

High-speed kymography identifies the immediate effects of voiced vibration in healthy vocal folds

Quimografia ultra-rápida identifica efeitos imediatos da vibração sonorizada em pregas vocais saudáveis

Regina Aparecida Pimenta¹, María Eugenia Dájer², Adriana Hachiya³, Gislaine Ferro Cordeiro⁴, Domingos Hiroshi Tsujii⁵, Arlindo Neto Montagnoli⁶.

- 1) Doutoranda. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia - Universidade de São Paulo - São Carlos.
- 2) Pós-Doutoranda. Departamento de Otorrinolaringologia da Escola de Medicina da Universidade de São Paulo.
- 3) Doutora em Ciências da Otorrinolaringologia. Escola de Medicina da Universidade de São Paulo.
- 4) Doutoranda. Departamento de Otorrinolaringologia da Escola de Medicina da Universidade de São Paulo.
- 5) Livre Docente do Departamento de Otorrinolaringologia da Escola de Medicina da Universidade de São Paulo.
- 6) Docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de São Carlos.

Instituição: Programa de Pós-graduação em Ciências na área de Bioengenharia da Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto e Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP – São Carlos (SC), Brasil.

Institution: University of São Paulo - Post Graduation in Bio-Engineering.
São Carlos / SP - Brasil.

Endereço para correspondência: Regina Aparecida Pimenta - João Ramalho Street - Jardim Centenário - São Carlos / SP - Brasil - CEP: 13564-090 - Telefone: (+55 16) 3373-8745 - E-mail: ginapimenta@usp.br.

Este trabalho recebeu suporte da FAPESP para a compra do equipamento de videolaringoscopia de alta velocidade (processo: 09/511698-2) e financiamento da pesquisa (processo: 2010/03345-0).

Artigo recebido em 7 de Agosto 2012. Artigo aprovado em 4 de Novembro de 2012.

SUMMARY

Introduction: The effects of voiced vibration technique can be assessed by laryngeal imaging. Kymographic images derived from high-speed videoendoscopy allow actual visualization of vocal folds vibration.

Purpose: The aim of this study is to identify the immediate effects of the voiced vibration technique in healthy vocal folds using high-speed digital laryngeal imaging.

Methods: Samples were obtained from 15 healthy subjects with no history of voice disorders (6 men and 9 women aged 21 to 43 years). High-speed videoendoscopy recordings were performed before and after the voiced vibration technique. Kymographic images were obtained using high-speed videoendoscopy. The vocal folds were examined in their open and closed positions and the characteristics of the opening and closing phases were determined. A customize computational routine was used quantify these parameters. The closing, opening, and speed quotients were also calculated.

Results: In this study, women displayed statistically significant differences in opened phase ($P=0.05^*$), closed phase ($P=0.046^*$), and closing phase ($P=0.026^*$) phase characteristics. Men displayed the highest difference rate in opening time characteristics ($P=0.06$). The closing and opening quotients for the female group showed significant differences ($P=0.029^*$ and $P=0.049^*$, respectively). The speed quotient exhibited statistically significant differences in the male group ($P=0.048^*$).

Conclusion: The kymographic images indicated that the immediate effect of the voiced vibration technique was smooth contact in healthy vocal fold vibration.

Key words: High-speed digital imaging, Kymography, Voiced vibration, Voice.

RESUMO

Introdução: Os efeitos da técnica de vibração sonorizada podem ser avaliados por imagens laríngeas. Imagens quimográficas extraídas de videolaringoscopias de alta velocidade permitem visualizar a real de vibração das pregas vocais.

Objetivo: identificar os efeitos imediatos das vibrações sonorizadas em pregas vocais saudáveis, por meio de análise de quimografias ultra-rápidas.

Método: Participaram 15 sujeitos saudáveis sem histórico de disfonias (6 homens e 9 mulheres, de 21 à 43 anos). As videolaringoscopias de alta velocidade foram gravadas antes e depois das vibrações sonorizadas. As imagens quimográficas foram extraídas das videolaringoscopias em alta velocidade. As pregas vocais foram examinadas de acordo com os tempos das fases: aberta, fechada, abrindo e fechando. Foram calculados os coeficientes de fechamento, abertura e velocidade.

Resultados: as pregas vocais femininas apresentaram mudanças significativas aos tempos de fase aberta (0.05^*), fechada (0.046^*), de fechamento (0.026^*), ao coeficiente de fechamento e abertura (0.029^* e 0.049^* , respectivamente). As pregas vocais masculinas apresentaram diferença estatística ao coeficiente de velocidade (0.048^*).

Conclusão: os resultados indicaram como efeito imediato das vibrações sonorizadas o contato suave de pregas vocais saudáveis.

Palavras chave: Imagem digital de alta velocidade, quimografias, vibração sonorizada, voz.

INTRODUÇÃO

Os exercícios de trato vocal semi-ocluído são usados para o tratamento das disfonias e aquecimento de profissionais da voz. A intenção é reduzir e minimizar a tensão de colisão nas vibrações das pregas vocais (1). A técnica de vibração sonorizada é um exemplo destes exercícios. Ela tem sido amplamente utilizada, contudo, de forma intuitiva na clínica fonoaudiológica (2, 3). As vibrações sonorizadas devem ser realizadas com rápidas e repetidas oscilações dos lábios ou língua pela passagem do fluxo de ar expiratório e com emissão simultânea de voz (4). Ela tem sido inçada para a maioria dos distúrbios vocais e, por esta razão, tem atraído a atenção dos pesquisadores nos últimos anos (3).

A literatura descreve como efeito positivo das vibrações sonorizadas maior interação não-linear entre trato vocal e a fonte glótica e aumento das pressões supra e subglótica, permitindo assim um alcance econômico de produção vocal (1). Atualmente, os efeitos de exercícios vocais podem ser identificados por meio de instrumentação moderna de avaliação da voz (2). O sistema de gravação de imagens digital em alta velocidade é o método mais atual de laringoscopia utilizado em pesquisas na área da voz, a qual permite observar o real padrão vibratório das pregas vocais (5, 6). A quimografia ultra-rápida é uma imagem extraída de videolaringoscopias de alta velocidade. Ela permite realizar uma análise quantitativa da função vibratória das pregas vocais (5, 6, 7).

As imagens quimográficas são obtidas pela justaposição dos quadros de imagens digitais laríngeas. Para este método é preciso selecionar a posição de corte das imagens das pregas vocais com maior amplitude de abertura. A partir destas imagens são medidas os tempos de fase: aberta, fechada, de abertura, de fechamento do ciclo vibratório e a amplitude lateral das pregas vocais (5,6). Este método pode ser usado para investigar os efeitos dos exercícios vocais. Conhecer estes efeitos é uma necessidade atual da clínica fonoaudiológica, por isto, o objetivo deste estudo foi identificar o efeito imediato do exercício de vibração sonorizada em pregas vocais saudáveis por meio de análises de quimografia ultra-rápida.

MÉTODO

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), sob o número de protocolo 256/2010. Todos participantes leram e assinaram o termo de Consentimento Livre e Esclarecido de acordo como a resolução 196/96.

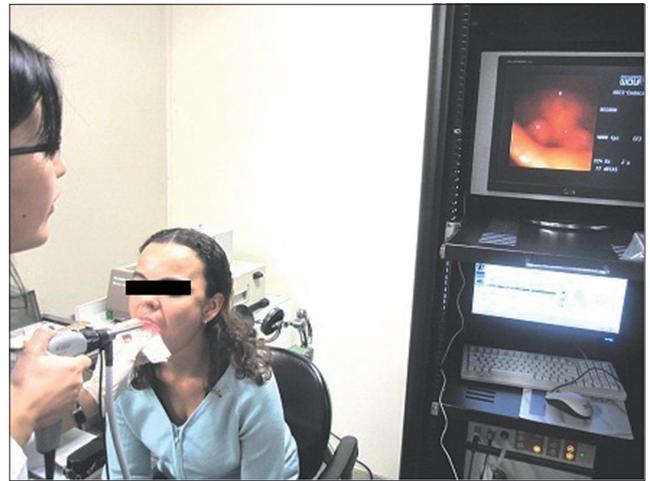


Figura 1. Procedimento do exame de laringoscopia realizado com o equipamento da Richard Wolf para a gravação de imagens laríngeas em alta velocidade. As imagens laríngeas são capturadas a uma taxa de 4000 quadros por segundos pela câmara (Endocan – 5562) acoplada ao laringoscópio rígido (esquerda). O equipamento é constituído de fonte de luz de 300 W (AUTO LP 5132) e computador com monitor colorido (direita) para a transmissão e análise dos dados das imagens.

Participantes

Este é um estudo prospectivo conduzido no ambulatório do Grupo de Voz da Divisão de Clínica Otorrinolaringológica do Hospital das Clínicas (HC-FMUSP). Os critérios de inclusão foram histórico negativo de problemas vocais, não fumantes, baixo consumo de bebidas alcoólicas, livres de complicações da saúde no momento da coleta e voz adaptada de acordo com o julgamento perceptivo-auditivo realizado por uma fonoaudióloga experiente. Assim, participaram 15 indivíduos, 6 homens e 9 mulheres, entre a faixa etária de 21 a 43 anos.

Equipamento

Os participantes passaram por videolaringoscopias de alta velocidade foram antes e depois de realizarem o exercício vocal de vibração sonorizada. As imagens das videolaringoscopias foram capturadas e armazenadas por um sistema (Richard Wolf, Modelo HRES ENDOCAM 5562, Knittlingen, Alemanha) que adquire imagens a uma taxa de 4000 quadros por segundo com uma resolução espacial de 256 X 256 pixel. Um endoscópio rígido de ângulo 90°, acoplado a câmara de gravação em alta velocidade, foi usado para gravar as seqüências de imagens laríngeas. O sistema é acoplado a um computador com monitor colorido (Figure 1).

O primeiro exame de laringoscopia em alta velocidade foi realizado antes do exercício vocal. O sujeito foi

colocado em uma cadeira para o procedimento, o qual envolve a inserção do endoscópio na cavidade oral do sujeito até a faringe posterior. O participante foi instruído a produzir a vogal sustentada /E/ enquanto o médico segura a língua (Figure 1). A vogal sustentada /E/ foi produzida em Pitch e Loudness habitual. O endoscópio foi ajustado paralelamente à região superior da superfície das pregas vocais. O tempo de gravação de cada videolaringoscopia foi de dois segundos (4000 quadros/s).

Procedimento do experimento

O passo seguinte foi a aplicação do exercício vocal. Cada participante foi instruído por uma fonoaudióloga a produzir rápidas e repetidas oscilações de lábios ou língua junto com emissão de voz. As vibrações sonorizadas foram produzidas em altura e tom confortáveis. Os sujeitos do gênero feminino realizaram o exercício vocal durante três minutos, enquanto que os sujeitos do gênero masculino exercitaram por cinco minutos (11).

Para finalizar foi realizado o segundo exame de videolaringoscopia de alta velocidade, depois do exercício vocal. Nesta avaliação, o endoscópio rígido foi mantido na laringe no mesmo ângulo e distância que do exame realizado antes do exercício vocal. Durante o procedimento da coleta de dados a frequência fundamental e a intensidade foram de emissão foram controladas. A frequência fundamental foi controlada por meio de de um teclado virtual do *software SpeechPitche* a intensidade foi medida por um decibelímetro (RadioShack, Modelo 33-2055, New York, USA) colocado a 30 cm da comissura labial do sujeito.

Análise dos parâmetros quimográficos

As gravações em alta velocidade foram convertidas em extensão de arquivo .AVI e processadas por um *software* próprio do sistema de gravação de imagens. As quimografias ultra-rápidas foram obtidas por meio do traçado de uma linha na região medial da imagem laríngea para a captura e justaposição dos quadros de imagens das pregas vocais ao longo do tempo (Figure 2.) (5). O ponto médio foi escolhido devido suas características de maior mobilidade das pregas vocais (12, 13).

Uma rotina computacional personalizada de pesquisa foi desenvolvida para quantificar, em milissegundos (ms), as fases: aberta, fechada, de abertura e de fechamento nas quimografias ultra-rápida. Estas fases representam o período fundamental das pregas vocais (Figure 3). Estes dados foram usados para calcular os coeficientes de fechamento, abertura e velocidade. O coeficiente de fechamento é uma estimativa da porcentagem do tempo em que as pregas vocais estão

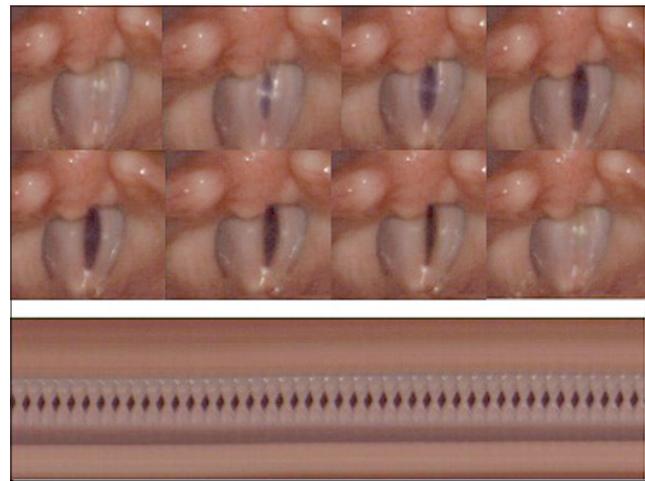


Figura 2. À cima: O trecho de um período de vibração de uma sequência gravada em alta velocidade de pregas vocais saudáveis masculinas. À baixo: Uma quimografia ultra-rápida extraída da sequência gravada em alta velocidade apresentada à cima.

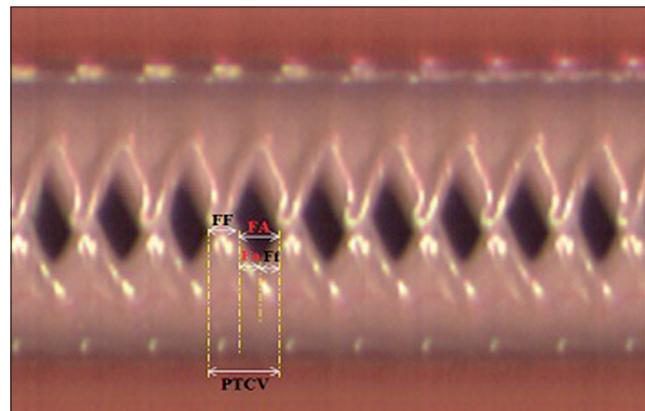


Figura 3. Imagem quimográfica apresentando as fases do ciclo vibratório. PTCV: período total de um único ciclo vibratório, FF: fase fechada, FA: fase aberta, Ff: fase de fechamento e Fa: fase de abertura.

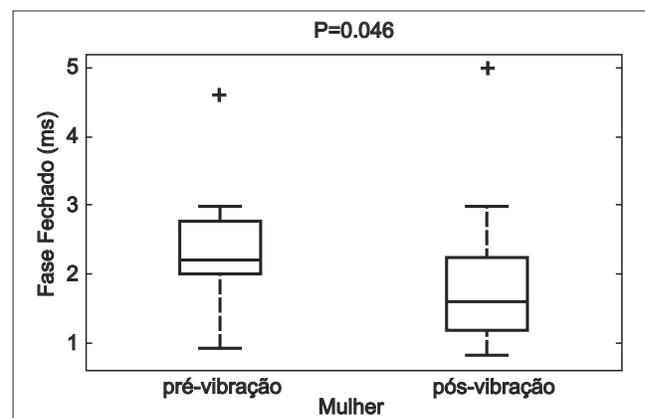


Figura 4. Distribuição dos valores médios e desvios-padrão da fase fechada extraída antes e depois do exercício de vibração sonorizada por quimografias ultra-rápidas de pregas vocais femininas.

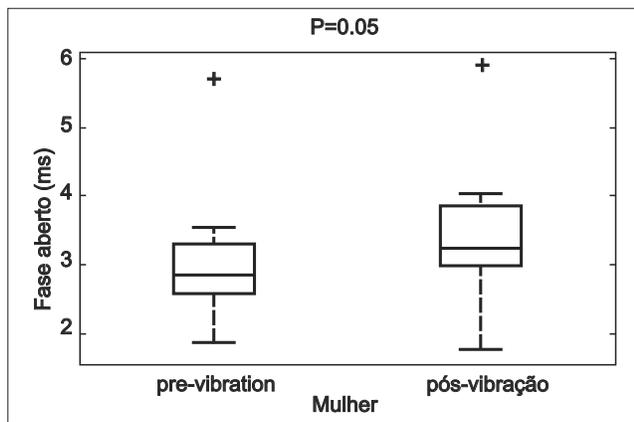


Figura 5. Distribuição dos valores médios e desvios-padrão da fase aberta extraída antes e depois do exercício de vibração sonorizada por quimografias ultra-rápidas de pregas vocais femininas.

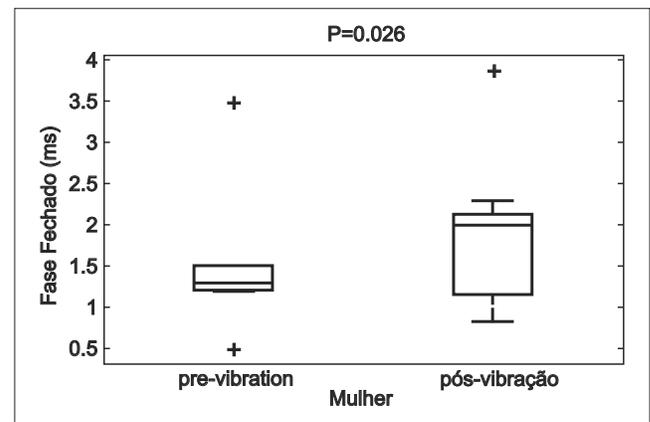


Figura 6. Distribuição dos valores médios e desvios-padrão da fase fechamento extraída antes e depois do exercício de vibração sonorizada por quimografias ultra-rápidas de pregas vocais femininas.

Tabela 1. Comparação entre os coeficientes pré e pós-exercício de vibração sonorizada de pregas vocais femininas. Média (M), desvio-padrão (DP), mínimo, máximo e p-valor dos coeficientes de abertura (OQ), fechamento (CQ) e velocidade (SQ).

Parâmetros	OQ		CQ		SQ	
	pré	pós	pré	pós	pré	pós
M	0,56	0,63	0,44	0,35	1,25	1,08
DP	0,11	0,13	0,11	0,15	0,56	0,66
Mínimo	0,38	0,36	0,21	0,18	0,63	0,60
Máximo	0,79	0,82	0,62	0,64	2,66	2,63
P-valor	0,049*		0,029*		0,57	

Teste estatístico: t-pareado, com nível de significância 0,05.

Tabela 2. Comparação entre os coeficientes pré e pós-exercício de vibração sonorizada de pregas vocais masculinas. Média (M), desvio-padrão (DP), mínimo, máximo e p-valor dos coeficientes de abertura (OQ), fechamento (CQ) e velocidade (SQ).

Parâmetros	OQ		CQ		SQ	
	pré	pós	pré	pós	pré	pós
M	0,53	0,55	0,40	0,37	1,48	1,31
DP	0,19	0,20	0,15	0,15	0,91	1,18
Mínimo	0,46	0,47	0,35	0,34	1,00	0,54
Máximo	0,79	0,82	0,62	0,64	3,80	4,52
P-valor	0,15		0,10		0,048*	

Teste estatístico: t-pareado, com nível de significância 0,05.

fechadas durante cada ciclo vibratório. O coeficiente de abertura é uma estimativa da porcentagem de tempo em que as pregas vocais estão abertas durante cada ciclo vibratório. E o coeficiente de velocidade é uma relação entre os tempos de abertura e fechamento das pregas vocais (14).

Análise estatística

Os dados foram comparados entre as amostras pré

e pós-exercício vocal por meio do teste t-pareado com nível de significância 0,05.

RESULTADOS

Os resultados da análise estatística estão apresentados nas Figuras 4, 5, 6 e nas Tabelas 1 e 2. Houve diferença estatística aos parâmetros de fase: aberta, fechada, de fechamento; e aos coeficientes de fechamento e abertura

em pregas vocais femininas. As pregas vocais masculinas apresentaram diferença estatística para o coeficiente de velocidade.

DISCUSSÃO

A vibração sonorizada é um exercício de trato vocal semi-ocluído, que promove produção de voz com intensidade normal e menor trauma mecânico entre dos tecidos durante a fonação. Este exercício direciona a condição de oscilação das pregas vocais as quais se aduzem levemente pela pressão retroflexa no trato vocal. O fluxo de ar glótico e as colisões das pregas vocais são minimizados (1). Neste estudo, o objetivo foi identificar o efeito imediato das vibrações sonorizadas em pregas vocais saudáveis. Para isto aplicamos um método de análise de quimografias ultrarápidas. O efeito descrito por Titez (1) foi percebido pelo método utilizado na presente investigação. Os padrões vibratórios de pregas vocais femininas apresentaram mudanças significativas. Os resultados indicam contato suave entre pregas vocais femininas devido a diminuição na velocidade de aproximação da mucosa ($p = 0,026^*$ fase de fechamento), e do tempo em que as pregas vocais permaneceram fechadas ($p = 0,046^*$ fase fechada). Além disso, houve aumento no tempo em que as pregas vocais permaneceram abertas ($p = 0,05^*$ fase aberta). As mudanças aos padrões vibratórios do grupo masculino sugeririam contato suave entre pregas vocais durante a fonação. Os resultados apontam para uma lenta aproximação da mucosa das pregas vocais ($p = 0,08$ fase de fechamento), aumento da velocidade de abertura das mesmas ($p = 0,06$ fase de abertura), e aumento no tempo em que a glote permanece na posição aberta ($p = 0,06$ fase aberta). Contudo, os resultados para o gênero masculino não foram significativos indicando a necessidade de mais pesquisas com maior número de amostra.

Não foram encontrados estudos investigando os efeitos de exercícios vocais por meio de parâmetros quimográficos. Na literatura, um estudo (15) realizado com análises de videoestroboscopias encontrou resultados semelhantes ao dessa pesquisa, entretanto, o estudo investigou vozes femininas após ter aplicado um conjunto de técnicas vocais que incluíam as vibrações sonorizadas. Gaskill and Erickson (16) estudaram as vibrações sonorizadas por meio do coeficiente de fechamento estimado em sinais de eletroglotográficas (EGG). Os autores encontraram menor coeficiente fechado durante as vibrações sonorizadas, concluindo que para ocorrer o ciclo glótico durante as vibrações sonorizadas é preciso aumentar o fluxo de ar para sustentar tanto as oscilações da parte anterior do trato vocal como da fonte glótica (16). No presente estudo, o coeficiente de fechamento foi extraído de quimografias ultrarápidas, mas os resultados concordam com as conclusões

apresentadas por Gaskill and Erickson (16). Os resultados podem ser interpretados como mudanças no comportamento dos padrões vibratórios das pregas vocais com redução de trauma mecânico dos tecidos durante a fonação.

Os dados pré e pós-exercício vocal para coeficientes forneceram mais sustentação aos dos parâmetros quimográficos. Em pregas vocais femininas o efeito produzido pelo exercício é evidenciado pelo decréscimo nos valores de coeficiente de fechamento ($p = 0,029^*$), indicando que o tempo necessário para ocorrer o contato entre pregas vocais é menor que para ocorrer todo o ciclo glótico. Além disso, a média do coeficiente de abertura aumentou ($p = 0,049^*$) indicando maior tempo da glote na posição aberta ao longo de todo o ciclo glótico. Estas relações mostram o esperado como efeito das vibrações sonorizadas, ou seja, após o exercício vocal a glote permanece mais tempo aberta que se fechando e se abrindo. Em pregas vocais masculinas o efeito esperado pelo exercício foi identificado pelo coeficiente de velocidade ($p = 0,048^*$). O parâmetro apresentou diminuição significativa dos valores médios após as vibrações sonorizadas. Isto pode ter ocorrido devido ao aumento na velocidade de aproximação da mucosa das pregas vocais. Este comportamento pode ser entendido como um efeito que prioriza o lento fechamento e rápido contato das pregas vocais para evitar as colisões mecânicas com trauma durante a fonação.

CONCLUSÃO

No presente estudo foi identificado como efeito imediato das vibrações sonorizadas o contato suave entre pregas vocais saudáveis. As pregas vocais femininas apresentaram maior suscetibilidade à influência do exercício de vibração sonorizada. Contudo são necessários mais com maior números de amostras, principalmente do gênero masculino, para a confirmação dos resultados destas pesquisas.

A quimografia ultra-rápida mostrou ser uma eficiente ferramenta de avaliação vocal, podendo ser usada em outras pesquisas de exercícios vocais.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação Interunidades em Bioengenharia – USP/ São Carlos. Aos membros do Departamento de Otorrinolaringologia da Faculdade de Medicina – USP/ São Paulo e aos membros do Laboratório de Processamento de Sinais Biológicos da Escola de Engenharia de São Carlos – USP/ São Carlos. Este trabalho recebeu financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo por meio de bolsa de mestrado (FAPESP: 2010/

03345-0) e compra do equipamento de videolaringoscopia de alta velocidade (FAPESP: 09/511698-2).

REFERÊNCIAS

1. Titze IR. Voice Training and therapy with a semi-occluded vocal tract: rational and scientific underpinnings. *J Speech Lang Hear Res.* 2006;49:448-59.
2. Elliot N, Sundberg J, Gramming P. Physiological aspects of a vocal exercise. *J Voice.* 1997;11(2):171-7.
3. Azevedo LL, Passaglio KT, Rosseti MB, Silva CB, Oliveira BF, Costa RC. Avaliação da performance vocal antes e após a vibração sonorizada de língua. *Rev Soc Bras Fonoaudiol.* 2010;15(3):343-8.
4. Schwarz K, Cielo CA. Modificações laríngeas e vocais produzidas pela técnica de vibração sonorizada de língua. *Pró-Fono.* 2009;21(2):161-6.
5. Tsuji DH, Sennes LU. Videoquimografia de laringe: novo método de avaliação da vibração cordal. *Arq Fund Otorrinolaringol.* 1998;2(4):136-40.
6. Koishi HU, Tsuji DH, Imamura R, Sennes LU. Variação da intensidade vocal: estudo da vibração das pregas vocais em seres humanos com videoquimografia. *Rev Bras Otorrinolaringol.* 2003;69(4):464-70.
7. Yan Y; Damrose E; Bless D. Functional Analysis Of Voice Using Simultaneous High-Speed Imaging and Acoustic Recordings. *J Voice.* 2007;21(5):604-16.
8. Gasparini G, Behlau M. Quality of life: validation of the Brazilian version of the voice-related quality of life (V-RQOL) measure. *J Voice.* 2009;23(1):76-81.
9. Behlau M, Oliveira G, Santos La, Ricarte A. Validação no Brasil de protocolos de auto-avaliação do impacto de uma disfonia. *Pró-Fono.* 2009;21(4):326-32.
10. Yamazaki R, Leão SHS, Madazio G, Padovani M, Azevedo R, Behlau M. Correspondência entre escala analógico-visual e a escala numérica na avaliação perceptivo-auditiva das vozes. XVI Congresso Brasileiro de Fonoaudiologia, 2008, Campos do Jordão (SP).
11. Menezes MH, de Campos Duprat A, Costa HO. Vocal and laryngeal effects of voiced tongue vibration technique according to performance time. *J Voice.* 2005;19(1):61-70.
12. Kurita, S. Layer structure of the human vocal fold: morphological investigation. *Otologia (Fukuoka).* 1980;26:973-97.
13. Haji T, Isshiki N, Mori K, Omori K, Taira T, Honjo I. Experimental study of the mobility of the vocal fold mucosa. *Folia Phoniatr.* 1991;43(1):21-8.
14. Hirano M. Phonosurgery. Basic and clinical investigations. *Otologia (Fukuoka) (Suppl 1)* 1975;21:239-440.
15. Pereira EC, Silvério KCA, Marques JM, Camargo PAM. Efeito imediato de técnicas vocais em mulheres sem queixa vocal. *Rev CEFAC.* 2011;13(5):886-94.
16. Gaskill CS, Erickson ML. The effect of a voiced lip trill on estimated glottal closed quotient. *Journal of Voice.* 2008;22(6):634-43.