

Desenvolvimento de aparelho de diapasão como uma ferramenta auxiliar nas manobras de higiene brônquica para fisioterapeutas

Development of a tuning fork device as an auxiliary tool for bronchopulmonary hygiene for physical therapists

José Roberto de Alcântara¹; Rodrigo Leonel dos Santos²; Daniel Donaire Albino³; Roberta Munhoz Manzano⁴

¹Fisioterapeuta – FIB. São Paulo, SP – Brasil.

²Fisioterapeuta, Unidade de Terapia Intensiva do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina – HCFM/USP. São Paulo, SP – Brasil.

³Graduando em Engenharia Elétrica – Unip. Bauru, SP – Brasil.

⁴Docente do curso de Fisioterapia – FIB e Unesp. Marília, SP – Brasil.

Endereço para correspondência

Roberta Munhoz Manzano
R. Bartolomeu de Gusmão, 2-102, apto. 24, Jardim América
17017-336 – Bauru, SP – Brasil.
roberta_m@hotmail.com

Resumo

Introdução: O diapasão terapêutico com a finalidade de higiene brônquica ainda não foi descrito na literatura. Espera-se que um diapasão com frequência fixa de 25 Hz seja capaz de gerar vibrações dentro do tórax, facilitando a higiene brônquica. **Objetivo:** Desenvolver um aparelho de diapasão e calibrá-lo a uma frequência fixa de 25 Hz. **Métodos:** O diapasão foi confeccionado em aço trefilado utilizando máquinas de tornearia para curvar, moldar e soldar o aço. Após a confecção, a frequência gerada pelo aparelho foi avaliada com um osciloscópio digital. **Resultados:** O equipamento foi confeccionado em formato de forquilha, com peso de 492 gramas, comprimento de 624 mm, contendo um transdutor de 62 mm e espessura de 5/16 mm (8'), uma haste removível de 148 mm e um garfo de 362 mm de comprimento. O equipamento atingiu frequência fixa de 25 Hz. **Conclusões:** O diapasão atingiu a frequência proposta, porém são necessários mais estudos para verificar sua eficácia.

Descritores: Oscilação da parede torácica; Terapia Respiratória; Vibração.

Abstract

Introduction: The therapeutic tuning fork for bronchial hygiene has not been described in the literature. It is expected that a tuning fork with a fixed frequency of 25 Hz is capable of generating chest wall oscillation facilitating bronchial hygiene. **Objective:** To develop a tuning fork and calibrate it at a fixed frequency of 25 Hz. **Methods:** The tuning fork was made of drawn steel, using lathes machines for bending, shaping and welding steel. After fabrication, the frequency generated by the tuning fork was evaluated using a digital oscilloscope. **Results:** The product was made fork-shaped, with 492 grams weight, length 624 mm, containing a transducer of 62 mm and a thickness of 5/16 mm (8'), a shank and a removable fork 148 mm 362mm in length. The equipment reaches a fixed frequency of 25Hz. **Conclusions:** The tuning fork reached the frequency proposal, but further studies are needed to verify its effectiveness.

Key words: Chest wall oscillation; Respiratory therapy; Vibration.

Introdução

A mucosa das vias aéreas é formada por um epitélio pseudoestratificado cilíndrico ciliado, intercalada por glândulas submucosas e células caliciformes que produzem muco. As vias aéreas representam a primeira interface entre o meio interno e os microrganismos, os alérgenos ou as partículas inaladas, que durante a respiração são depositadas no aparelho respiratório. A principal função do aparelho mucociliar é a remoção de partículas ou substâncias potencialmente agressivas ao trato respiratório por meio do transporte pelos cílios, ou pela tosse e espirro, nos quadros de hiperprodução de muco, como a bronquite crônica e fibrose cística^{1,2}.

Os cílios são os propulsores do transporte mucociliar. O número de cílios por célula varia de 50 a 100, sofrendo influência da idade e posição no trato respiratório. Em condições normais, os cílios da mucosa septal e dos cornetos inferiores batem a uma frequência de 12 a 15 Hz. O batimento ciliar apresenta uma sequência coordenada, produzindo uma onda metacrônica, cujo mecanismo de controle permanece desconhecido. Essa onda dirige o fluxo do muco nas cavidades nasais em direção à nasofaringe e, posteriormente, à orofaringe e à hipofaringe, em que as secreções são expectoradas pela tosse ou deglutidas³.

Alterações ultraestruturais dos cílios, como ausência dos braços internos ou externos de dineína, deleção ou transposição de pares de microtúbulos centrais ou periféricos, produzem alterações significativas na frequência e padrão do batimento ciliar, as quais geram estase de secreções e infecções respiratórias de repetição, a exemplo das discinesias ciliares primárias^{4,5}. O batimento ciliar é extremamente influenciado e dependente das propriedades viscoelásticas e de transporte do muco respiratório. O tapete que reveste o epitélio ciliado é composto pelo muco respiratório e fluido periciliar. Em condições patológicas existe uma intensa modificação na composição do muco, afetando de forma direta e indireta a função mucociliar, principalmente

devido a alterações nas propriedades viscoelásticas do muco respiratório. Considerando a importância que as alterações no transporte mucociliar produzem na fisiologia das vias aéreas, torna-se fundamental o desenvolvimento e utilização de métodos que permitam tanto análise experimental como aplicabilidade clínica do transporte mucociliar³.

Vibração é um movimento periódico, ou aleatório, de um elemento estrutural ou peça de uma máquina, um movimento repetitivo a partir de uma posição de repouso. Na natureza, existem inúmeros sistemas que podem oscilar em torno de uma posição de repouso. Em sistemas reais, essas oscilações são normalmente amortecidas, ou seja, elas desaparecem gradualmente com o tempo se nenhum estímulo externo for aplicado ao sistema. Esse efeito é decorrente da dissipação de energia que ocorre durante as oscilações⁶. Para que as oscilações se propaguem, é necessário que o meio de propagação tenha propriedades elásticas. Então, o movimento de um corpo vibrando é transmitido às moléculas adjacentes, as quais, antes de retornarem à posição de equilíbrio, transmitem esse movimento para as outras que estão ao redor⁷.

O muco respiratório é um fluido não newtoniano tendo suas propriedades mecânicas mudadas de acordo com a intensidade e a frequência da força aplicada sobre ele, sendo de grande importância estudos a respeito da ação dessa frequência em uma amostra de muco, tendo em vista que estímulos de baixa frequência (1 a 10 radianos/segundo) refletem o transporte pelo muco, e os de alta frequência (100 radianos/segundo) simulam tosse e espirro³.

A fisioterapia respiratória é um recurso efetivo na prevenção e no tratamento de diversas doenças respiratórias, utilizando técnicas de reexpansão pulmonar e manobras de higiene brônquica⁸. A literatura é controversa com relação à eficácia dessas manobras, no entanto elas continuam sendo exaustivamente usadas na prática clínica⁹. As manobras de fisioterapia respiratória mais utilizadas são a percussão pulmonar, tosse assistida, estimulação da tosse,

terapia expiratória forçada, estimulação diafragmática e costal e a drenagem postural, e a junção da vibração e compressão resultam na manobra de vibrocompressão⁸.

Em uma revisão de literatura sobre percussão, vibração, oscilação de alta frequência e compressão mecânica da parede torácica na higiene das vias aéreas, concluiu-se que a vibração mecânica pode aumentar o transporte mucociliar e que a compressão torácica de alta frequência foi mais promissora na eliminação de secreção do que a oscilação oral de alta frequência¹⁰.

A segurança e a eficácia da fisioterapia respiratória são influenciadas pelo ritmo das vibrações dentro do ciclo respiratório. As vibrações realizadas no início da expiração podem aumentar o pico de pressão inspiratória, mas as vibrações executadas no final da expiração, embora não prejudiquem, não são eficazes para aumentar o pico de fluxo expiratório¹¹.

As modalidades de manobras de higiene brônquica e os dispositivos auxiliares, apresentam algumas limitações encontradas na prática clínica, como, por exemplo, a presença de alterações na caixa torácica, como a osteoporose que inviabiliza as percussões ou o nível de consciência que é exigido para a utilização do Flutter^{12, 13, 14}. Para enriquecer as técnicas de higiene brônquica e possibilitar o tratamento dos pacientes que apresentam as limitações acima citadas, faz-se necessário o desenvolvimento de um equipamento que não seja limitado a elas.

O diapasão foi inventado por John Shore, em 1711, para fins musicais. Trata-se de uma forquilha de aço que ao se percutir produz vibração sonora de determinada frequência para determinados objetivos⁶. A partir de então, começaram a surgir estudos^{6, 15-18} utilizando esse instrumento com finalidades diagnósticas. Entretanto, não há na literatura relatos sobre o uso desse equipamento para higiene brônquica.

A frequência ideal de vibração capaz de mobilizar maior quantidade de secreção ainda é bastante discutida. Para maior eficiência, é aconselhável que as vibrações atendam aos seguintes critérios: aplicação sobre a região a ser

tratada no sentido perpendicular, realizada durante a expiração e com frequência entre 3 e 25 Hz¹⁵. Em razão dessa discrepância da literatura sobre a frequência ideal para uma vibração eficaz, sugere-se a confecção de um diapasão com finalidade terapêutica, de maneira que seja uma ferramenta de natureza mecânica vibratória que possibilite uma vibração necessária para desencadear a propriedade do muco de tixotropia (fenômeno no qual um coloide altera sua viscosidade de acordo com a submissão à vibração/cisalhamento) e assim diminuir a viscosidade desse muco, facilitando a terapia respiratória. Além disso, espera-se que esse instrumento possa ser utilizado nos casos em que existam algumas contraindicações de terapias manuais, como fratura de costelas, malformações na caixa torácica, osteoporose.

O objetivo neste estudo foi desenvolver um aparelho de diapasão e calibrá-lo a uma frequência fixa de 25 Hz (por ser a mais citada na literatura) com o intuito de, posteriormente, utilizá-lo com finalidades terapêuticas, como ferramenta auxiliar para as manobras de higiene brônquica.

Material e métodos

Este estudo foi desenvolvido nas Faculdades Integradas de Bauru, sendo aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa das Faculdades Integradas de Bauru, sob o protocolo de número 022/11 OSH.

Ao diapasão terapêutico, foi dado o nome de Diottix (Dispositivo Oscilador Torácico Tixotrópico, patente para aprovação, Vilage Marcas e Patentes S/S Ltda., as. 84172).

O diapasão terapêutico é um dispositivo que foi confeccionado em aço trefilado 1045, com dimensões de 760 mm de comprimento; esse material foi moldado, em formato de forquilha de 362 mm de comprimento, com auxílio de uma máquina para curvar e moldar tubos a frio da marca Feva (modelo: 38-50-76CN, Cotia – SP, 2001). Em sua extremidade superior, há um prolongamento removível moldado também com o

equipamento supracitado, adquirindo formato sinuoso bilateralmente de 80 mm de comprimento e 5/32 de diâmetro e na extremidade inferior contém uma bucha de rosca interna 3/8 usinada em um torno mecânico da marca Atlasmaq (modelo: TM-310, São Paulo – SP, 2008), sendo meio de acoplamento de uma haste removível de 148 mm de comprimento. Na extremidade superior da haste, há uma rosca 3/8 usinada no torno mecânico supracitado, contendo na extremidade inferior um transdutor de chapa de aço 1045 moldado em *air plasma cutting system* 60=3 da marca Telwin (modelo: Technology Plasma 41 230V, Villaverla – Italy, 1998) em formato circular com diâmetro de 62 mm e espessura de 5/16 mm (8').

O diapasão é um gerador de ondas mecânicas, ou seja, um gerador de perturbação das propriedades mecânicas do material. Para a aferição do diapasão, foi necessário transformar o tipo de energia gerada pelo equipamento, de natureza mecânica, para oscilação elétrica. Nesse procedimento, foi aplicado um elemento cristal piezoelétrico, como transdutor, pois esse componente tem a capacidade de gerar corrente elétrica por resposta a uma pressão mecânica.

Aplicando o cristal piezoelétrico na base do transdutor obteve-se a transferência da energia gerada pela oscilação mecânica para corrente elétrica, tornando, assim, possível a visualização do sinal gerado através do osciloscópio (Figura 1).

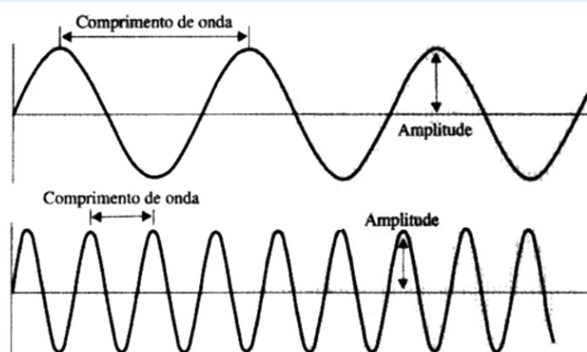


Figura 1: Imagem da oscilação senoidal de uma onda mecânica gerada pelo equipamento com base no tempo. Referem-se à frequência vibratória, amplitude e comprimento da onda

Para aferição da frequência do diapasão o mesmo foi acoplado a um cristal piezoelétrico e o mesmo ao osciloscópio que exibe a amplitude e frequência.

A frequência da vibração mecânica atingida pelo diapasão desenvolvido foi medida por um osciloscópio digital da marca Tektronix (modelo: TDS 220, 100 MHz, São Paulo – SP, 1995), atingindo uma frequência fixa de 25 Hz.

Resultados

Após o término das etapas da confecção, o dispositivo recebeu um banho de cromo (realizado por empresa especializada), atingindo, assim, a dimensão de 624 mm de comprimento total e peso de 492 gramas, além de apresentar as seguintes características: não estéril, reutilizável, portátil e desmontável (Figura 2). A frequência do diapasão é fixa e se mantém constante em 25 Hz.

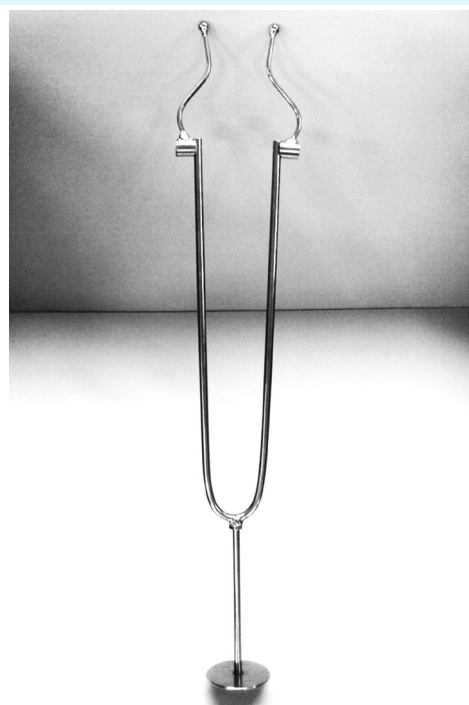


Figura 2: Foto do diapasão terapêutico confeccionado

O funcionamento do dispositivo se dá quando há aproximação dos prolongamentos de

formato sinuoso, através de um movimento de pinça, e posterior retirada brusca dos dedos gerando uma vibração mecânica (Figura 3).

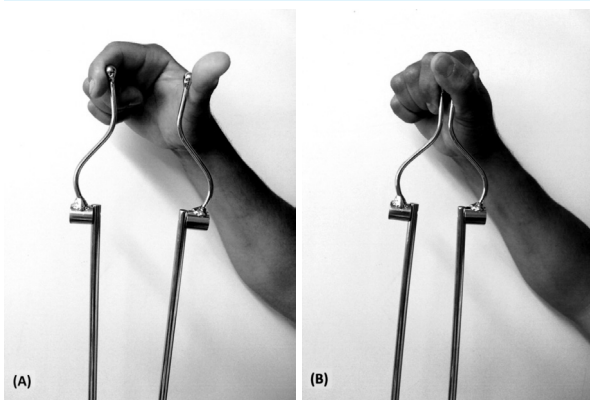


Figura 3: (A) posicionamento adequado da empunhadura no prolongamento superior do diapasão, (B) movimento de pinça completo, unindo os dois prolongamentos

Discussão

O diapasão desenvolvido neste estudo (Diottix) atinge a frequência proposta, sendo esta fixa. Em estudos futuros, será realizada a aplicação do Diottix em humanos para verificação da sua eficácia.

O primeiro autor a descrever o diapasão como um equipamento a ser utilizado na medicina foi o médico alemão Ernest Heinrich Weber, em 1825, que acreditava que suas experiências seriam utilizadas no futuro para o diagnóstico de problemas auditivos. Em 1855, Heinrich Adolf Rinne utilizou o diapasão para diferenciar a condução óssea da condução aérea do ar do mesmo lado do crânio¹⁵.

O diapasão de 128 Hz é rotineiramente utilizado na medicina neurológica para fins diagnósticos. A sensibilidade vibratória (parestesia) é verificada pelo contato desse instrumento em proeminências ósseas¹⁶.

O uso do diapasão para detectar fraturas, embora seja bastante escasso na literatura, teve sua primeira pesquisa publicada, em 1984, por Bache e Cross, que estudaram sua aplicação e a do estetoscópio em fraturas do colo femoral¹⁵. O

diapasão de 128 Hz e o estetoscópio foram utilizados para diferenciar a condução sonora entre membros lesados e saudáveis¹⁷.

O diapasão terapêutico com a finalidade de higiene brônquica ainda não foi descrito na literatura. Espera-se que o diapasão mantendo uma frequência fixa de 25 Hz seja um aparelho capaz de gerar vibrações dentro do tórax que estimule o efeito tixotrópico do muco, desta forma, facilitando a higiene brônquica. A vantagem adicional do Diottix é não ter alteração na frequência gerada, ela é sempre a mesma, o que não acontece na vibração manual, que varia de acordo com o terapeuta, e no *flutter* ou *shaker* que dependem do fluxo expiratório do paciente.

A frequência ideal de vibração capaz de mobilizar maior quantidade de secreção ainda é bastante discutida como citado anteriormente. Entretanto, estudos clínicos não demonstraram melhor eficácia na oscilação oral de alta frequência (9,2 a 25 Hz), quando comparada à fisioterapia convencional em pacientes com bronquite crônica ou fibrose cística^{19,20}. A oscilação intratraqueal gerada pelo Flutter® VRP1 gira em torno de 6 a 20 Hz, durante a fase expiratória, apresentando variação da frequência vibratória gerada²¹, diferindo do equipamento confeccionado que apresenta frequência vibratória fixa em 25 Hz.

Em uma revisão sistemática realizada em 2011, foram selecionados estudos randomizados que incluíam manobras de expiração forçada, tosse, percussão torácica, vibração e drenagem postural em indivíduos com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e bronquiectasia. Na maioria das comparações, as manobras de higiene brônquica não produziram efeitos significativos com relação à melhora da remoção das secreções e da função pulmonar. Os autores concluíram que não há evidências suficientes para indicar ou contraindicar manobras de higiene brônquica em pacientes com DPOC ou bronquiectasia⁹.

Como o Diottix nunca foi utilizado para a finalidade terapêutica de higiene brônquica, este estudo apresenta limitações, e a primeira delas é a inexistência de outras pesquisas para possíveis comparações. Por esse motivo, já se

encontra em andamento a aplicação do Diottix no tórax de indivíduos saudáveis e também em indivíduos com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica para avaliar se a frequência calibrada de 25 Hz, quando usada nessa parte do corpo realmente atinge os 25 Hz calibrados. Ainda é necessário verificar a eficácia do Diottix para mobilizar as secreções pulmonares, o que será realizado futuramente.

Conclusão

O diapasão terapêutico foi confeccionado e na sua calibração atingiu a frequência fixa de 25 Hz. Como o Diottix é um equipamento recém-desenvolvido, pesquisas adicionais precisam ser realizadas para verificar se essa frequência de 25 Hz calibrada atinge o tórax do paciente.

Referências

1. Blanco EEA, Pinge MCM, Neto OAA, Pessoa NG. Effects of nitric oxide in mucociliary transport. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2009; 75(6):866-71.
2. Macchione M, Guimarães ET, Saldiva PH, Filho LG. Methods for studying respiratory mucus and mucus clearance. *Braz J Med Biol Res*. 1995; 28(12):1347-55.
3. Trindade SHK, Mello Júnior JF, Mion OG, Lorenzi-Filho G, Macchione M, Guimarães ET, Saldiva PHN. Methods for studying mucociliary transport. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2007;73(5):704-12.
4. Bush A, Cole P, Hariri M, Mackay I, Phillips G, O'Callaghan C, Wilson R, Warner JO. Primary ciliary dyskinesia: diagnosis and standards of care. *Eur Respir J*. 1998;12:982-88.
5. Olm MAK, Adde FV, Silva Filho LV, Rodrigues JC. Discinesia ciliar primária: quando o pediatra deve suspeitar e como diagnosticar? *Rev Paul Pediatr*. 2007;25(4):371-6.
6. Paker SP. Estudo sobre a influência da vibração na execução de tarefas de pilotos de aeronaves. [Dissertação]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2008.
7. Meirelles FO, Duarte MS. Resposta ao teste do diapasão em indivíduos com fraturas diagnosticadas [acesso em: 2010 out 28]. Disponível em: http://www.frasce.edu.br/nova/prod_cientifica/diapazao_frederico.pdf
8. Haddad ER, Costa LCD, Negrini F, Sampaio LMM. Abordagens fisioterapêuticas para remoção de secreções das vias aéreas em recém-nascidos: relato de casos. *Pediatrics (São Paulo)*. 2006; 2(28):135-40.
9. Jones AP, Rowe BH. WITHDRAWN: Bronchopulmonary hygiene physical therapy for chronic obstructive pulmonary disease and bronchiectasis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2011 Jul 6;(7):CD000045.
10. Goodwin JM. Mechanical chest stimulation as a physiotherapy aid. *Medical Engineering and physics*. 1994;16:267-72.
11. Shannon H, Stiger R, Gregson RK, Stocks J, Main E. Effect of chest wall vibration timing on peak expiratory flow and inspiratory pressure in a mechanically entiled lung model. *Physiotherapy*. 2010;96(4):344-
12. Faling JL. Pulmonary rehabilitation: physical modalities. *Clin Chest Med*. 1986;4(7):599-617.
13. Silveira ACT. Uso da oscilação oral de alta frequência em pacientes ventilados mecanicamente, um estudo prospectivo e revisão de literatura. *Cadernos UniFOA – Ano II, n. 4*, 2007.
14. Gomide LB, Silva CS, Matheus JPC, Torres LAGMM. Atuação da fisioterapia respiratória em pacientes com fibrose cística: uma revisão da literatura. *Arq Ciênc Saúde*. 2007;14(4):227-33.
15. Bickerton RC, Barr GS. The origin of tuning fork. *J R Soc Med*. 1987;80:771-3.
16. Butlher DS. Mobilização do sistema nervoso. Barueri: Manole; 2003.
17. Misurya RK, Khare A, Mallick A, Sural A, Vishwakarma GK. Use of tuning fork in diagnostic auscultation of fractures. *Injury*. 1987; 18: 63-4.
18. Moore MB. The use of a tuning fork and stethoscope in evaluating possible fractures. Unpublished master's thesis; 1997.
19. Liebano RE, Hassen MAS, Mazzi HH, Racy J, Correa JB. Principais manobras cinesioterapêuticas manuais utilizadas na fisioterapia respiratória: descrição das técnicas. *Rev Ciênc Méd*. 2009;18(1):35-45.
20. Van Hengstum M, Festen J, Beurskens C, Hankel M, van den Broek W, Corstens F. No effect of oral high frequency oscillation combined with forced expiration manoeuvres on tracheobronchial clearance in chronic bronchitis. *Eur Respir J*. 1990;3(1):14-8.
21. Leal RCAC, Souza GJ, Silva MGP. Análise quantitativa da clearance mucociliar em pacientes hipersecretivos submetidos à pressão expiratória positiva oscilante. *Brazilian Journal of Biomotricity*. 2009;3(4):376-89.