



Efeitos da compressão torácica manual sobre o *flow bias* expiratório durante a manobra *positive end-expiratory pressure-zero end-expiratory pressure* em pacientes sob ventilação mecânica invasiva

Ana Carolina Otoni Oliveira^{1,a}, Daiane Menezes Lorena^{1,b},
Lívia Corrêa Gomes^{2,c}, Bianca Lorrane Reges Amaral^{2,d}, Márcia Souza Volpe^{3,e}

1. Programa de Residência Integrada Multiprofissional em Saúde do Adulto, Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM – Uberaba (MG) Brasil.
 2. Departamento de Fisioterapia Aplicada, Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM – Uberaba (MG) Brasil.
 3. Departamento de Ciências do Movimento Humano, Universidade Federal de São Paulo – Unifesp – Campus Baixada Santista, Santos (SP) Brasil.
- a. <http://orcid.org/0000-0002-2752-6497>
b. <http://orcid.org/0000-0002-4193-7946>
c. <http://orcid.org/0000-0001-7244-2973>
d. <http://orcid.org/0000-0002-3794-3366>
e. <http://orcid.org/0000-0003-1179-6254>

Recebido: 23 fevereiro 2018.
Aprovado: 12 agosto 2018.

Trabalho realizado no Hospital de Clínicas, Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM – Uberaba (MG) Brasil.

RESUMO

Objetivo: Avaliar os efeitos da compressão torácica manual (CTM) sobre o *flow bias* expiratório durante a manobra *positive end-expiratory pressure-zero end-expiratory pressure* (PEEP-ZEEP) para a remoção de secreção em pacientes sob ventilação mecânica invasiva. O *flow bias*, que influencia na remoção de secreção pulmonar, foi avaliado pela razão e diferença entre pico de fluxo expiratório (PFE) e pico de fluxo inspiratório (PFI).

Métodos: Estudo cruzado e randomizado no qual participaram 10 pacientes. A manobra PEEP-ZEEP foi aplicada em quatro momentos, sendo um sem CTM e os outros três em associação com a CTM, que foram aplicadas por três fisioterapeutas distintos. Um monitor específico foi utilizado para o registro dos dados de mecânica respiratória.

Resultados: A manobra PEEP-ZEEP sem a CTM foi suficiente para ultrapassar o limiar do *flow bias* expiratório (diferença PFE – PFI > 33 l/min), considerado necessário para deslocar a secreção em direção à glote; a média da diferença PFE – PFI encontrada foi de 49,1 ± 9,4 l/min. A média da razão PFE/PFI alcançada foi de 3,3 ± 0,7. A associação da CTM à PEEP-ZEEP aumentou a média da diferença PFE – PFI em 6,7 ± 3,4 l/min. Foi observada correlação moderada entre a força de prensão manual dos fisioterapeutas e o *flow bias* gerado durante a CTM. Não foram encontradas alterações hemodinâmicas ou respiratórias adversas ao longo do estudo. **Conclusões:** A manobra PEEP-ZEEP sem a CTM resultou em um *flow bias* expiratório superior ao considerado efetivo para auxiliar na remoção de secreção pulmonar. A associação com a CTM aumentou o *flow bias* expiratório, o que aumenta o potencial da manobra para remover secreções.

Descritores: Modalidades de fisioterapia; Cuidados críticos; Respiração artificial; Secreções corporais.

INTRODUÇÃO

Pacientes submetidos à ventilação mecânica invasiva apresentam alterações nos mecanismos de depuração das secreções das vias aéreas, o que favorece a retenção de secreção pulmonar.^(1,2) O acúmulo de secreção provoca aumento de resistência das vias aéreas e obstrução parcial ou total das mesmas, com consequente hipoventilação alveolar, desenvolvimento de atelectasias, hipoxemia e aumento do trabalho respiratório, além de gerar um ambiente favorável para a proliferação de bactérias e o desenvolvimento de pneumonias.^(3,4) Todas essas alterações prolongam o tempo de desmame da ventilação mecânica e pioram o prognóstico do paciente.⁽⁵⁾ Nesse contexto, a fisioterapia respiratória, por meio da aplicação de técnicas manuais ou utilizando o próprio ventilador mecânico, atua com o objetivo de auxiliar na remoção de secreção e, consequentemente, contribuir para uma melhor evolução clínica de pacientes críticos.^(6,7)

Desde a década de 80, existem estudos que mostram que a remoção de secreção pulmonar não depende somente de altos fluxos expiratórios, mas da existência de um *flow bias* expiratório, ou seja, de que o pico de fluxo expiratório (PFE) seja superior ao pico de fluxo inspiratório (PFI) gerado nas vias aéreas.⁽⁸⁻¹⁰⁾ Até o presente momento, foram descritos quatro limiares para que o *flow bias* expiratório desloque a secreção em direção à glote: 1) razão PFE/PFI > 1,1^(8,9); 2) diferença PFE – PFI > 17 l/min⁽¹¹⁾; 3) razão PFE/PFI > 4,3⁽¹²⁾; e 4) diferença PFE – PFI > 33 l/min.⁽¹²⁾ Desses quatro limiares, os dois últimos apresentam maior potencial de refletir condições humanas por terem sido descobertos em um experimento com animais, com a utilização da secreção do próprio animal, e porque a influência da gravidade no deslocamento da secreção foi levada em consideração, uma vez que os animais foram mantidos em posição semirrecumbente.⁽¹²⁾ Entre o uso do limiar que explora a razão PFE/PFI e do que utiliza a diferença PFE – PFI,

Endereço para correspondência:

Márcia Souza Volpe. Departamento de Ciências do Movimento Humano, Universidade Federal de São Paulo, Unifesp, Rua Silva Jardim, 136, CEP 11015-020, Santos, SP, Brasil.

Tel.: 55 34 99183-2000. E-mail: marciasvolpe@gmail.com

Apoio financeiro: Nenhum.

Volpe et al.⁽¹¹⁾ mostraram que a diferença PFE – PFI apresenta uma correlação mais forte e significativa com o deslocamento da secreção, diferentemente da razão PFE/PFI. Portanto, o uso da diferença PFE – PFI como limiar-alvo do *flow bias* expiratório na remoção de secreção parece ser mais indicado.

Dentre as técnicas de remoção de secreção que apresentam grande potencial para gerar um *flow bias* expiratório, tem-se a manobra *positive end-expiratory pressure-zero end-expiratory pressure* (PEEP-ZEEP) e a compressão torácica manual (CTM), que podem ser aplicadas em associação. No entanto, são escassos os estudos que investigaram a PEEP-ZEEP e pouco se conhece sobre o padrão de ventilação e o *flow bias* gerado durante a sua aplicação. Herbst-Rodrigues et al.⁽¹³⁾ demonstraram que a aplicação da PEEP-ZEEP, em associação com a CTM, é uma técnica segura e que resultou em aumento do PFE em pacientes no pós-operatório imediato de revascularização do miocárdio. Santos et al.⁽¹⁴⁾ compararam PEEP-ZEEP vs. CTM e Lobo et al.⁽¹⁵⁾ compararam PEEP-ZEEP associada à CTM vs. hiperinsuflação manual e não encontraram superioridade da PEEP-ZEEP em termos de melhora da complacência pulmonar⁽¹⁴⁾ e quantidade de secreção removida.⁽¹⁵⁾ Com exceção do estudo de Herbst-Rodrigues et al.,⁽¹³⁾ os demais não investigaram os fluxos aéreos atingidos durante a manobra e nenhum dos três descreveu o *flow bias* alcançado.⁽¹³⁻¹⁵⁾ Além disso, não se sabe se a associação da CTM à PEEP-ZEEP torna a manobra mais eficaz em relação ao *flow bias* gerado.

O objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos da CTM sobre o *flow bias* expiratório gerado pela manobra PEEP-ZEEP em pacientes sob ventilação mecânica invasiva. Como os efeitos da CTM sobre o PFE podem sofrer influência de características do operador, como tamanho das mãos e força de prensão manual, foram comparadas compressões realizadas por três fisioterapeutas distintos.

MÉTODOS

Tratou-se de um estudo experimental, cruzado, de natureza quantitativa, com amostra de conveniência, realizado no Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, localizado em Uberaba (MG). A pesquisa foi aprovada pelo comitê de ética em pesquisa da instituição (CAAE no. 47299815.8.0000.5154). O termo de consentimento livre e esclarecido foi assinado pelos familiares.

Foram incluídos pacientes em ventilação mecânica invasiva por mais de 48 h; com idade entre 19 e 68 anos; estáveis hemodinamicamente — com baixas doses ou sem drogas vasoativas e pressão arterial média (PAM) > 60 mmHg; com adequada oxigenação ($FI_{O_2} \leq 0,4$; PEEP ≤ 10 cmH₂O; e $SpO_2 > 90\%$); e sem sinais de desconforto respiratório. Os critérios de exclusão foram presença de hipertensão craniana; hipertensão pulmonar; gravidez; pneumotórax não drenado; fratura de costela; e dreno de tórax.

Após a inclusão, os pacientes foram posicionados em decúbito dorsal e submetidos à avaliação inicial e ao procedimento de aspiração traqueal. Em seguida, conectou-se entre o circuito do ventilador e o tubo orotraqueal/cânula de traqueostomia o sensor do aparelho CO₂SMO Plus (Dixtal Equipamentos Médicos, São Paulo, Brasil) para o registro da mecânica respiratória.

Trinta minutos após o procedimento de aspiração, foram coletados os dados iniciais e registrada a ventilação por pelo menos um minuto, sem nenhuma modificação nos parâmetros do ventilador. Em seguida, a manobra PEEP-ZEEP foi realizada em quatro etapas distintas, cuja ordem de acontecimento foi aleatória e gerada por computador. Das 24 possibilidades de randomização, foram mantidas 12 de forma que as quatro possíveis etapas estivessem balanceadas na primeira e quarta posição. A alocação foi ocultada até a inclusão do paciente no estudo. As quatro etapas foram as seguintes: 1) PEEP-ZEEP sem CTM; 2) PEEP-ZEEP com CTM aplicada pelo fisioterapeuta 1; 3) PEEP-ZEEP com CTM aplicada pelo fisioterapeuta 2; e 4) PEEP-ZEEP com CTM aplicada pelo fisioterapeuta 3. Foi respeitado um intervalo de 15 min entre cada etapa, durante o qual o paciente foi ventilado de acordo com os seus parâmetros iniciais. Os três fisioterapeutas que aplicaram as manobras faziam parte da equipe de pesquisa do estudo e eram do sexo feminino.

A manobra PEEP-ZEEP foi realizada em volume controlado, modo assistido, com ajuste do volume corrente para alcançar uma pressão de pico inspiratória (PPI) de 30-35 cmH₂O, tempo inspiratório de 1,0-1,5 s, onda de fluxo quadrada e PEEP de 15 cmH₂O. Ao se iniciar a manobra, aumentava-se a PEEP para 15 cmH₂O e, ao término da fase inspiratória do 5º ciclo, reduzia-se de forma abrupta a PEEP para zero cmH₂O — ciclo esse denominado de ZEEP. Em cada etapa, a manobra foi repetida duas vezes, totalizando dez ciclos por etapa. A Figura 1 ilustra as curvas de pressão e fluxo ao longo do tempo durante a realização da PEEP-ZEEP conforme aplicada no estudo (duas manobras em sequência).

A CTM foi aplicada bilateralmente no terço inferior do tórax, de forma brusca/rápida (compressão aplicada apenas no início da expiração), e em sincronia com a redução da PEEP para zero cmH₂O, obtida por meio da visualização das curvas do monitor do ventilador.

Os pacientes foram monitorados continuamente, e a manobra era interrompida caso os pacientes apresentassem $SpO_2 < 90\%$, pressão arterial sistólica < 90 mmHg, PAM < 60 mmHg, frequência cardíaca < 60 bpm ou > 140 bpm, e/ou agitação psicomotora.

As manobras foram registradas de forma contínua pelo aparelho. Os dados de hemodinâmica (frequência cardíaca, pressão arterial sistólica, PAM e pressão arterial diastólica) e SpO_2 , assim como os de mecânica respiratória, foram registrados antes da primeira etapa e 15 min após o término da quarta etapa.

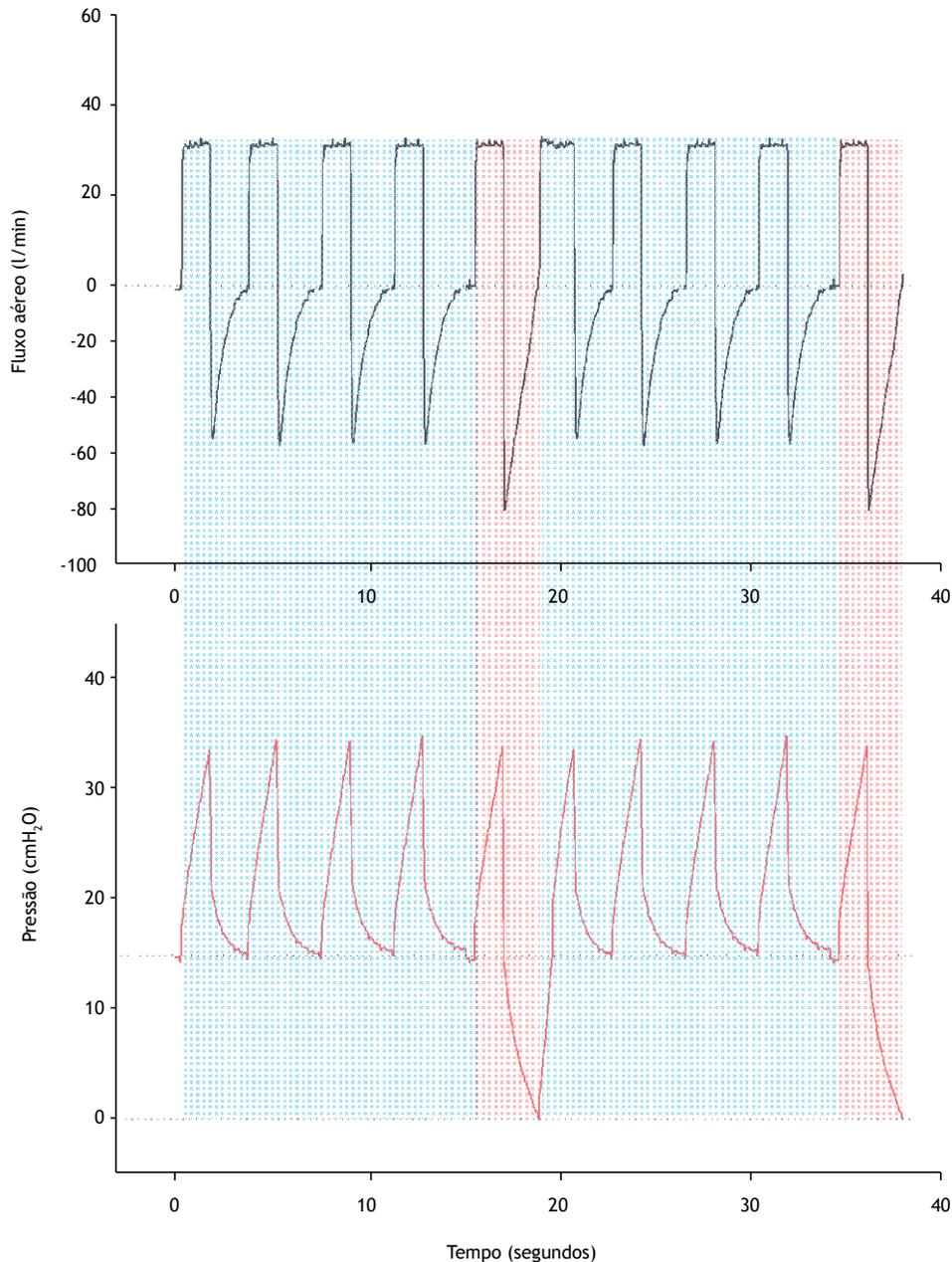


Figura 1. Curvas de fluxo (em preto) e pressão (em vermelho) ao longo do tempo durante a aplicação de duas manobras *positive end-expiratory pressure-zero end-expiratory pressure* (PEEP-ZEEP), em sequência, no modo volume controlado. Após quatro ciclos com PEEP em 15 cmH₂O, sombreados em azul e denominados pré-ZEEP, ocorre um quinto ciclo em que a PEEP é reduzida de forma abrupta para zero cmH₂O, ciclo esse denominado ZEEP e sombreado em vermelho. Note o aumento do pico de fluxo expiratório durante o ciclo ZEEP em comparação aos ciclos pré-ZEEP.

Foi mensurado o tamanho das mãos dos fisioterapeutas que aplicaram a CTM por meio da perimetria em oito⁽¹⁶⁾ e obtida a força de prensão palmar máxima da mão dominante utilizando um dinamômetro hidráulico (JAMAR; Patterson Medical Co., Danbury, CT, EUA). Para a avaliação da força de prensão palmar máxima, os fisioterapeutas foram posicionados sentados, ombros aduzidos, com o cotovelo fletido em 90° e segurando o dinamômetro com o punho e o antebraço em posição neutra, sem apoio.⁽¹⁷⁾ Ao estímulo verbal, obteve-se a

força de prensão palmar, que foi medida três vezes, sendo utilizado o maior valor encontrado.

Análise da mecânica respiratória

O sistema de aquisição das curvas de fluxo, pressão e volume utilizado foi o monitor CO₂SMO Plus (Dixtal Equipamentos Médicos) conectado a um computador com o software Analysis Plus versão para Windows (Novamatrix Medical Systems Inc., Wallingford, CT, EUA) que faz a gravação dos dados a 100 Hz e permite a posterior análise dos dados armazenados. A análise

da manobra PEEP-ZEEP foi dividida em ciclo pré-ZEEP e ciclo ZEEP. Como a manobra foi aplicada duas vezes em cada etapa do estudo, no mínimo seis ciclos foram selecionados e analisados para serem obtidos os valores médios de PPI, tempo inspiratório, volume corrente, PEEP, PFI e PFE do ciclo pré-ZEEP e dois ciclos para o ciclo ZEEP. A análise do ciclo pré-ZEEP foi realizada somente durante a manobra PEEP-ZEEP sem CTM. Para a análise da mecânica respiratória no momento inicial e ao término da quarta etapa foram selecionados no mínimo 10 ciclos de forma aleatória e calculados os valores médios das variáveis de interesse.

O desfecho primário foi a influência da CTM sobre o *flow bias* expiratório (avaliado pela diferença PFE – PFI) gerado pela manobra PEEP-ZEEP.

Análise estatística

Os dados foram apresentados em média \pm dp ou em valor absoluto e relativo. As análises das variáveis de mecânica respiratória do ciclo ZEEP vs. pré-ZEEP (referentes à manobra PEEP-ZEEP sem CTM) e das variáveis de mecânica respiratória e hemodinâmicas iniciais vs. das ao final do estudo foram realizadas com o teste t pareado. A influência da CTM foi analisada através de ANOVA para medidas repetidas, testando-se quatro níveis de fator *within* (sem CTM, CTM-1, CTM-2 e CTM-3; sendo que as compressões de 1 a 3 refletem a performance dos três diferentes profissionais, respectivamente). A seguir, utilizou-se o contraste simples (com correção de Bonferroni) para identificar se todos os profissionais eram significativamente mais eficientes que a condição “sem CTM”.

Apesar de o estudo não ter sido desenhado para explorar a influência de características do profissional em seu desempenho final (acelerar o fluxo expiratório), foi realizada uma análise exploratória com regressão linear *within-patients* (com ajuste pelo PFE sem CTM para cada paciente), na qual as seguintes variáveis foram testadas como variáveis independentes: força de prensão palmar máxima e circunferência da mão. Valores de $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significantes. A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa SPSS Statistics para Windows, versão 20.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, EUA).

RESULTADOS

Foram incluídos no estudo 12 pacientes; porém, 2 pacientes foram excluídos porque o primeiro apresentou aumento da frequência respiratória e desconforto respiratório ao longo do protocolo e o segundo em função de falhas durante a aquisição da mecânica respiratória. As características dos 10 pacientes que participaram do estudo estão descritas na Tabela 1.

Na Figura 2 são apresentadas a manobra PEEP-ZEEP associada à CTM aplicada pelo fisioterapeuta 2 (em B) em um paciente representativo do estudo. As diferenças entre os PFE gerados durante o ciclo ZEEP ilustram a

Tabela 1. Características basais dos pacientes incluídos no estudo (N = 10).^a

Características	Resultados
Idade, anos	63 \pm 14
Sexo masculino	6 (60,0)
Diagnóstico	
Insuficiência respiratória aguda	1 (10,0)
Acidente vascular encefálico	1 (10,0)
Traumatismo cranioencefálico	1 (10,0)
Rebaixamento do nível de consciência	2 (20,0)
Parada cardiorrespiratória	5 (50,0)
Nível de consciência ou sedação	
Richmond Agitation Sedation Scale ^b	-5 (100,0)
Escala de Coma de Glasgow ^c	9 \pm 3
Tempo de ventilação mecânica, dias	16 \pm 7
Parâmetros ventilatórios	
Modo de ventilação	
Pressão controlada	6 (60,0)
Pressão de suporte	4 (40,0)
Pressão expiratória final positiva, cmH ₂ O	7,7 \pm 0,9
FiO ₂	0,34 \pm 0,08
Frequência respiratória, ciclos/min	20 \pm 4

^aValores expressos em n (%) ou média \pm dp.^bEscala utilizada em 1 paciente.^cEscala utilizada em 9 pacientes.

contribuição da manobra PEEP-ZEEP e da CTM para a ocorrência do *flow bias* expiratório.

Na Tabela 2 são apresentadas as variáveis de mecânica respiratória dos ciclos pré-ZEEP e ZEEP referentes à manobra PEEP-ZEEP sem CTM e dos ciclos ZEEP com CTM aplicados pelos três fisioterapeutas do estudo. A comparação entre os ciclos pré-ZEEP e ZEEP demonstra que a redução brusca da PEEP para zero cmH₂O aumentou o PFE em 29,4 \pm 9,4 l/min, resultando em um aumento significativo tanto da razão PFE/PFI quanto da diferença PFE – PFI (Tabela 2). Em relação às demais variáveis, somente o PPI foi 1,4 \pm 1,4 cmH₂O maior no ciclo ZEEP em relação ao pré-ZEEP, e, como esperado, a PEEP foi menor (e próxima de zero) no ciclo ZEEP em relação ao pré-ZEEP.

A aplicação da CTM, independentemente do fisioterapeuta que aplicou a manobra, resultou em aumento significativo do PFE ($p < 0,001$) e do *flow bias* expiratório, expresso tanto pela razão PFE/PFI ($p = 0,004$) quanto pela diferença PFE – PFI ($p < 0,001$; Figura 3). O aumento causado pela CTM foi, em média, de 7,2 \pm 3,3 l/min, 6,7 \pm 3,4 l/min e de 0,3 \pm 0,2 l/min para o PFE, diferença PFE – PFI e razão PFE/PFI, respectivamente. Na Tabela 2, observa-se que o aumento do *flow bias* expiratório proporcionado pela CTM ocorreu em função do aumento do PFE gerado pela compressão, uma vez que não foi verificada diferença significativa entre o PFI gerado durante as quatro etapas do estudo.

Considerando a diferença PFE – PFI > 33 l/min como o limiar mais adequado para representar o *flow bias* expiratório alvo durante a terapia de remoção

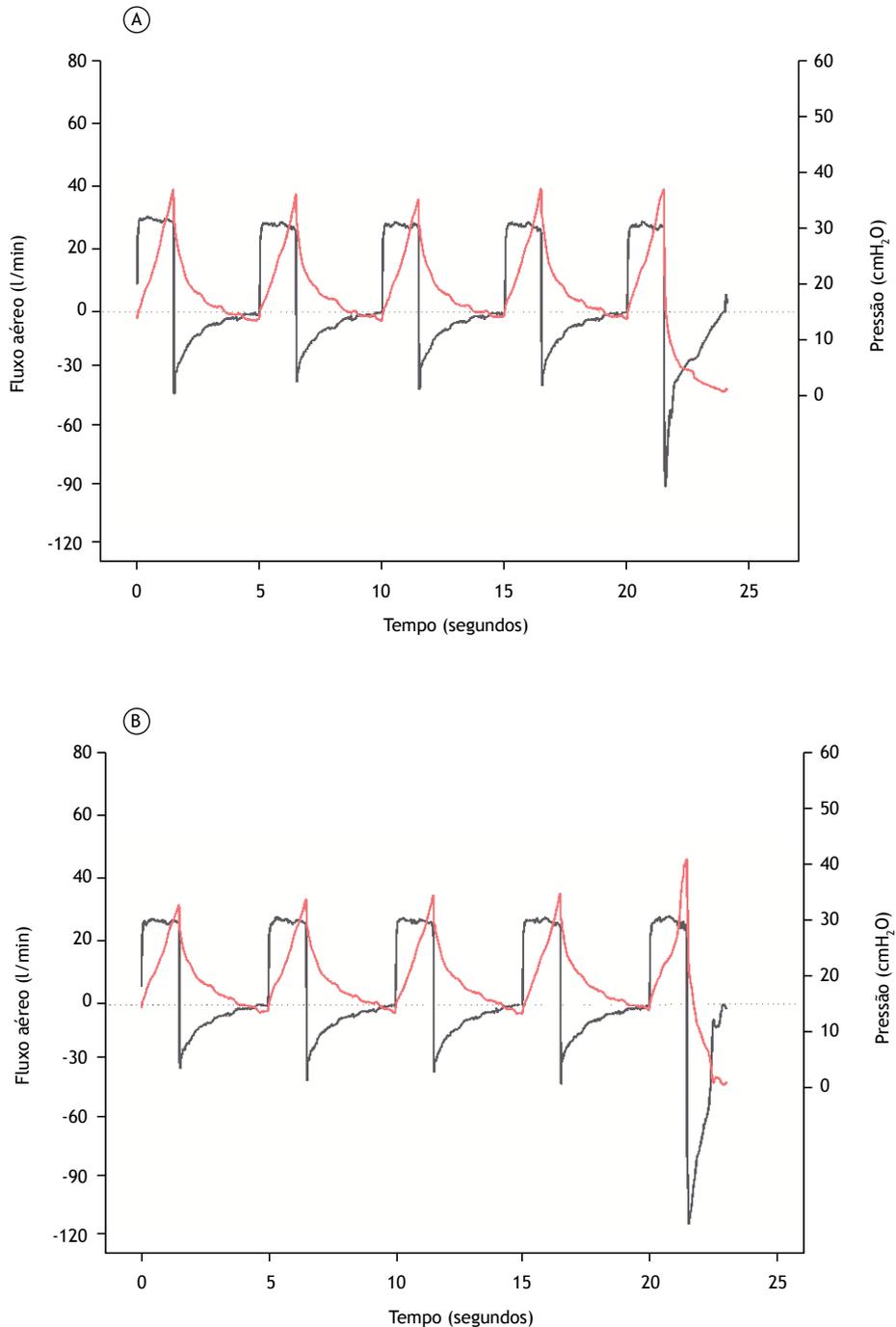


Figura 2. Manobra *positive end-expiratory pressure-zero end-expiratory pressure* (PEEP-ZEEP) aplicada sem compressão torácica manual (em A) e manobra PEEP-ZEEP associada à compressão torácica manual aplicada pelo fisioterapeuta 2 (em B) em um paciente representativo do estudo. O *flow bias* expiratório gerado durante o ciclo ZEEP sem a compressão torácica manual (em A) foi de ≈ 60 l/min, enquanto, com a adição da compressão torácica manual (em B), o *flow bias* expiratório foi de ≈ 83 l/min.

de secreção, das 40 manobras realizadas, apenas 1 (2,5%), aplicada pelo fisioterapeuta 3, não atingiu o limiar necessário para promover o deslocamento de secreção em direção à glote.

A aplicação da CTM resultou em maior PPI em relação à manobra realizada sem CTM. A análise de

Bonferroni revelou que essa diferença foi causada pela CTM aplicada pelo fisioterapeuta 3 (Tabela 2, Figura 4).

No entanto, o valor médio do PPI durante a aplicação da CTM ficou abaixo de $40 \text{ cmH}_2\text{O}$, e somente em 4 de 30 ciclos o PPI alcançou entre $40,0$ e $45,5 \text{ cmH}_2\text{O}$ (Figura 4). Com exceção da complacência dinâmica do sistema

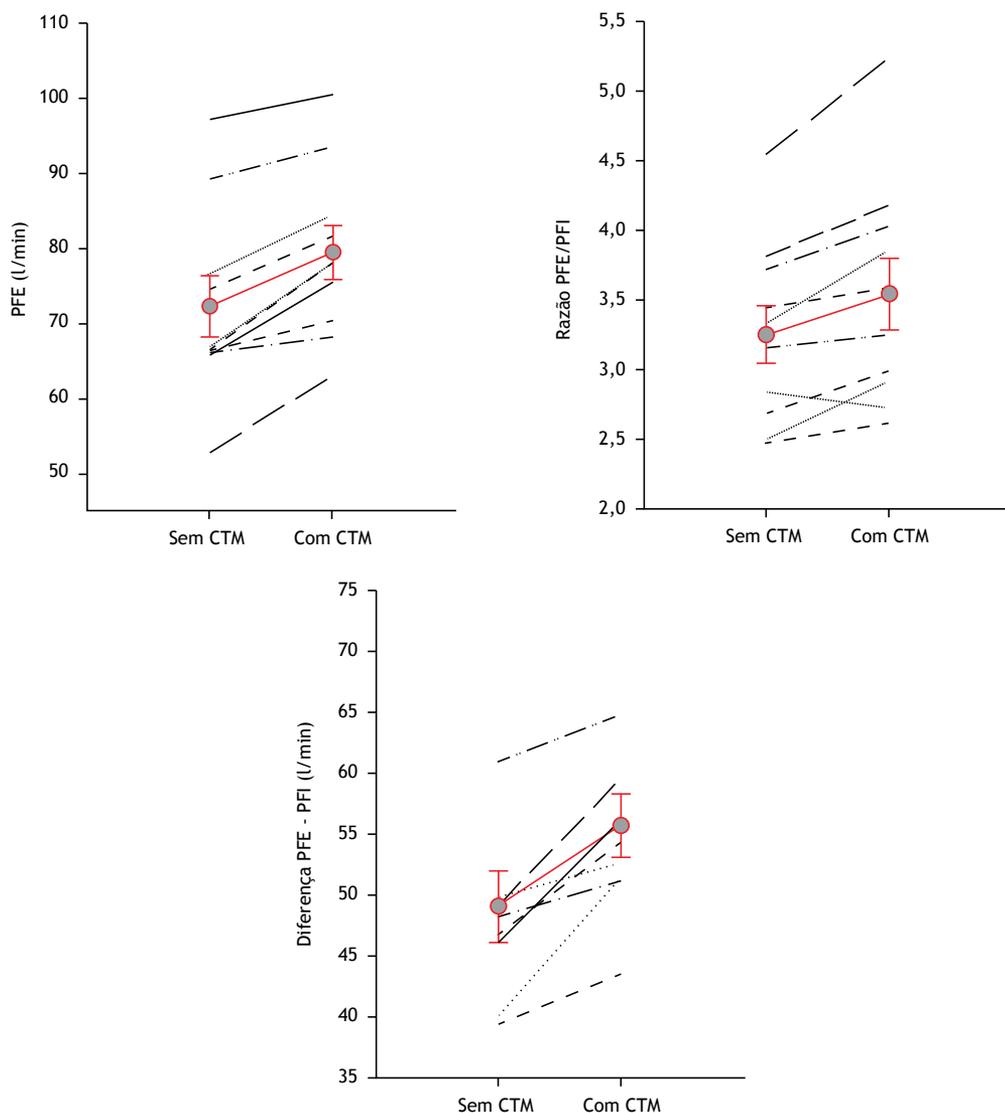


Figura 3. Pico de fluxo expiratório (PFE), razão PFE/pico de fluxo inspiratório (PFI) e diferença PFE – PFI gerados durante a aplicação da manobra *positive end-expiratory pressure-zero end-expiratory pressure* (PEEP-ZEEP), sem e com compressão torácica manual (CTM). Os valores apresentados com a CTM representam as médias geradas pelos três fisioterapeutas. As retas em preto ilustram os valores atingidos em cada paciente do estudo e as retas em vermelho, os valores médios \pm erro padrão.

respiratório, que apresentou um aumento quando comparados os momentos inicial e final do estudo, não foram encontradas diferenças para as demais variáveis de mecânica respiratória, de hemodinâmica e SpO_2 , o que demonstra que a aplicação das manobras foi segura em termos respiratórios e hemodinâmicos (Tabela 1A; apêndice on-line no JBP — http://jornaldepneumologia.com.br/detalhe_anexo.asp?id=57).

Os valores de circunferência da mão e força de preensão palmar máxima para cada fisioterapeuta foram os seguintes, respectivamente: fisioterapeuta 1 (37,5 cm e 25,3 kgf); fisioterapeuta 2 (41,0 cm e 28,6 kgf); e fisioterapeuta 3 (45,0 cm e 17,0 kgf). Os coeficientes de regressão parcial observados entre as medidas de força de preensão palmar máxima

vs. PFE e diferença PFE – PFI foram de 0,36 e 0,46, respectivamente; entre a circunferência da mão vs. PFE e diferença PFE – PFI foram de $-0,21$ e $-0,33$, respectivamente. Esses resultados indicam que a força é uma melhor candidata (correlação positiva) para explicar a diferença significativa de desempenho entre os profissionais, enquanto o tamanho da mão tem correlação espúria e negativa.

DISCUSSÃO

O principal resultado do presente estudo é que a aplicação da CTM potencializou o aumento do *flow bias* expiratório gerado pela manobra PEEP-ZEEP, tornando a manobra potencialmente mais efetiva em termos de

Tabela 2. Variáveis de mecânica respiratória correspondentes aos ciclos antes de zero *end-expiratory pressure* (ZEEP) e ZEEP da manobra *positive end-expiratory pressure*-ZEEP (PEEP-ZEEP) sem compressão torácica manual e ao ciclo ZEEP da manobra PEEP-ZEEP com compressão torácica manual.

Variáveis	PEEP-ZEEP sem CTM		p*	PEEP-ZEEP com CTM			p†
	Pré-ZEEP	ZEEP		ZEEP com CTM			
				Fisioterapeuta 1	Fisioterapeuta 2	Fisioterapeuta 3	
V _T , mL	556 ± 167	519 ± 173	0,145	524 ± 154	532 ± 144	529 ± 153	0,684
PPI, cmH ₂ O	31,5 ± 3,4	32,9 ± 2,9	0,011	34,7 ± 4,3	36,6 ± 4,3	38,2 ± 3,8 [§]	0,008
PEEP, cmH ₂ O	13,1 ± 4,7	1,9 ± 0,8	< 0,001	1,7 ± 1,1	1,3 ± 0,9	1,9 ± 1,8	0,552
T _{INSP} , s	1,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,065	1,5 ± 0,0	1,5 ± 0,0	1,5 ± 0,1	0,632
PFI, l/min	23,4 ± 6,2	23,1 ± 6,0	0,071	23,0 ± 6,2	23,5 ± 5,7	24,5 ± 7,8	0,331
PFE, l/min	42,8 ± 14,0	72,2 ± 12,9	< 0,001	79,6 ± 12,3 [‡]	82,0 ± 13,1 [§]	76,8 ± 12,8	0,043
Razão PFE/PFI	1,9 ± 0,5	3,3 ± 0,7	< 0,001	3,6 ± 0,7	3,6 ± 0,8 [¶]	3,4 ± 1,0	0,019
Diferença PFE - PFI, l/min	19,4 ± 12,0	49,1 ± 9,4	< 0,001	56,6 ± 7,9 ^{**}	58,4 ± 9,7 [§]	52,3 ± 11,2	0,028

PEEP: *positive end-expiratory pressure* (pressão expiratória final positiva); CTM: compressão torácica manual; V_T: volume corrente; PPI: pico de pressão inspiratório; T_{INSP}: tempo inspiratório; PFI: pico de fluxo inspiratório; e PFE: pico de fluxo expiratório. †Comparação entre pré-ZEEP e ZEEP (teste t pareado). ‡Comparação entre os quatro ciclos ZEEP (ANOVA para medidas repetidas). *p = 0,007; §p = 0,001; ||p = 0,002; ¶p = 0,011; **p = 0,003. Comparações entre ZEEP sem CTM e ZEEP com CTM (correção de Bonferroni).

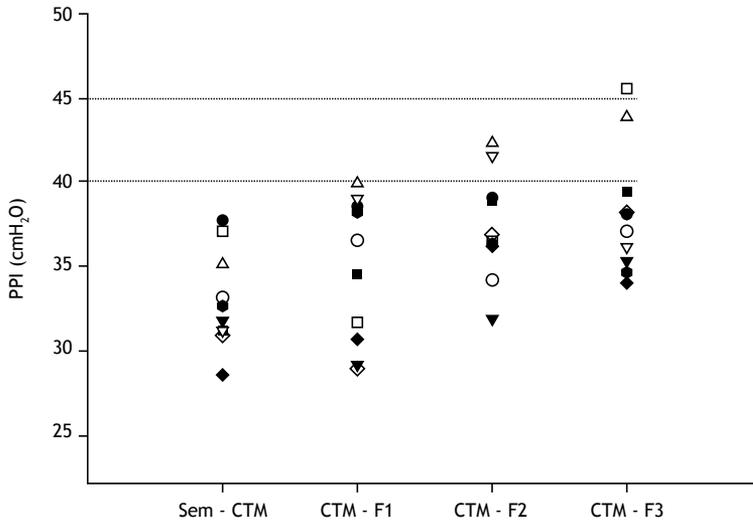


Figura 4. Picos de pressão inspiratórios (PPI) gerados durante as manobras *positive end-expiratory pressure*-*zero end-expiratory pressure* (PEEP-ZEEP) sem compressão torácica manual (CTM) e com CTM aplicada pelos três fisioterapeutas (F1, F2 e F3) que participaram do estudo. As retas delimitam os valores de segurança do PPI.

remoção de secreções pulmonares em pacientes sob ventilação mecânica invasiva. No entanto, enquanto a CTM foi responsável por aumentar o *flow bias* expiratório em 7 l/min, a contribuição da manobra PEEP-ZEEP — realizada em volume controlado — foi de 49 l/min, muito mais expressiva e superior ao limiar descrito como necessário para remover secreções pulmonares (diferença PFE - PFI > 33 l/min).

A CTM é comumente aplicada de duas formas distintas⁽¹⁸⁾: 1) lenta, gradual e durante toda a fase expiratória; ou 2) brusca, rápida e apenas no início da expiração. No presente estudo, optou-se por aplicar a CTM de forma brusca porque essa modalidade se mostrou segura hemodinamicamente e mais efetiva em termos de aumento do PFE e de depuração de secreções em relação à CTM lenta em estudos com animais⁽¹⁸⁾ e em modelo mecânico.⁽¹⁹⁾

A comparação entre estudos que investigaram os efeitos da CTM na literatura requer cuidados. Além de haver essas duas modalidades de CTM distintas, alguns estudos foram feitos com indivíduos em respiração espontânea,^(20,21) outros compararam a manobra CTM associada à vibração (cujo componente oscilatório parece potencializar o aumento do PFE),^(20,22) alguns finalizaram a CTM com rápida descompressão do tórax,⁽²³⁾ o que pode reduzir a pressão nas vias aéreas e gerar aumento do PFI no caso de modos ventilatórios em que o fluxo inspiratório é livre, como na ventilação em pressão controlada, e outros não descreveram a manobra em detalhes,⁽²³⁾ o que dificulta a interpretação dos seus resultados. Dentre aqueles que investigaram o uso da CTM brusca durante a ventilação mecânica invasiva, são encontrados estudos em modelos mecânicos, modelos animais, em

adultos e em crianças, os quais reportaram aumentos significativos no PFE de 8,8 l/min⁽¹⁹⁾; 8,9 l/min⁽¹⁸⁾; 16,2 a 43,8 l/min⁽²³⁻²⁵⁾; e 13,8%,⁽²⁶⁾ respectivamente. O aumento do PFE provocado pela CTM no nosso estudo foi inferior ao encontrado em estudos em adultos. Tais diferenças provavelmente são explicadas em função das características físicas do operador da CTM e, principalmente, da força aplicada no tórax e das propriedades do sistema respiratório dos pacientes estudados. No presente estudo foi encontrada uma correlação baixa entre a força da mão dominante e o PFE e uma correlação moderada entre a força da mão dominante e a diferença PFE – PFI geradas durante a CTM. No entanto, é importante mencionar que o desenho do estudo, com um número reduzido de fisioterapeutas, não foi adequado para demonstrar a existência de correlação entre as variáveis estudadas. Wong et al.⁽²⁷⁾ avaliaram os efeitos da vibração (sem CTM), percussão e *shaking* aplicadas por dez fisioterapeutas em um modelo animal, sob ventilação mecânica, e também não encontraram correlação entre o tamanho das mãos dos fisioterapeutas e a força resultante durante a aplicação dessas técnicas.

O maior PPI gerado pelo fisioterapeuta 3 pode ter sido decorrente de uma pior sincronia entre a aplicação da CTM e o início da expiração. Quanto mais precoce a CTM é aplicada, antes do início da abertura da válvula expiratória, maior será o aumento gerado no PPI. No entanto, o valor médio do PPI gerado durante a aplicação da CTM pelos três fisioterapeutas ficou abaixo de 40 cmH₂O, e em somente 13% dos ciclos o PPI alcançou valores entre 40,0 e 45,5 cmH₂O, limite pressórico ainda considerado seguro.^(28,29) Além disso, o aumento no PPI ocorreu em função da diminuição momentânea da complacência da caixa torácica e/ou do aumento das pressões pleurais provocado pela manobra compressiva e, portanto, não provocou aumento da pressão transpulmonar.⁽³⁰⁾ Muito provavelmente, as consequências fisiológicas dessa manobra são equivalentes às alterações observadas na tosse espontânea, ou ainda no tocador de trompeta: apesar do grande aumento momentâneo da pressão intra-alveolar, as pressões pleurais se elevam concomitantemente, sem que haja aumento do gradiente de pressão transpulmonar e, portanto, sem risco de lesão do parênquima pulmonar.⁽³¹⁾

A maioria dos estudos sobre CTM não descreveu os seus efeitos sobre o *flow bias* expiratório.^(24,25,32-34) Apenas o de Gregson et al.⁽²⁶⁾ mostrou que a manobra de hiperinsuflação manual ultrapassou a razão PFE/PFI > 1,1 somente quando associada à CTM. Uma possível explicação para estudos que não conseguiram demonstrar que o uso da CTM resulta em maior remoção

de secreção^(32,34) é que o objetivo da CTM tenha sido centrado somente em aumentar o PFE e não tenha sido atendida a necessidade de se aumentar o *flow bias* expiratório. Frequentemente associa-se o emprego de maiores volumes correntes ou pressões inspiratórias à CTM. Esses ajustes podem gerar altos PFI, que neutralizam o aumento do PFE ocasionado pela CTM, tornando a manobra pouco ou totalmente ineficaz.

O presente estudo apresenta algumas limitações, como o número reduzido de pacientes. No entanto, estudos fisiológicos com o objetivo de retratar padrões ventilatórios normalmente apresentam uma amostra menor, entre 10 e 14 pacientes.^(35,36) Uma segunda limitação é que tanto a manobra PEEP-ZEEP quanto a CTM podem provocar fechamento de vias áreas periféricas e limitação do fluxo expiratório, condições que não foram investigadas em nosso estudo, o que requer prudência na aplicação dessa manobra em pacientes suscetíveis a essas condições.⁽²³⁾ Por último, os limiares descritos para o *flow bias* expiratório promover o deslocamento de secreção em direção à glote ainda não foram investigados em humanos e devem ser interpretados com cautela. Vale ressaltar que os limiares encontrados no estudo de Li Bassi et al.,⁽¹²⁾ diferença PFE – PFI > 33 l/min e razão PFE/PFI > 4,3, foram obtidos com os animais sedados e em ventilação controlada, o que dificulta a aplicação desses limiares em pacientes sob ventilação assistida e espontânea, como no caso da maioria dos pacientes do nosso estudo. Outro ponto é que as propriedades da secreção dos animais não foram analisadas, e a viscosidade das secreções certamente influencia os limiares obtidos. Além disso, não se tem conhecimento se existe um comportamento linear positivo entre o *flow bias* e a remoção de secreção, ou seja, se quanto maior for o *flow bias* (a partir de determinado limiar) maior será o deslocamento de secreção em direção à glote. Portanto, a realização da CTM associada à manobra PEEP-ZEEP não deve ser desestimulada na prática clínica somente com base nos nossos resultados.

Os resultados do nosso estudo reforçam que a manobra PEEP-ZEEP, associada ou não à CTM, se apresenta como uma técnica promissora de remoção de secreção; porém, o seu nível de evidência científica ainda é baixo. Novos estudos com aplicação de uma manobra PEEP-ZEEP padronizada — realizada em volume controlado e que resulte em uma diferença PFE – PFI > 33 l/min — e que explore desfechos relacionados a possíveis efeitos adversos, como indução de colapso pulmonar, e desfechos que mensurem a efetividade da manobra, como a quantidade de secreção removida, são necessários.

REFERÊNCIAS

1. Branson RD. Secretion management in the mechanically ventilated patient. *Respir Care*. 2007;52(10): 1328-42; discussion 1342-7.
2. Sackner MA, Hirsch J, Epstein S. Effect of cuffed endotracheal tubes on tracheal mucous velocity. *Chest*. 1975;68(6):774-7. <https://doi.org/10.1378/chest.68.6.774>
3. Li Bassi G, Zanella A, Cressoni M, Stylianou M, Kolobow T. Following tracheal intubation, mucus flow is reversed in the semirecumbent position: possible role in the pathogenesis of ventilator-associated

pneumonia. *Crit Care Med.* 2008;36(2):518-25. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000299741.32078.E9>

4. Konrad F, Schreiber T, Brecht-Kraus D, Georgieff M. Mucociliary transport in ICU patients. *Chest.* 1994;105(1):237-41. <https://doi.org/10.1378/chest.105.1.237>
5. Epstein SK. Weaning from ventilatory support. *Curr Opin Crit Care.* 2009;15(1):36-43. <https://doi.org/10.1097/MCC.0b013e3283220e07>
6. Gosselink R, Bott J, Johnson M, Dean E, Nava S, Norrenberg M, et al. Physiotherapy for adult patients with critical illness: recommendations of the European Respiratory Society and European Society of Intensive Care Medicine Task Force on Physiotherapy for Critically Ill Patients. *Intensive Care Med.* 2008;34(7):1188-99. <https://doi.org/10.1007/s00134-008-1026-7>
7. França EE, Ferrari F, Fernandes P, Cavalcanti R, Duarte A, Martinez BP, et al. Physical therapy in critically ill adult patients: recommendations from the Brazilian Association of Intensive Care Medicine Department of Physical Therapy. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2012;24(1):6-22. <https://doi.org/10.1590/S0103-507X2012000100003>
8. Kim CS, Iglesias AJ, Sackner MA. Mucus clearance by two-phase gas-liquid flow mechanism: asymmetric periodic flow model. *J Appl Physiol (1985).* 1987;62(3):959-71. <https://doi.org/10.1152/jappl.1987.62.3.959>
9. Benjamin RG, Chapman GA, Kim CS, Sackner MA. Removal of bronchial secretions by two-phase gas-liquid transport. *Chest.* 1989;95(3):658-63. <https://doi.org/10.1378/chest.95.3.658>
10. Freitag L, Long WM, Kim CS, Wanner A. Removal of excessive bronchial secretions by asymmetric high-frequency oscillations. *J Appl Physiol (1985).* 1989;67(2):614-9. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.67.2.614>
11. Volpe MS, Adams AB, Amato MB, Marini JJ. Ventilation patterns influence airway secretion movement. *Respir Care.* 2008;53(10):1287-94.
12. Li Bassi G, Saucedo L, Marti JD, Rigol M, Esperatti M, Luque N, et al. Effects of duty cycle and positive end-expiratory pressure on mucus clearance during mechanical ventilation*. *Crit Care Med.* 2012;40(3):895-902. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e318236efb5>
13. Herbst-Rodrigues MV, Carvalho VO, Auler JO Jr, Feltrim MI. PEEP-ZEEP technique: cardiorespiratory repercussions in mechanically ventilated patients submitted to a coronary artery bypass graft surgery. *J Cardiothorac Surg.* 2011;6:108. <https://doi.org/10.1186/1749-8090-6-108>
14. Santos FR, Schneider Júnior LC, Forgiarini Junior LA, Veronezi J. Effects of manual rib-cage compression versus PEEP-ZEEP maneuver on respiratory system compliance and oxygenation in patients receiving mechanical ventilation. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2009;21(2):155-61. <https://doi.org/10.1590/S0103-507X2009000200007>
15. Lobo DM, Cavalcante LA, Mont'Alverne DG. Applicability of bag squeezing and zeep maneuvers in mechanically ventilated patients. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2010;22(2):186-91. <https://doi.org/10.1590/S0103-507X2010000200013>
16. Pellecchia GL. Figure-of-eight method of measuring hand size: reliability and concurrent validity. *J Hand Ther.* 2003;16(4):300-4. [https://doi.org/10.1197/S0894-1130\(03\)00154-6](https://doi.org/10.1197/S0894-1130(03)00154-6)
17. Dias JA, Ovando AC, Kulkamp W, Borges Junior NG. Hand grip strength: evaluation methods and factors influencing this measure. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum.* 2010;12(3):209-16.
18. Marti JD, Li Bassi G, Rigol M, Saucedo L, Ranzani OT, Esperatti M, et al. Effects of manual rib cage compressions on expiratory flow and mucus clearance during mechanical ventilation. *Critical Care Med.* 2013;41(3):850-6. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182711b52>
19. 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 ventilated lung model. *Physiotherapy.* 2010;96(4):344-9. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2010.02.007>
20. McCarren B, Alison JA, Herbert RD. Vibration and its effect on the respiratory system. *Aust J Physiother.* 2006;52(1):39-43. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(06\)70060-5](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(06)70060-5)
21. Nozoe M, Mase K, Ogino T, Murakami S, Takashima S, Domen K. Effects of chest wall compression on expiratory flow rates in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Braz J Phys Ther.* 2016;20(2):158-65. <https://doi.org/10.1590/bjpt-rbf.2014.0145>
22. McCarren B, Alison JA, Herbert RD. Manual vibration increases expiratory flow rate via increased intrapleural pressure in healthy adults: an experimental study. *Aust J Physiother.* 2006;52(4):267-71. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(06\)70006-X](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(06)70006-X)
23. Guimarães FS, Lopes AJ, Constantino SS, Lima JC, Canuto P, de Menezes SL. Expiratory rib cage Compression in mechanically ventilated subjects: a randomized crossover trial [corrected]. *Respiratory Care.* 2014;59(5):678-85. Erratum in *Respir Care.* 2014;59(7):e107.
24. MacLean D, Drummond G, Macpherson C, McLaren G, Prescott R. Maximum expiratory airflow during chest physiotherapy on ventilated patients before and after the application of an abdominal binder. *Intensive Care Med.* 1989;15(6):396-9. <https://doi.org/10.1007/BF00261500>
25. Silva AR, Fluhr SA, Bezerra Ade L, Correia Júnior MA, França EE, Andrade FM. Expiratory peak flow and respiratory system resistance in mechanically ventilated patients undergoing two different forms of manually assisted cough. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2012;24(1):58-63. <https://doi.org/10.1590/S0103-507X2012000100009>
26. Gregson RK, Shannon H, Stocks J, Cole TJ, Peters MJ, Main E. The unique contribution of manual chest compression-vibrations to airflow during physiotherapy in sedated, fully ventilated children. *Pediatr Crit Care Med.* 2012;13(2):e97-e102. <https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e3182230f5a>
27. Wong WP, Paratz JD, Wilson K, Burns YR. Hemodynamic and ventilatory effects of manual respiratory physiotherapy techniques of chest clapping, vibration, and shaking in an animal model. *J Appl Physiol (1985).* 2003;95(3):991-8. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00249.2003>
28. Skinner EH, Pearce A, Sturgess T. Development of a Performance Standard and Assessment Tool for Ventilator Hyperinflation Competency. *J Pulm Respir Med.* 2015;5(1):1000237. <https://doi.org/10.4172/2161-105X.1000237>
29. Boussarsar M, Thierry G, Jaber S, Roudot-Thoraval F, Lemaire F, Brochard L. Relationship between ventilatory settings and barotrauma in the acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med.* 2002;28(4):406-13. <https://doi.org/10.1007/s00134-001-1178-1>
30. Dreyfuss D, Soler P, Basset G, Saumon G. High inflation pressure pulmonary edema. Respective effects of high airway pressure, high tidal volume, and positive end-expiratory pressure. *Am Rev Respir Dis.* 1988;137(5):1159-64. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/137.5.1159>
31. Slutsky AS, Ranieri VM. Ventilator-induced lung injury. *N Engl J Med.* 2013;369(22):2126-36. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1208707>
32. Genc AA, Akan M, Gunerli A. The effects of manual hyperinflation with or without rib-cage compression in mechanically ventilated patients. *It J Physiother.* 2011;1:48-54.
33. Yousefnia-Darzi F, Hasavari F, Khaleghdoost T, Kazemnezhad-Leyli E, Khalili M. Effects of thoracic squeezing on airway secretion removal in mechanically ventilated patients. *Iran J Nurs Midwifery Res.* 2016;21(3):337-42. <https://doi.org/10.4103/1735-9066.180374>
34. 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.
35. Borges JB, Okamoto VN, Matos GF, Caraméz MP, Arantes PR, Barros F, et al. Reversibility of lung collapse and hypoxemia in early acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006;174(3):268-78. <https://doi.org/10.1164/rccm.200506-9760C>
36. Pelosi P, Cadringer P, Bottino N, Panigada M, Carrieri F, Riva E, et al. Sigh in acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999;159(3):872-80. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.159.3.9802090>