

Aline Rafaela Barros Silva<sup>1</sup>, Sandra Adriano Fluhr<sup>1</sup>, Andrezza de Lemos Bezerra<sup>2</sup>, Marco Aurélio de Valois Correia Júnior<sup>3</sup>, Eduardo Ériko Tenório de França<sup>4</sup>, Flávio Maciel Dias de Andrade<sup>5</sup>

## Pico de fluxo expiratório e resistência do sistema respiratório de pacientes sob ventilação mecânica submetidos a duas formas de tosse manualmente assistida

*Expiratory peak flow and respiratory system resistance in mechanically ventilated patients undergoing two different forms of manually assisted cough*

1. Hospital Esperança - Recife (PE), Brasil.
2. Faculdade Pernambucana de Saúde e Hospital Agamenon Magalhães - Recife (PE), Brasil.
3. Curso de Fisioterapia, Universidade de Pernambuco - UPE - Petrolina (PE), Brasil.
4. Programa de Residência de Fisioterapia Intensiva, Hospital Agamenon Magalhães - Recife (PE), Brasil e Curso de Fisioterapia, Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP - Recife (PE), Brasil
5. Hospital da Restauração - Recife (PE), Brasil e Curso de Fisioterapia, Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP - Recife (PE), Brasil.

Estudo realizado nas Unidades de Terapia Intensiva do Hospital da Restauração e Hospital Esperança - Recife (PE), Brasil.

**Conflitos de interesse:** Nenhum.

Submetido em 27 de Junho de 2011  
Aceito em 2 de Março de 2012

### Autor correspondente:

Flávio Maciel Dias de Andrade  
Rua do Príncipe, 526 - Boa Vista  
CEP: 50050-900 - Recife (PE), Brasil  
Telefone: (81) 2119-4172  
E-mail: ftflaviomaciel@yahoo.com.br

### RESUMO

**Objetivo:** A ventilação mecânica associa-se à retenção de secreções traqueo-brônquicas. A tosse manualmente assistida contribui para o deslocamento do muco brônquico, enquanto a pressão positiva ao final da expiração incrementa a ventilação colateral e mantém a patência da via aérea. O objetivo deste estudo foi analisar os efeitos da aplicação da tosse manualmente assistida isoladamente ou associada ao incremento da pressão expiratória final positiva e do tempo inspiratório (tosse manualmente assistida otimizada) sobre o pico de fluxo expiratório e a mecânica do sistema respiratório de pacientes em ventilação mecânica.

**Métodos:** Ensaio clínico controlado e randomizado, em que foram avaliados a mecânica respiratória e o pico de fluxo expiratório de pacientes de ambos os sexos submetidos à aspiração traqueal isolada, tosse manualmente assistida seguida de aspiração traqueal e tosse manualmente assistida otimizada seguida

de aspiração traqueal.

**Resultados:** Trinta e cinco pacientes completaram o estudo. A resistência do SR (R<sub>sr</sub>) reduziu significativamente após a realização da tosse manualmente assistida otimizada ( $16,0 \pm 3,6$  vs  $12,4 \pm 3,1$  cmH<sub>2</sub>O/L/s;  $p = 0,04$ ). O pico de fluxo expiratório durante a realização da tosse manualmente assistida otimizada foi significativamente maior que o observado durante a tosse manualmente assistida ( $112,3 \pm 15,6$  vs  $95,8 \pm 18,3$  Lpm;  $p < 0,05$ ) e ambas foram significativamente maiores que aquele observado no grupo submetido à aspiração traqueal isoladamente ( $52,0 \pm 7,6$  Lpm;  $p < 0,001$ ).

**Conclusão:** A tosse manualmente assistida otimizada aumenta o pico de fluxo expiratório quando comparada à tosse manualmente assistida, promovendo redução da resistência do sistema respiratório.

**Descritores:** Terapia respiratória/métodos; Respiração com pressão positiva; Respiração artificial; Sistema respiratório/fisiopatologia

### INTRODUÇÃO

A ineficiência do epitélio ciliado das vias aéreas inferiores e do mecanismo de tosse são frequentes em pacientes críticos submetidos à ventilação mecânica (VM), sendo proporcionada por diversos fatores, destacando-se o uso de alguns medicamentos (sedativos, anestésicos e bloqueadores neuromusculares), presença de dor, ausência da fase compressiva da tosse, compressão e obstrução das vias aéreas, fraqueza muscular abdominal, inadequada expansão pulmonar e inalação de gases frios e secos.<sup>(1-5)</sup>

As técnicas para remoção de secreção são consideradas essenciais para o deslocamento de secreções acumuladas além da terceira geração de vias aéreas, utilizando-se do aumento do fluxo aéreo expiratório, possibilitando a posterior aspiração traqueal.<sup>(6)</sup> A tosse manualmente assistida (TMA), também chamada de *quadcou-*

gh,<sup>(7,8)</sup> compressão torácica manual,<sup>(9)</sup> pressão torácica manual ou *squeezing*,<sup>(10,11)</sup> é uma manobra que simula o mecanismo normal da tosse, caracterizando-se pela compressão manual vigorosa do tórax e/ou abdômen no início da expiração.<sup>(12,13)</sup>

Alguns estudos demonstraram que a TMA é capaz de deslocar secreções de vias aéreas mais periféricas em direção à orofaringe, exercendo efeito positivo sobre a mecânica do sistema respiratório e a oxigenação, podendo, no entanto, estar associada à redução do pico de fluxo expiratório e ao colapso precoce das vias aéreas em pacientes portadores de patologias obstrutivas.<sup>(14,15)</sup>

O incremento da pressão positiva ao final da expiração (PEEP) e do tempo inspiratório (Tins) pode ser útil para o deslocamento de secreções traqueobrônquicas, através da manutenção da patência das vias aéreas e adequação das constantes de tempo do sistema respiratório, promovendo o aumento do pico de fluxo expiratório (PFE).<sup>(15-18)</sup>

Diante do exposto esse estudo teve como objetivo analisar os efeitos da aplicação da TMA isoladamente ou associada ao incremento da PEEP e do Tins sobre o PFE e a mecânica respiratória de pacientes mecanicamente ventilados.

## MÉTODOS

Trata-se de um ensaio clínico controlado e randomizado, realizado nas unidades de terapia intensiva do Hospital da Restauração e Hospital Esperança no período de agosto de 2008 a maio de 2010, tendo sido aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Fundação Altino Ventura. Foi obtido, para todos os pacientes, o consentimento para participação através da assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido.

Foram incluídos na pesquisa, pacientes de ambos os sexos, com idade  $\geq 18$  anos, portadores de patologias de etiologias diversas, submetidos à VM, utilizando-se vias aéreas artificiais com diâmetro 8,5 mm, os quais apresentavam história de hipersecretividade do trato respiratório, confirmada pela presença de roncos na ausculta respiratória, valores de resistência do sistema respiratório ( $R_{sr} \geq 12 \text{ cmH}_2\text{O/L/s}$  e/ou presença de padrão denteado na curva fluxo – volume e que já tinham indicação de fisioterapia respiratória e do procedimento de aspiração.

Foram excluídos do estudo os pacientes que apresentavam história clínica de hipertensão intracraniana, instabilidade hemodinâmica, rigidez torácica, doença pulmonar obstrutiva crônica, hiperinsuflação pulmonar, história de tabagismo, fistula broncopulmonar, síndrome do desconforto respiratório agudo, hiperreatividade brônquica, osteoporose, fragilidade vascular, utilização de marcapasso cardíaco ou que estivessem sendo ventilados com valores de PEEP  $> 10 \text{ cmH}_2\text{O}$ .

O protocolo de estudo era interrompido quando observadas alterações hemodinâmicas (aumento ou decréscimo de 20 mmHg na pressão arterial média (PAM) e de 20 bpm na frequência cardíaca (FC)) e valores de saturação periférica de oxigênio ( $\text{SpO}_2$ ) inferiores a 90% durante a aplicação das manobras, obtidos através dos monitores multiparamétricos DASH 3000<sup>®</sup> (GE Medical System, Wisconsin – USA), SOLAR 8000<sup>®</sup> (GE Medical System, Wisconsin – USA) e DX2010<sup>®</sup> (Dixtal biomédica, Manaus – Brasil).

A avaliação inicial dos pacientes constou da coleta de dados pessoais, incluindo, nome, idade, sexo, altura e peso predito, calculado através das fórmulas: homens =  $50 + 0,91(\text{altura} - 152,4)$  e mulheres =  $45,5 + 0,91(\text{altura} - 152,4)$ ;<sup>(19)</sup> além de dados clínicos e parâmetros da VM.

Após a avaliação inicial os pacientes foram posicionados com a cabeceira elevada a 45° (angulação obtida com o uso do goniômetro – Carci<sup>®</sup>, São Paulo - Brasil) e submetidos à VM por 5 minutos no modo de ventilação com pressão controlada (PCV), com pressão controlada (PC) = 20  $\text{cmH}_2\text{O}$  acima do nível de PEEP, Tins = 1 s, frequência respiratória (FR) = 12 ipm, fração inspirada de oxigênio ( $\text{FiO}_2$ ) = 40%, sensibilidade inspiratória (sens) = -2  $\text{cmH}_2\text{O}$  e PEEP = 5  $\text{cmH}_2\text{O}$ , utilizando os ventiladores mecânicos INTER-5<sup>®</sup> (INTERMED<sup>®</sup> - São Paulo / Brasil), BIRD 8400 (BIRD<sup>®</sup> ProductsCorp., Wisconsin - USA) ou INTER-5 PLUS VAPS (INTERMED<sup>®</sup> - São Paulo / Brasil). O sistema de umidificação (filtro trocador de calor) era removido e posteriormente os pacientes eram divididos de forma aleatória em 3 grupos:

**Grupo controle:** VM previamente ajustada por 5 minutos, seguida de aspiração traqueal.

**Grupo TMA:** VM previamente ajustada associada à TMA, realizada sempre pelo mesmo fisioterapeuta, apoiando-se as duas mãos sobre a superfície ântero-lateral de um hemitórax, realizando uma compressão torácica no início da fase expiratória, promovendo a aceleração do fluxo expiratório. Essa manobra foi repetida 10 vezes para cada hemitórax, com intervalo de 2 ciclos ventilatórios entre cada manobra, totalizando um tempo médio de 5 minutos. Após sua aplicação foi realizada a aspiração traqueal.

**Grupo tosse manualmente assistida otimizada (TMAO):** TMA realizada da forma anteriormente descrita associada à ventilação no modo PCV, com PC = 20  $\text{cmH}_2\text{O}$  acima do nível de PEEP, FR = 10 ipm, Tins = 2 s,  $\text{FiO}_2$  = 40%, sens = - 2  $\text{cmH}_2\text{O}$  e PEEP = 15  $\text{cmH}_2\text{O}$ , seguida de aspiração traqueal.

A aspiração traqueal era realizada conforme as recomendações da *American Association of Respiratory Care*,<sup>(20)</sup> utilizando-se um sistema aberto de aspiração número 12 (sonda Imbramed<sup>®</sup>, São Paulo- Brasil), sendo repetida 3 vezes, com intervalo de 2 minutos entre as aspirações.

A avaliação da mecânica respiratória foi realizada antes, após os cinco minutos de aplicação das manobras e após a aspiração traqueal. Durante essa avaliação os pacientes encontravam-se sedados com midazolam e fentanila, apresentando o nível 6 de acordo com a escala de Ramsay e não realizavam esforço muscular respiratório. A pressão de *cuff* era ajustada através do volume mínimo de oclusão e eram ventilados no modo de ventilação com volume controlado, com volume corrente = 8 ml/kg de peso predito, fluxo inspiratório = 60 lpm, com onda de fluxo quadrada, FR = 12 ipm, PEEP = 5 cmH<sub>2</sub>O, sens = - 2 cmH<sub>2</sub>O e FiO<sub>2</sub> = 40%. A pressão de platô foi obtida através do método de interrupção do fluxo inspiratório, utilizando-se uma pausa inspiratória de 3 segundos, sendo posteriormente calculada a complacência estática (Cest) e a resistência do sistema respiratório (Rsr).

O PFE era observado após cada ciclo ventilatório para os três grupos, sendo obtido diretamente dos monitores TRACER V e INTER GMX SLIM\* (INTERMED\* - São Paulo / Brasil) e posteriormente realizada uma média.

### Análise estatística

Para testar a suposição de normalidade das variáveis envolvidas no estudo foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov. A avaliação das diferenças entre as proporções foi realizada através do teste Qui-quadrado. Para análise comparativa das variáveis intragrupos e intergrupos foi aplicado o teste de análise de variâncias *one-way* ANOVA e o pós-teste de Tukey. Todas as conclusões foram tomadas ao nível de significância de 5%. Os softwares utilizados foram o GraphPadPrism 4 e Microsoft Office Excel 2007.

## RESULTADOS

Foram avaliados 35 pacientes, distribuídos aleatoriamente em grupo controle (n = 12), grupo TMA (n = 12) e grupo TMAO (n = 11). A tabela 1 apresenta as características gerais da amostra estudada, não sendo observadas diferenças significativas entre os grupos.

A tabela 2 apresenta a análise comparativa intra e intergrupos da Cest nos diversos momentos do estudo, não sendo

**Tabela 1 - Características gerais da amostra**

Variáveis	Controle (N = 12)	TMA (N = 12)	TMAO (N = 11)	Valor de p
Idade (anos)	59,50 ± 24,93	48,92 ± 27,27	55,64 ± 21,82	0,57
Altura (m)	1,67 ± 0,07	1,69 ± 0,11	1,68 ± 0,10	0,82
Peso ideal (Kg)	60,61 ± 7,97	63,54 ± 11,97	61,37 ± 11,49	0,78
Gênero feminino	8 (66,7)	6 (50,0)	8 (72,7)	0,50
Tubo orotraqueal	7 (58,3)	10 (83,3)	7 (58,3)	0,38
Diagnóstico clínico				
AVE	7 (58,3)	8 (66,6)	7 (63,7)	0,84
ICC	2 (16,7)	2 (16,7)	1 (9,0)	0,87
TCE	3 (25,0)	2 (16,7)	3 (27,3)	0,87
Diagnóstico de PAV	12 (100)	12 (100)	11 (100)	1,00

TMA - tosse manualmente assistida; TMAO - tosse manualmente assistida otimizada; AVE - acidente vascular encefálico; ICC - insuficiência cardíaca congestiva; TCE - traumatismo cranioencefálico; PAV - pneumonia associada à ventilação mecânica. Os dados estão expressos como médias ± desvios padrão ou números absolutos (%). Teste *one-way* ANOVA e teste qui-quadrado.

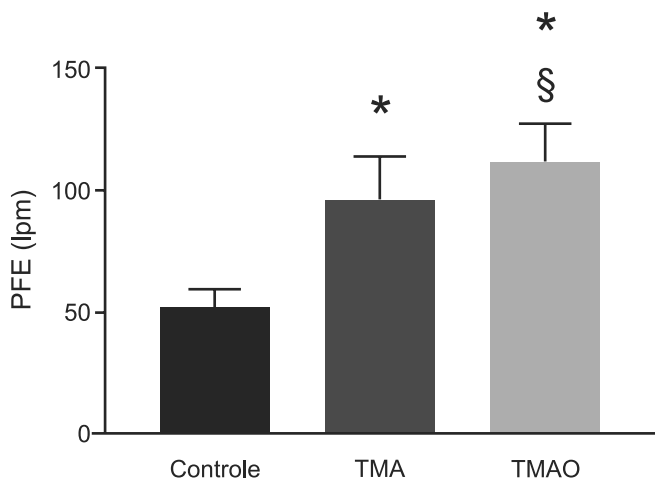
**Tabela 2 - Complacência e resistência do sistema respiratório nos diversos momentos do estudo**

	Momentos			Valor de p
	Inicial	Antes da aspiração	Após a aspiração	
Complacência do sistema respiratório				
Controle	57,4 ± 26,6	48,8 ± 16,8	51,3 ± 15,7	0,57
TMA	51,8 ± 15,1	59,0 ± 26,7	51,2 ± 15,2	0,57
TMAO	42,1 ± 11,9	46,1 ± 29,4	43,3 ± 11,6	0,88
Valor de p	0,17	0,16	0,79	
Resistência do sistema respiratório				
Controle	15,0 ± 4,4	14,0 ± 3,3	12,6 ± 3,0	0,28
TMA	15,5 ± 7,5	19,9 ± 8,5	14,1 ± 8,8	0,22
TMAO	16,0 ± 3,6	16,0 ± 4,1	12,4 ± 3,1	0,04
Valor de p	0,92	0,06	0,73	

TMA - tosse manualmente assistida; TMAO - tosse manualmente assistida otimizada. Teste *one-way* ANOVA e pós-teste de Tukey.

observadas diferenças significativas. A Rsr reduziu significativamente após a realização da TMAO ( $16,0 \pm 3,6$  vs  $12,4 \pm 3,1$  cmH<sub>2</sub>O/L/s;  $p = 0,04$ ) (Tabela 2).

A figura 1 apresenta as médias  $\pm$  desvios padrão do PFE durante a aplicação dos protocolos de estudo, observando-se valores estatisticamente superiores de PFE durante a realização das manobras nos grupos TMA ( $95,8 \pm 18,3$  Lpm) e TMAO ( $112,3 \pm 15,6$  Lpm) quando comparados ao grupo controle ( $52,0 \pm 7,6$  Lpm) ( $p < 0,001$ ) e no grupo TMAO quando comparado ao grupo TMA ( $p < 0,05$ ).



**Figura 1 - Média  $\pm$  desvio padrão do pico de fluxo expiratório durante a realização das manobras.**

PFE – pico de fluxo expiratório; TMA - tosse manualmente assistida; TMAO - tosse manualmente assistida otimizada; \*  $p < 0,001$  quando comparado ao grupo controle; §  $p < 0,05$  quando comparado ao grupo TMA; Teste *one-way* ANOVA e pós-teste de Tukey.

## DISCUSSÃO

Em nosso estudo, o PFE foi superior durante a realização da TMA associada ao incremento do Tins e PEEP quando comparada à realização isolada da TMA, sugerindo um provável efeito protetor da PEEP.

A aplicação da TMA em pacientes portadores de doença pulmonar obstrutiva crônica associou-se à redução do PFE, estando relacionado ao colapso prematuro das pequenas vias aéreas.<sup>(21)</sup> Darbee et al., utilizando o método de diluição de hélio, observaram a melhora na mistura de gases, concluindo que o uso da PEEP associa-se à melhora na patência de vias aéreas e da ventilação colateral, acarretando um aumento do PFE através da facilitação à entrada do fluxo aéreo em vias aéreas obstruídas por secreção.<sup>(22)</sup> Perry et al. observaram em seu estudo que a associação entre a PEEP e a compressão torácica de alta frequência preveniu a redução do volume expiratório final e promoveu o aumento do fluxo oscilante expiratório em seis pacientes estáveis portadores de DPOC.<sup>(16)</sup>

O papel dos dispositivos geradores de PEEP no aumento do volume de secreção expectorada ainda permanece incerto. Dois estudos demonstraram o aumento na quantidade de secreção eliminada através da tosse após a utilização dos dispositivos geradores de PEEP.<sup>(23,24)</sup>

Volpe et al.<sup>(6)</sup> demonstraram que o aumento do PFE, da relação entre o PFE e o pico de fluxo inspiratório (PFI) e da diferença entre o PFE e o PFI acarretam maior deslocamento do centro de massa do muco em um estudo experimental. O mecanismo de fluxo bifásico baseado na geração de altas taxas de fluxo expiratório provoca o desarranjo nas moléculas de glicoproteínas, ocasionando redução da viscosidade do muco, auxiliando no transporte de secreção.<sup>(25-29)</sup>

Estudos têm demonstrado que a inversão da relação entre Tins e tempo expiratório ( $< 0,9$ ), obtida através do aumento do Tins, promove o aumento do PFE principalmente quando associado à utilização de um PFI baixo, devendo o PFE ser pelo menos 10% maior que o PFI.<sup>(6,29,30)</sup> Em nosso estudo os pacientes encontravam-se ventilados no modo PCV durante a aplicação das duas formas de TMA, onde se verifica a presença de altos e variáveis PFI, predispondo a presença de pequena relação PFE / PFI e diferença PFE – PFI, as quais não foram monitoradas.

Avena et al.<sup>(31)</sup> aplicaram a manobra de TMA em dezesseis pacientes intubados e submetidos à AVM no modo VCV com onda de fluxo quadrada e observaram um aumento não significativo da pressão resistiva e da resistência do sistema respiratório imediatamente após a aplicação da manobra realizada durante a utilização de um VC = 8 ml/Kg de peso corpóreo sem que seja revelado o valor de PFI utilizado. No nosso estudo observamos uma redução significativa da Rsr após a aplicação da TMAO.

Os possíveis benefícios da aplicação da TMA em pacientes sob VM não estão bem elucidados. Unoki et al.<sup>(32)</sup> analisaram o papel da TMA no tratamento de pacientes mecanicamente ventilados, não observando melhora da ventilação, oxigenação ou retenção de secreção traqueal após a aplicação dessa técnica.

A utilização da PEEP está correlacionada à melhora da complacência pulmonar e da oxigenação arterial. Em nosso estudo não foi observada alteração significativa da Cest durante o aumento do nível de PEEP e do Tins associado à TMA. Berney & Denehy<sup>(30)</sup> observaram que a utilização de pressões inspiratórias de 40 cmH<sub>2</sub>O mantidas por 3 segundos, disponibilizada através do insuflador manual ou do ventilador mecânico, acarretava melhora da Cest em pacientes mecanicamente ventilados.

Em nosso estudo, não foi possível a utilização de métodos para quantificação do volume de secreção traqueobrônquica eliminada ou para análise de deslocamento de centro de mas-



sa do muco, considerados mais objetivos para avaliação dos efeitos de técnicas para remoção de secreção,<sup>(6,30,33)</sup> o que pode ter limitado a análise dos possíveis benefícios das técnicas aplicadas. Por se tratar de um ensaio com pequeno número de amostra e com avaliação de desfecho fisiológico em curto prazo, há a necessidade de ampliação da quantidade de participantes e avaliação de desfechos clínicos em longo prazo para extrapolação dos presentes resultados.

## CONCLUSÃO

A tosse manualmente assistida otimizada aumenta o pico de fluxo expiratório quando comparada à tosse manualmente assistida, promovendo redução da resistência do sistema respiratório.

## ABSTRACT

**Objective:** Mechanical ventilation is associated with retained airway secretions. Manually assisted cough contributes to the displacement of bronchial mucus, whereas positive end-expiratory pressure increases collateral ventilation and maintains airway patency. This study aimed to assess the effects of manually assisted cough, either alone

or added to increased positive end-expiratory pressure and inspiratory time (optimized manually assisted cough), on the expiratory peak flow and respiratory system mechanics in mechanically ventilated patients.

**Methods:** In this controlled and randomized clinical trial, respiratory mechanics and expiratory peak flow were assessed in male and female patients undergoing either tracheal suctioning alone, manually assisted cough followed by tracheal suctioning or optimized manually assisted cough followed by tracheal suctioning.

**Results:** Thirty-five patients completed the trial. Respiratory system resistance was significantly reduced after optimized manually assisted cough ( $16.0 \pm 3.6$  versus  $12.4 \pm 3.1$  cmH<sub>2</sub>O/L/s;  $p = 0.04$ ). The expiratory peak flow during optimized manually assisted cough was significantly higher in comparison with the values observed during manually assisted cough ( $112.3 \pm 15.6$  versus  $95.8 \pm 18.3$  Lpm;  $p < 0.05$ ). Both values were significantly higher than the values observed in the group undergoing tracheal suctioning alone ( $52.0 \pm 7.6$  Lpm;  $p < 0.001$ ).

**Conclusion:** Optimized manually assisted cough increases the expiratory peak flow in comparison with manually assisted cough; in addition, this procedure reduces respiratory system resistance.

**Keywords:** Respiratory therapy/methods; Positive-pressure respiration; Respiration, artificial; Respiratory system/physiopathology

## REFERÊNCIAS

- Kollef MH. The prevention of ventilator-associated pneumonia. *New Engl J Med.* 1999;340(8):627-34. Review.
- Guglielminotti J, Alzieu M, Maury E, Guidet B, Offenstadt G. Bedside detection of retained tracheobronchial secretions in patients receiving mechanical ventilation: is it time for tracheal suctioning? *Chest.* 2000;118(4):1095-9.
- Chastre J, Fagon JY. Ventilator-associated pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;165(7):867-903. Review.
- Tamul PC, Peruzzi WT. Assessment and management of patients with pulmonary disease. *Crit Care Med.* 2004;32(4 Suppl):S137-45.
- American Thoracic Society; Infectious Diseases Society of America. Guidelines for the management of adults with hospital-acquired, ventilator-associated, and healthcare-associated pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005;171(4):388-416.
- Volpe MS, Adams AB, Amato MB, Marini JJ. Ventilation patterns influence airway secretion movement. *Respir Care.* 2008;53(10):1287-94.
- Hess DR. The evidence for secretion clearance techniques. *Respir Care.* 2001;46(11):1276-93.
- Hill N. Noninvasive mechanical ventilation for post acute care. *Clin Chest Med.* 2001;22(1):35-54. Review.
- Van der Touw T, Mudaliar Y, Nayyar V. Cardiorespiratory effects of manually compressing the rib cage during tidal expiration in mechanically ventilated patients recovering from acute severe asthma. *Crit Care Med.* 1998;26(8):1361-7.
- Unoki T, Mizutani T, Toyooka H. Effects of expiratory rib cage compression and/or prone position on oxygenation and ventilation in mechanically ventilated rabbits with induced atelectasis. *Respir Care.* 2003;48(8):754-62.
- Unoki T, Mizutani T, Toyooka H. Effects of expiratory rib cage compression combined with endotracheal suctioning on gas exchange in mechanically ventilated rabbits with induced atelectasis. *Respir Care.* 2004;49(8):896-901.
- Denehy L. The use of manual hyperinflation in airway clearance. *Eur Respir J.* 1999;14(4):958-65.
- Maxwell LJ, Ellis ER. The effect on expiratory flow rate of maintaining bag compression during manual hyperinflation. *Aust J Physiother.* 2004;50(1):47-9.
- McCool FD, Rosen MJ. Nonpharmacologic airway clearance therapies: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. *Chest.* 2006;129(1 Suppl):250S-259S.
- Choi JS, Jones AY. Effects of manual hyperinflation and

- suctioning in respiratory mechanics in mechanically ventilated patients with ventilator-associated pneumonia. *Aust J Physiother.* 2005;51(1):25-30.
16. Perry RJ, Man GC, Jones RL. Effects of positive end-expiratory pressure on oscillated flow rate during high-frequency chest compression. *Chest.* 1998;113(4):1028-33.
  17. van Winden CM, Visser A, Hop W, Sterk PJ, Beckers S, de Jongste JC. Effects of flutter and PEP mask physiotherapy on symptoms and lung function in children with cystic fibrosis. *Eur Respir J.* 1998;12(1):143-7.
  18. Denehy L, Berney S. The use of positive pressure devices by physiotherapists. *Eur Respir J.* 2001;17(4):821-9.
  19. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. *N Engl J Med.* 2000;342(18):1301-8.
  20. AARC clinical practice guideline. Endotracheal suctioning of mechanically ventilated adults and children with artificial airways. American Association for Respiratory Care. *Respir Care.* 1993;38(5):500-4.
  21. Sivasothy P, Brown L, Smith IE, Shneerson JM. Effect of manually assisted cough and mechanical insufflation on cough flow of normal subjects, patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and patients with respiratory muscle weakness. *Thorax.* 2001;56(6):438-44.
  22. Darbee JC, Ohtake PJ, Grant BJ, Cerny FJ. Physiologic evidence for the efficacy of positive expiratory pressure as an airway clearance technique in patients with cystic fibrosis. *Phys Ther.* 2004;84(6):524-37.
  23. Konstan MW, Stern RC, Doershuk CF. Efficacy of the Flutter device for airway mucus clearance in patients with cystic fibrosis. *J Pediatr.* 1994;124(5 Pt 1):689-93.
  24. Placidi G, Cornacchia M, Polese G, Zanolli L, Assael BM, Braggion C. Chest physiotherapy with positive airway pressure: a pilot study of short-term effects on sputum clearance in patients with cystic fibrosis and severe airway obstruction. *Respir Care.* 2006;51(10):1145-53.
  25. Kim CS, Greene MA, Sankaran S, Sackner MA. Mucus transport in the airways by two-phase gas-liquid flow mechanism: continuous flow model. *J Appl Physiol.* 1986;60(3):908-17.
  26. Kim CS, Rodriguez CR, Eldridge MA, Sackner MA. Criteria for mucus transport in the airways by two-phase gas-liquid flow mechanism. *J Appl Physiol.* 1986;60(3):901-7.
  27. Clarke SW, Jones JG, Oliver DR. Resistance to two-phase gas-liquid flow in airways. *J Appl Physiol.* 1970;29(4):464-71.
  28. Wallis GB. One-dimensional two-phase flow. New York: McGraw-Hill; 1969.
  29. Benjamin RG, Chapman GA, Kim CS, Sackner MA. Removal of bronchial secretions by two-phase gas-liquid transport. *Chest.* 1989;95(3):658-63.
  30. Berney S, Denehy L. A comparison of the effects of manual and ventilator hyperinflation on static lung compliance and sputum production in intubated and ventilated intensive care patients. *Physiother Res Int.* 2002;7(2):100-8.
  31. Avena KM, Duarte ACM, Cravo SLD, Sologuren MJJ, Gastaldi AC. Efeitos da tosse manualmente assistida sobre a mecânica do sistema respiratório de pacientes em suporte ventilatório total. *J Bras Pneumol.* 2008;34(6):380-6.
  32. Unoki T, Kawasaki Y, Mizutani T, Fujino Y, Yanagisawa Y, Ishimatsu S, et al. Effects of expiratory rib-cage compression on oxygenation, ventilation, and airway-secretion removal in patients receiving mechanical ventilation. *Respir Care.* 2005;50(11):1430-7.
  33. Zamanian M, Marini JJ. Pressure-flow signatures of central-airway mucus plugging. *Crit Care Med.* 2006;34(1):223-6.