite-se que um indivíduo que conheça o funcionamento de seu corpo possa promover mudanças ele mesmo.

Verificamos que os indivíduos disfônicos podem ter dificuldades de mudar o padrão vocal desviado, como resultado do engrama da atividade muscular que o automatizou, enquanto os processos mentais estão sujeitos a mudanças de estímulos de natureza visual, auditiva e cinestésica, fornecidos por canais de *feedback*.^{12,17,19} Esses fatos despertaram nosso interesse em estudar a disфония, na visão da neurociência.

O objetivo desta revisão sistemática é apresentar a evidência de aplicação de *biofeedback* para o tratamento de distúrbios vocais, enfatizar a disфония de tensão muscular, bem como a aprendizagem vocal de cantores profissionais.

Método

Fez-se uma revisão sistemática nas bases de dados Scielo, Lilacs, PubMed e Web of Sciences, com a combinação de descritores <feedback>, <voice>, <biofeedback>, <dysphonia>, <tension>, <therapy>, <surface electromyography>, <singers>. Com base nas informações dos resumos e títulos, os artigos potencialmente úteis foram avaliados na revisão. Os critérios de inclusão foram aplicados, a saber: artigos publicados em revistas com comitê editorial, relato de casos ou pesquisa experimental ou quase-experimental sobre o uso de *biofeedback* em tempo real como fonte adicional de monitoramento de tratamento da disфония de tensão muscular ou para treinamento vocal. Não foi estabelecida qualquer restrição ao desenho do estudo, ao idioma, ao método de *biofeedback* ou ao método de avaliação, devido à escassez de estudos.

Dois examinadores (GA e PMB) revisaram de forma independente os títulos e resumos dos artigos localizados e determinaram aqueles com potencial para integrar a revisão, para a qual os textos completos foram obtidos, para um exame mais aprofundado dos examinadores. Nessa fase, cada um deles selecionou estudos que atingiram os objetivos definidos e as avaliações divergentes foram resolvidas por consenso.

Embora reconhecendo que a metanálise é o padrão-ouro para a revisão, neste artigo não foi possível adotar essa metodologia, por causa da escassez de estudos e do pequeno número de elementos em cada estudo.

Resultados

Foram identificados em bases de dados 33 artigos, mas 16 já foram excluídos na análise de títulos e resumos: quatro que usaram *biofeedback* sem eletromiografia de superfície; três por terem sido escritos em alemão; seis revisões sistemáticas; um por mostrar análise do córtex na articulação da voz; e dois por ter a EMG como o tema principal, sem abordagem de *biofeedback*.

Foram listados pelos examinadores 17 artigos para análise do texto completo, da qual resultou a exclusão de seis artigos completos com descrição metodológica imprecisa, restaram 11 artigos para avaliação de elegibilidade. A leitura

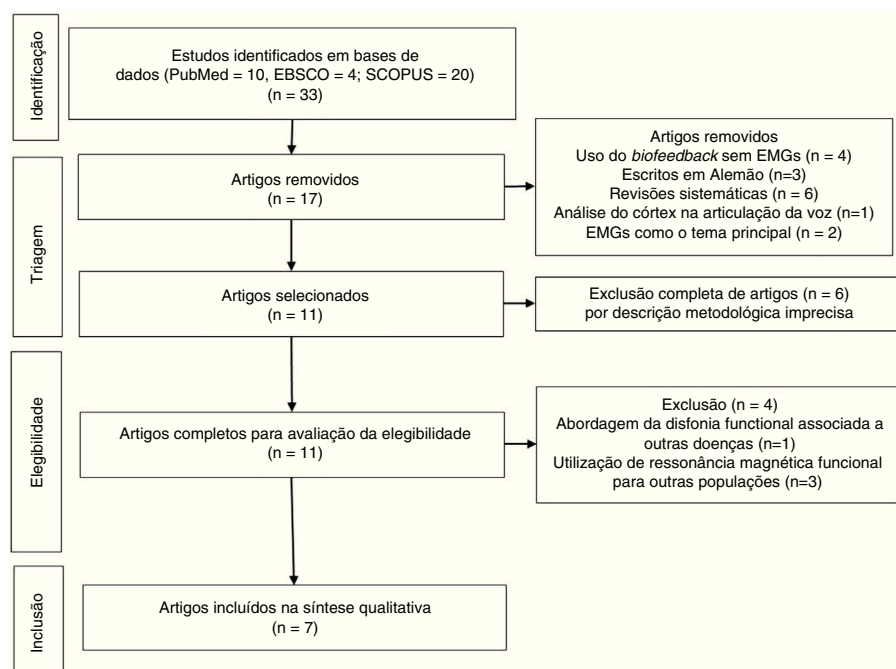


Figura 1 Fluxograma da seleção de artigos para a revisão sistemática.

completa do texto resultou na exclusão de quatro artigos, um por abordar a disфонia funcional associada a outra doença que não a disфонia e três por investigar populações sem disфонia com o uso de ressonância magnética funcional e *biofeedback* vocal. Sete artigos foram incluídos na síntese qualitativa (fig. 1) (tabela 1).

Discussão

Decidimos dividir os artigos em dois grupos, um com aplicação de *biofeedback* para correção da disфонia de tensão muscular ou distúrbios de voz secundários à tensão muscular laríngea,^{12,20-22} e outro dedicado à aplicação desse método na aprendizagem vocal de cantores profissionais.^{2,10,16}

Os dois grupos de artigos foram mantidos para contemplar as oportunidades de uso de *biofeedback* na fonoaudiologia, uma vez que os avanços tecnológicos em estudos de imagem permitiram a demonstração de novas evidências, seja para treinamento vocal, bem como para o tratamento de distúrbios vocais de tensão.

Biofeedback para correção da disфонia de tensão muscular ou distúrbios da voz secundários à tensão muscular

Os distúrbios vocais têm sido estudados há muito tempo para determinar suas causas, bem como para a definição de terapias eficazes. Allen, Bernstein e Chait²⁰ conduziram um estudo com *biofeedback* eletromiográfico em uma criança do sexo masculino, com oito anos, com disфонia hiperfuncional que não respondia às técnicas de reabilitação vocal e relaxamento. O paciente apresentava nódulos vocais e uma

tensão muscular tão intensa que haveria indicação para a cirurgia.

A criança foi submetida a avaliações eletromiográficas de tensão dos músculos da laringe e da qualidade da voz, feitas por um profissional e pelos pais da criança. O tratamento consistiu em uma sessão de 30 minutos duas vezes por semana, com treinamento visual de *biofeedback*, seguido de cinco minutos de habituação. Em cada sessão, fizeram-se 20 exercícios consecutivos, primeiro durante o repouso vocal e depois durante a fala, na tentativa sempre de reduzir a tensão muscular, observando-se o *feedback* dos músculos laríngeos. O critério inicial de redução da tensão foi de $0,5 \mu\text{V}$ no descanso vocal e $5 \mu\text{V}$ durante a fala, em pelo menos 80% dos exercícios nas três sessões consecutivas. O critério de conclusão da terapia baseou-se nas linhas basais normais para adultos, já que não havia dados normativos para crianças. Após três e seis meses, a tensão muscular em repouso diminuiu de $7,5 \mu\text{V}$ para $3,2 \mu\text{V}$; na fala, de $49,5 \mu\text{V}$ para $10 \mu\text{V}$, valor que foi mantido após seis meses.²⁰

O diferencial desse estudo²⁰ foi a avaliação da qualidade de voz pelos pais da criança, configurou a validade social do tratamento, ou seja, a utilidade e o fato de atingir as expectativas dos pais para os resultados obtidos com o tratamento, deu valor com aplicabilidade social.²³ A validade social requer a comparação de duas estratégias básicas. A primeira é a avaliação objetiva baseada em dados normativos. A segunda é subjetiva, baseada na percepção de um especialista ou de pessoas acostumadas ao evento sob avaliação.²³ Os pais da criança, nesse experimento, indicaram a validade do tratamento devido à generalização dos efeitos na voz, na residência e em outros contextos não clínicos, indicou-se estabilidade da redução de tensão vocal. Outro achado importante dessa pesquisa foi a evidência de uma drástica redução dos nódulos vocais, o que dispensou o tratamento cirúrgico previamente agendado.

Tabela 1 Descrição dos estudos incluídos nesta revisão

Autores	Data	Objetivo	Nº de participantes (idade)	Posição dos eletrodos no <i>biofeedback</i> com EMGs	Resultados
Allen KD, Bernstein B, Chait DH ⁵	1991	Redução da tensão muscular laríngea	1 (8 anos)	Ipsilateral e verticalmente, em alinhamento paralelo com a membrana tireoidiana, com eletrodo-terra colocado no pulso	Validade social da tensão reduzida nos músculos laríngeos e nódulos vocais, com indicação cirúrgica prévia
Watson TS, Allen SJ, Allen KD ¹⁴	1993	Redução da tensão muscular na disфония das pregas vestibulares	1 (26 anos)	Ipsilateral e verticalmente, em alinhamento paralelo ao longo do eixo principal da membrana tireoidiana com eletrodo-terra colocado no pulso	Desaparecimento dos sintomas e persistência dos resultados na avaliação, após seis meses
Ruscello ¹¹	1999	Redução de erros fonológicos de aquisição e automação	4 (9, 10, 14, 29 anos)	<i>Biofeedback</i> com controle de fluxo de ar nasal. <i>Biofeedback</i> autoadministrado sob supervisão, tendo como padrão a pronúncia correta por um instrutor. <i>Biofeedback</i> autoadministrado sob supervisão, com registro da pronúncia do paciente, na articulação da fala usual e correta	Validade social da reaprendizagem articulatória e redução da tensão muscular laríngea
Warnes E, Allen KD ¹⁹	2005	Redução da mobilidade paradoxal da prega vocal e dificuldade respiratória	1 (16 anos)	Ipsilateral e verticalmente, em alinhamento paralelo ao longo do eixo principal da membrana tireoidiana, com o uso da cartilagem tireoidiana como marcador anatômico adicional	Validade social da redução da tensão dos músculos laríngeos, dor torácica reduzida e dificuldade respiratória incapacitante e persistência dos resultados na avaliação após seis meses
Yiu EM-L, Verdolini K, Chow LPY ⁹	2005	Aprendizagem da produção vocal com relaxamento laríngeo Definição da melhor conduta em <i>biofeedback</i> (simultânea ou terminal)	5 (21-27 anos)	Eletrodos posicionados simetricamente na linha média em quatro posições: a) a 1 cm da comissura labial, b) a 0,5 cm da linha média do queixo, c) a 1 cm da linha média mandibular, d) a 0,5 cm da linha média, na membrana tireoidiana, e) um eletrodo-terra firmemente fixado no pulso	Ausência de contribuição de <i>biofeedback</i> para a aprendizagem vocal com relaxamento dos músculos laríngeos, mas presença de relaxamento orofacial, atribuída à possível dificuldade de indivíduos normais em reduzir a tensão muscular laríngea
Kirkpatrick A, McLester JR ¹⁵	2012	Aprendizagem de relaxamento dos músculos depressores da laringe para uma melhor qualidade de voz de cantores	22 (> 21 anos)	Bilateralmente e antes da cartilagem tireoidiana, logo acima da protuberância da laringe	<i>Biofeedback</i> ajuda a ativar os músculos depressores da laringe, aumentando a amplitude e a qualidade tonal
Niziolek CA, Guenther FH ²	2013	Efeito dos limites vocais em respostas compensatórias a distúrbios auditivos em tempo real	36 (19-33 anos)	<i>Biofeedback</i> visual com ressonância magnética funcional enquanto se ouve a gravação da própria fonação normal e com alteração discreta ou acentuada de uma vogal	A correção acústica de erros da fala ativa áreas do cérebro e pode ser reforçada através de <i>biofeedback</i>

O segundo estudo desse grupo²² descreve o caso de um homem de 26 anos com história de disfonia de tensão após laringite grave e influenza viral, com disfonia funcional subsequente da prega vocal vestibular, seis meses antes. Na consulta otorrinolaringológica, identificou-se que o paciente tinha usado medicação analgésica e anti-hipertensiva, que não promoveu ou afetou a disfonia.

O tratamento foi estabelecido com *biofeedback* eletromiográfico, consistiu em duas sessões semanais, com duração de 20-30 minutos, com uma habituação de 10 minutos, em uma sala com atenuação sonora, 1-20 contagens repetidas e conversa casual, sempre nessa ordem, separadas por três minutos de habituação. Ao longo do procedimento, o paciente foi instruído a reduzir a tensão dos músculos da laringe, seja observando o sinal eletromiográfico integrado ou através de respirações profundas, uma técnica de relaxamento que era repetida no domicílio duas vezes ao dia.²²

O paciente foi avaliado após três e seis meses, através de medidas perceptivas, vocais e visuais. Houve redução nos níveis médios de EMG: de 59 μ V para 7 μ V na não vocalização; de 51 μ V para 9 μ V na contagem; e, de 70 μ V para 12 μ V na conversação e essas reduções foram mantidas após seis meses. Na análise perceptiva de voz através do *Vocal Screening Profile Buffalo II Wilson*²⁴ (varia de 1 – normal – até 5 – desvio grave), o desvio foi classificado como 4, no início da terapia, passou para 1,5 após o tratamento.²²

Os autores²² fizeram um comentário interessante sobre a diferenciação do comportamento no *biofeedback* de contagem em relação à conversação. Contrariamente às expectativas iniciais, a intensidade da redução de tensão muscular com o *biofeedback* da eletromiografia em relação à conversação foi diferente da observada na contagem, levou à conclusão de que a contagem e a conversação seguem diferentes dinâmicas. A contagem envolve respostas que não dependem de um ouvinte. A conversação requer um parceiro, cujo comportamento vocal faz a mediação das contingências sociais sutis e explícitas, exige mudanças no estímulo discriminativo para configurações vocais. A partir disso, houve indicação para iniciar-se o tratamento com a conversação, uma vez que ela envolve tarefas mais complexas e mais esforço, permite assim mudanças mais precoces e alcança resultados em um curto período.

O terceiro estudo¹² não foi dedicado à disfonia de tensão muscular. Sua inclusão originou-se da relevância das abordagens apresentadas pelo autor sobre a explicação do uso do *biofeedback* para distúrbios da fala fonêmica. Ele testa e prova a eficácia do uso do *biofeedback* eletromiográfico visual para corrigir transtornos fonológicos em crianças refratárias a outros tratamentos. Os distúrbios consistiram na articulação errada de um fonema (aquisição) ou o mau uso de um fonema já adquirido, em um contexto espontâneo (automação). Essas alterações tornavam difícil a leitura, escrita e alfabetização das crianças, da qual derivou a importância da terapia fonoaudiológica.

Na contextualização para explicar os resultados favoráveis do *biofeedback* eletromiográfico, o autor¹² argumenta que a principal diferença de outras técnicas fonoaudiológicas é reduzir o estímulo auditivo e aumentar a via visual através do sinal instrumental. Essa visualização facilita ao paciente a identificação de um erro de aquisição ou automação. O terapeuta oferece ao paciente a produção

fono-articulatória correta que permite a gravação do modelo mental. Em seguida, ele estimula as emissões do paciente, pede-lhe para anexar mentalmente a tarefa e tentar repetir corretamente a emissão, com o uso do *feedback* visual.

Havia duas fontes de informação sobre *feedback* nesses estudos. Uma delas consistia em detectar o fluxo de ar nasal através do pneumotacógrafo e apresentá-lo na tela do computador como um sinal gráfico. A segunda fonte de informação era o espectrograma do sinal acústico apresentado em tempo real para que o paciente pudesse fazer seus ajustes a fim de alcançar o discurso-alvo. A visão da alteração foi um aviso de produção de erros e permitiu ao indivíduo modificar seu desempenho.

Na primeira sessão,¹² um fonoaudiólogo demonstrou o uso dos equipamentos e exemplificou a fonação correta e errada, registrou-as para servir como o modelo a ser alcançado pelo paciente. Uma vez assegurada a compreensão do paciente sobre a terapia, o paciente fez os exercícios, em sessões com duração de 60 minutos, que foram monitoradas pelo fonoaudiólogo em videoconferência.

Para explicar as razões pelas quais pacientes adolescentes e adultos persistiram com erros de aquisição e automação, o autor¹² contextualiza que o desenvolvimento fonológico ocorre até oito anos, quando o indivíduo atinge o limite superior do desenvolvimento da fala e da linguagem. A partir dessa completude, as mudanças só serão possíveis com a terapia, porque o indivíduo não tem as informações necessárias para fazer as correções. São necessárias outras estratégias para que o indivíduo possa formar um novo engrama, bem diferenciado em relação ao errado, para ser reconhecido e corrigido sempre que articulado.^{12,13}

Ruscello¹² afirma na conclusão do estudo que o *biofeedback* dá bons resultados, não porque esteja restrito apenas à visualização do espectrograma, mas porque o método introduz no complexo dos sistemas envolvidos na fala um novo elemento que tem características receptivas e expressivas, facilita sua integração na correta articulação do discurso.

O quarto estudo²¹ teve como objetivo apresentar o caso de uma adolescente, de 16 anos, branca, com histórico de movimento paradoxal de pregas vocais identificado por videolaringoscopia, associado a dor torácica, disfonia de tensão muscular, dificuldade de respirar e sensação de sufocação. Apesar de ter sido tratada com exercícios de respiração por 12 meses, o progresso não foi observado e um tratamento com *biofeedback* eletromiográfico foi indicado.

O tratamento consistiu em uma sessão semanal, por 10 semanas. Começou com duas sessões para avaliação eletromiográfica da tensão muscular, sem *biofeedback*. A partir de então, cada sessão começou com cinco minutos de descanso vocal basal, seguido de 10 minutos de relaxamento da tensão muscular sob visualização do espectrograma de *biofeedback*, com a orientação de alcançar o critério de redução da contração muscular, mas sem qualquer outra orientação. A paciente deveria obter o relaxamento muscular por tentativa e erro, observar o espectrograma.

Associado ao *biofeedback*, a paciente avaliou sua adaptação percebida com uma escala Likert de 6 pontos e a intensidade da dor torácica através de uma escala visual analógica de 10 pontos. Além disso, a mãe da paciente avaliou a interferência da dor nas atividades da filha, empregou também uma escala Likert de 6 pontos, com o objetivo de determinar a validade social do tratamento. Gradualmente,

novos níveis de tensão foram estabelecidos, menores do que a linha basal da paciente, e a terapia cessou quando níveis normais foram alcançados.

O nível inicial a ser atingido foi fixado em 10 μ V, portanto 2 μ V mais baixos do que os níveis basais do paciente. Novos alvos foram definidos de acordo com os critérios: a) Sempre que, em três sessões consecutivas, o paciente atingisse o objetivo ou o excedesse, atingisse um maior relaxamento, o objetivo era reduzido em 2 μ V; b) Se em duas sessões subsequentes a paciente não atingisse o alvo definido, o alvo era aumentado em 1 μ V. No intervalo de cinco minutos entre uma série e outra, a paciente podia ver o espectrograma para entender seu funcionamento.

Após quatro semanas, a paciente não precisava mais perder atividade escolar e não relatou dor torácica, enquanto sua mãe não relatou interferência de distúrbio vocal nas atividades diárias da menina. Apesar de apresentar bons resultados, os autores²¹ consideraram que as mudanças podem ter resultado de efeitos não específicos derivados da intensidade do exercício, mais do que qualquer recurso de *biofeedback*.

O conjunto de artigos desse primeiro bloco ocorreu de 1991-2005, portanto antes dos estudos de imagem por ressonância magnética para a aplicação de *biofeedback* de voz. Esse grupo foi apresentado nessa revisão sistemática para mostrar o raciocínio predominante nessas duas décadas, fundou a hipótese de que esse método tinha o potencial de modificar o engrama vocal. No entanto, as evidências foram baseadas em pequenas amostras, em estudos de caso com diferentes metodologias, portanto sem a possibilidade de generalização, como bem enfatizado por Warnes e Allen.²¹

Os mecanismos com os quais se buscou explicar os efeitos do *biofeedback* eletromiográfico para a voz foram baseados em reforço comportamental, aumento da autoconfiança e impulso motivacional, mas os resultados foram conflitantes.^{10,25,26} No entanto, a linha de pesquisa não foi abandonada, embora haja poucas publicações.

Essa fragilidade da hipótese motivou estudos com cantores profissionais, uma vez que a ausência de grandes distúrbios vocais poderia facilitar a identificação de novas evidências no *biofeedback* da voz. A escolha dessa população foi uma forma de padronizar algumas variáveis intervenientes. Além disso, esses estudos poderiam esclarecer lacunas nos mecanismos responsáveis pelos resultados da pesquisa e orientar de forma mais objetiva do uso do método na terapia de voz.

Biofeedback na aprendizagem vocal de profissionais

Em uma população com saúde vocal e boa ou excelente qualidade de emissão, os estudos têm procurado identificar a possibilidade de o *biofeedback* eletromiográfico facilitar a aprendizagem biomecânica na produção de voz.

Um estudo teve como objetivo identificar um método para facilitar a aquisição de novas habilidades para a produção de voz com relaxamento laringeo, bem como determinar se o *biofeedback* terminal ou simultâneo aprimora essa aprendizagem.¹⁰

Depois de fazer um projeto-piloto para determinar o tipo e posição dos eletrodos, bem como a forma de fixação,

18 mulheres e quatro homens com média de 22,41 anos (variação de 19-27), sem histórico de problemas de audição ou fala e sem experiência de terapia vocal, que se auto-declaravam saudáveis, foram incluídos no estudo. Depois de afixar um par de eletrodos a 0,5 cm um do outro na linha média da membrana tireóidea e um segundo par a 1 cm da comissura labial, bilateralmente, cada participante sentou-se diante de duas telas de computador. Em um desses, foram projetados 11 blocos de frases de estímulo, para serem lidos em voz alta, procurou-se relaxar a laringe ao observar o EMGs do local da tireoide, que foi projetado na outra tela.¹⁰

Após os dois primeiros estímulos de leitura, os participantes foram randomizados para receber *biofeedback* simultâneo ou terminal em cada leitura. No estímulo simultâneo, os participantes observaram a atividade elétrica muscular enquanto liam as frases. No *biofeedback* terminal, eles leram a frase e depois observaram o gráfico estático do EMsG. O procedimento todo durou aproximadamente 50-60 minutos e foi repetido após uma semana, para estabelecer o relaxamento da laringe, embora sem *biofeedback*.¹⁰

Os resultados do estudo não corroboraram outros achados. Assim, o *biofeedback* não pareceu facilitar a aprendizagem da tarefa vocal. Observou-se a aprendizagem do relaxamento no local facial, mas não no local da tireoide, contrariamente à hipótese inicial desse estudo. O terceiro e mais interessante achado foi a igualdade no *biofeedback* terminal e simultâneo sobre a aprendizagem.

A importância desse estudo foi demonstrar que a concentração de atenção em uma tarefa (que consistia em reduzir a tensão muscular de indivíduos normais a valores inferiores ao seu limite basal) degrada o aprendizado motor, o que demonstrou a complexidade da aprendizagem vocal.

Ao comparar os resultados desse estudo¹⁰ com os de Warnes e Allen,²¹ observou-se a fraqueza que marcou as evidências sobre *biofeedback* eletromiográfico para a voz até a primeira década do século XXI. Para pacientes com disфонia de tensão muscular, os resultados mostraram que tarefas mais complexas em terapia com *biofeedback* eletromiográfico podiam proporcionar melhores condições para bons resultados terapêuticos em menos tempo, o que não era o caso no experimento com cantores. Para eles, a crescente complexidade do experimento causou o não aprendizado da tarefa de voz para o relaxamento muscular.

O segundo estudo¹⁶ buscou a aplicação do *biofeedback* eletromiográfico no aprimoramento vocal de cantores, para ajudá-los a emitir uma voz clara, forte e confortável com uma grande variação, para manter a baixa posição da laringe, o que protege contra lesões em emissões muito altas.¹⁶ Três objetivos foram estabelecidos: provar a utilidade do EMGs como indicador da atividade dos músculos depressores da laringe; testar a utilidade do método para ensinar os cantores a abaixar a laringe, ativar os músculos depressores e manter essa posição enquanto cantam e, em última instância, determinar se a postura laringea melhora a qualidade do tom de canto ou promove uma mudança qualquer em um componente mensurável cientificamente do espectro sonoro.

Vinte e dois cantores clássicos treinados foram comparados com oito cantores não treinados, com o uso de EMGs com eletrodos colocados bilateralmente sobre a cartilagem tireoideana na tentativa de isolar os músculos esterno-hióideo e

o esterno-tireóideo – depressores primários e estabilizadores da laringe. Foi pedido a cada cantor que emitisse quatro vezes a vogal /a/ em um tom um pouco mais alto do que a sua voz (barítono, tenor, mezzo-soprano e soprano), para sair da zona de conforto vocal.

Em todos os casos, o *biofeedback* eletromiográfico permitiu indicar a atividade dos músculos depressores da laringe, além de facilitar a aprendizagem de cantores clássicos para manter a laringe baixa durante o canto, a fim de garantir emissões mais claras, belas e harmônicas.

Percebendo que os cantores com treinamento conseguem melhorar em até 12% seu desempenho basal com alguns minutos de treinamento, sem diferença entre gêneros, os autores¹⁵ sentiram-se encorajados a fazer pesquisas futuras com o mesmo projeto, a fim de acumular evidências.

Deve-se prestar atenção para o detalhe da ausência de diferenças entre gêneros na melhoria vocal com *biofeedback* eletromiográfico, porque, de acordo com os autores,¹⁶ essa informação permite a hipótese de que as mudanças promovidas pela terapia devem ser intensas, uma vez que são maiores do que as diferenças anatômicas da laringe em ambos os sexos. Essas mudanças também devem ser amplas, pois permitem o relaxamento de vários músculos laringeos de acordo com as necessidades do paciente.

Ao analisar os resultados da pesquisa com pacientes disfônicos e cantores, tornou-se evidente a necessidade de considerar a rede neural envolvida no problema e a configuração da voz em um discurso, sejam emissões de fonemas isolados, falando ou cantando.

A comprovação dessas hipóteses iniciou-se a partir da segunda década do século XXI, com estudos sobre ressonância magnética funcional e *biofeedback* com aves, identificou-se que alterações auditivas promoviam correções motoras no canto.²⁷ Esse achado levantou a possibilidade de que, nos seres humanos, o *biofeedback* poderia promover a mudança no comportamento vocal através da reestruturação da rede neural.

Nesse momento, já se admitia que o sistema motor da fala depende do *feedback* auditivo, que é responsável por controlar as articulações vocais de um momento para outro. Assim, se durante a emissão da voz ocorre uma perturbação, o sistema auditivo imediatamente contrapõe-se e permite ajustes corretivos, compensa o desequilíbrio. A explicação para esse mecanismo é que cada som corresponde a uma área auditiva perceptiva.²⁸ Essas regiões cerebrais no córtex auditivo são usadas para atualizar e aprimorar os comandos motores que orientam o sinal acústico ao longo dessas regiões.

Similar a esse sistema fisiológico, os programas disponíveis na internet com *feedback* auditivo ou visual permitem a correção de erros acústicos fonatórios, mas essas correções ainda são rudimentares. No sistema nervoso, presume-se que as percepções auditivas não sejam criadas igualmente, isto é, ao som do mesmo fonema, o registro auditivo pode ser distinguido, de modo que os sons que excedam um certo limiar de volume sejam mais bem identificados do que outros.

Essa habilidade discricionária da natureza da produção de um discurso é uma hipótese na qual se supõe que pequenos desvios vocais não são percebidos pelo indivíduo que os envia, um fenômeno chamado de efeito do magneto perceptivo. No entanto, todos os desvios que atingem um

determinado limite são autorreconhecidos e submetidos ao mecanismo de ajuste vocal. A hipótese era plausível, mas levantou a questão se o erro auditivo dependia apenas do baixo nível de distância auditiva de um limite ou alvo intencional ou se era desencadeado por um tipo de modificação de alto nível.

Em 2013, um estudo foi feito² com *biofeedback* eletromagnético e imagem de ressonância magnética funcional (RMf) para examinar as redes neurais e determinar as mudanças em resposta a distúrbios repentinos do circuito de *feedback* auditivo, desencadeados por modificações acústicas inesperadas, admitiu-se que uma mudança de *feedback* perto de uma região limítrofe pudesse evocar uma resposta mais intensa do que uma mudança em segurança dentro de uma variabilidade aceitável de um determinado som em uma fala.

Dezoito indivíduos destros, entre 19 e 33 anos (média de 23,5 anos), com distribuição de gênero de 1:1, participaram de um experimento comportamental. Todos tinham inglês como primeira língua; não relataram alterações auditivas ou distúrbios da fala e não apresentavam contraindicação para RMf.

O experimento consistiu em duas fases, uma comportamental e a outra de imagem. Na fase comportamental, todos foram submetidos a um pré-teste para definir os parâmetros de produção e percepção da fala de diferentes vogais a serem usadas no experimento.²

Na fase de captura de imagem, a atividade do cérebro foi medida pela RMf, durante a tarefa de *biofeedback*, dentro de um evento desencadeante do mecanismo de coordenação do estímulo. A análise dos mapas de RMf demonstrou, ao monitorar o *feedback* auditivo, que o sistema motor da fala pode corrigir rapidamente pequenos erros articulatórios. Ao considerar a variabilidade de cada indivíduo, pode-se identificar que mudanças similares podem evocar sistematicamente respostas de magnitude diferente, quando ocorrem em diferentes partes do espaço auditivo. Se as mudanças ocorrerem em uma área próxima ao limite para a categoria em que uma mudança acentuada foi observada, ela desencadeia atividade cortical e intensa compensação comportamental. Se a mudança estava longe do limite da categoria modificada, a mudança de comportamento nunca excedeu 8% do comportamento acústico inalterado.²

Esse experimento² mostrou pela primeira vez que o controle auditivo com *biofeedback* é sensível às categorias linguísticas e pode desencadear diferentes comportamentos da rede neural, facilita as correções automáticas do sistema motor da fala, especialmente nas regiões temporal superior e frontal inferior.

A melhoria tecnológica dos eletromiógrafos, eletrodos de superfície e programas de computador para conversão gráfica de corrente elétrica em espectrogramas abriram novos horizontes de pesquisa nesta área, aproximadamente na metade da primeira década do século XXI. Porém, isso não significou maior homogeneidade dos resultados terapêuticos na aplicação de *biofeedback* eletromiográfico para voz. Os relatos de sucesso foram alternados com a ausência de modificações vocais.

Os pesquisadores² buscaram explicações para a disparidade de resultados em duas vias. Um grupo dedicou-se à melhoria da metodologia de *biofeedback* eletromiográfico para distúrbios de voz, buscou reduzir as variáveis de

confusão, cujas atividades poderiam explicar a incapacidade de mostrar evidências.

Um segundo grupo dedicou-se à pesquisa de processos neurais envolvidos na alteração do engrama muscular de pacientes normais e disfônicos, resultou na prova da validade desse método terapêutico, objetivo que foi recentemente alcançado através do estudo por ressonância magnética funcional com cantores, cujos achados podem ser generalizados para pacientes com distúrbios de voz.

O direcionamento de pesquisas futuras deve ser focado em encontrar uma padronização de métodos de *biofeedback* para voz, o que ainda é um grande desafio. Há evidências quanto à validade do método para orientar as emissões vocais com qualidade, mas não existem parâmetros comparativos que permitam generalizações.

Conclusão e pesquisas futuras

Há evidências de que o *biofeedback* eletromiográfico promove mudanças nas redes neurais responsáveis pela fala, especialmente o córtex temporal superior e parietal inferior, permite condições para promover mudanças comportamentais em pacientes normais ou com distúrbio de voz, mas isso ainda é uma hipótese, porque a discussão dos experimentos não tinha evidências fisiológicas que pudessem servir de base.

Financiamento

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)/ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ)/Universal 14/2014 – Faixa A.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

1. Bouchard KE, Mesgarani N, Johnson K, Chang EF. Functional organization of human sensorimotor cortex for speech articulation. *Nature*. 2013;495:327–32.
2. Niziolek CA, Guenther FH. Vowel category boundaries enhance cortical and behavioral responses to speech feedback alterations. *J Neurosci*. 2013;17:12090–8.
3. Cielo CA, Finger LS, Roman-Niehus G, Deuschle VP, Siqueira MA. Organic-functional dysphonia and complains off allergic and/or digestive disturbance. *Rev CEFAC*. 2009;11:431–9.
4. Behlau M, Madazio G, Moreti F, Oliveira G, Santos LMA, Paulinelli BR, et al. Eficiência e valores de corte de protocolos de autoavaliação do impacto de problemas de voz. In: 21º Congresso Brasileiro de Fonoaudiologia, 2º Congresso Ibero Americano de Fonoaudiologia. 2013. p. 9.
5. Pontes PAL, Vieira VP, Gonçalves MIR, Pontes AAL. Características das vozes roucas, ásperas e normais: análise acústica espectral comparativa. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2002;68:182–8.
6. Allen KD, Bernstein B, Chait DH. EMG biofeedback treatment of pediatric hyperfunctional dysphonia. *J Behav Ther Exp Psychiatry*. 1991;22:97–101.
7. Khoddami S, Ansari N, Izadi F, Moghadam ST. The assessment methods of laryngeal muscle activity in muscle tension dysphonia. *Sci World J*. 2013;2013:1–7.
8. Behlau M, Azevedo R, Madazio G. Anatomia da laringe e fisiologia da produção vocal. In: Behlau M, editor. *Voz O livro do especialista*. 1ª ed. São Paulo: Revinter; 2001. p. 1–52.
9. Merletti R, Botter A, Troiano A, Merlo E, Minetto MA. Technology and instrumentation for detection and conditioning of the surface electromyographic signal: state of the art. *Clin Biomech*. 2009;24:122–34.
10. Yiu EM-L, Verdolini K, Chow LPY. Electromyographic study of motor learning for a voice production task. *J Speech Lang Hear Res*. 2005;48:1254–68.
11. Allen KD. EMG biofeedback treatment of dysphonias and related voice disorders. *J Speech Lang Pathol Appl Behav Anal*. 2007;2:149–57.
12. Ruscello DM. Visual feedback in treatment of residual phonological disorders. *J Commun Disord*. 1995;28:279–302.
13. Peper E, Harvey R, Akabayashi N. Biofeedback an evidence based approach in clinical practice. *Jpn J Biofeedback Res*. 2009;36:3–10.
14. George R, Chung TD, Vedam SS, Ramakrishnan V, Mohan R, Weiss E, et al. Audio-visual biofeedback for respiratory-gated radiotherapy: impact of audio instruction and audio-visual biofeedback on respiratory-gated radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2006;65:924–33.
15. Henschen TL, Burton NG. Treatment of spastic dysphonia by EMG biofeedback. *Biofeedback Self Regul*. 1978;3:91–6.
16. Kirkpatrick A, McLester JR. Teaching lower laryngeal position with EMG biofeedback. *J Sing*. 2012;68:253–60.
17. Kirkpatrick A, McLester JR. Training vocalists to achieve and maintain a lower laryngeal while singing using sEMG biofeedback. United Kingdom: Biofeedback Federation; 2012. p. 253–60.
18. Linda CP. Comparison of concurrent and terminal electromyographic biofeedback on the training of laryngeal muscle relaxation. University of Hong Kong; 2002.
19. Schneider-Stickler B, Knell C, Aichstill B, Jocher W. Biofeedback on voice use in call center agents in order to prevent occupational voice disorders. *J Voice*. 2012;26:51–62.
20. Cielo CA, Christmann MK, Ribeiro VV, Hoffmann CF, Padilha JF, Steidl EMS, et al. Musculoskeletal stress syndrome, extrinsic laryngeal muscles and body posture: theoretical considerations. *Rev CEFAC*. 2014;16:1639–49.
21. Warnes E, Allen KD. Biofeedback treatment of paradoxical vocal fold motion and respiratory distress in an adolescent girl. *J Appl Behav Anal*. 2005;38:529–32.
22. Watson TS, Allen SJ, Allen KD. Ventricular fold dysphonia: application of biofeedback technology to a rare voice disorder. *Behav Ther*. 1993;24:439–46.
23. Kennedy CH. Trends in the measurement of social validity. *Behav Anal*. 1992;15:147–56.
24. Muñoz J, Mendoza E, Fresneda MD, Carballo G, Ramirez I. Perceptual analysis in different voice samples: agreement and reliability. *Percept Mot Skills*. 2002;94:1187–95.
25. Maryn Y, De Bodt M, Van Cauwenberge P. Effects of biofeedback in phonatory disorders and phonatory performance: a systematic literature review. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2006;31:65–83.
26. Thomas LB, Stemple JC. Voice therapy: does science support the art. *Commun Disord Rev*. 2007:49–77.
27. Sober SJ, Brainard MS. Vocal learning is constrained by the statistics of sensorimotor experience. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2012;109:21099–103.
28. Golfinopoulos E, Tourville JA, Guenther FH. The integration of large-scale neural network modeling and functional brain imaging in speech motor control. *Neuroimage*. 2010;52:862–74.