

Tiago Branco Siqueira<sup>1</sup>, Juliana Cristina Gomes de Freitas Costa<sup>1</sup>, Isnar Campos Tavares<sup>2</sup>, Priscilla Muniz Torres<sup>2</sup>, Maria do Amparo Andrade<sup>3</sup>, Eduardo Ériko Tenório de França<sup>4</sup>, Valdecir Castor Galindo Filho<sup>5</sup>, Flávio Maciel Dias Andrade<sup>6</sup>

## Mecânica respiratória de pacientes neurocríticos sob ventilação mecânica submetidos à umidificação aquosa aquecida e a um modelo de filtro trocador de calor

*Respiratory mechanics of neurological patients undergoing mechanical ventilation under water heated humidifier and a heat exchanger filter model*

### RESUMO

**Objetivos:** Em pacientes sob ventilação mecânica, dispositivos de umidificação são utilizados para aquecer e umidificar o gás inspirado. O aquecimento e umidificação do gás inspirado podem prevenir complicações associadas ao ressecamento da mucosa respiratória, como a formação de tampão mucoso e oclusão do tubo endotraqueal. Com esse objetivo, dois dispositivos têm sido comumente utilizados: os umidificadores aquosos aquecidos e os filtros trocadores de calor e umidade. O objetivo deste estudo foi comparar o efeito da utilização do umidificador aquoso aquecido e de um modelo de filtro trocador de calor e umidade sobre a mecânica respiratória de pacientes neurocríticos sob ventilação mecânica.

**Métodos:** Trata-se de um ensaio clínico, cruzado e randomizado, onde 31 pacientes neurocríticos sob ventilação mecânica foram submetidos de forma aleatória às duas formas de umidificação. Foram avaliados o volume corrente expi-

rado, pico de fluxo inspiratório, pico de fluxo expiratório, complacência estática, complacência dinâmica e resistência do sistema respiratório. Para análise estatística dos resultados obtidos foram utilizados os testes de Kolmogorov-Smirnov e t-Student para amostras pareadas, considerando-se a significância estatística quando observado um valor de  $p < 0,05$ .

**Resultados:** A utilização de um modelo de filtro trocador de calor e umidade promoveu a redução do volume corrente expirado, pico de fluxo inspiratório, pico de fluxo expiratório ( $p < 0,001$ ) e complacência dinâmica ( $p = 0,002$ ), além do aumento da resistência do sistema respiratório ( $p < 0,0001$ ).

**Conclusão:** Na população estudada, a utilização de um modelo de filtro trocador de calor e umidade promoveu a modificação de diversos parâmetros da mecânica respiratória.

**Descritores:** Mecânica respiratória; Respiração artificial; Ventiladores mecânicos; Unidades de terapia intensiva

1. Fisioterapeutas; Alunos do Curso de Especialização em Fisioterapia Cardiopulmonar pela Faculdade Redentor – Campus Recife - Recife (PE), Brasil.
2. Acadêmicas em Fisioterapia pela Faculdade Integrada do Recife – FIR - Recife (PE), Brasil.
3. Fisioterapeuta; Doutora, Professora do Curso de Fisioterapia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Recife (PE), Brasil.
4. Fisioterapeuta; Mestre, Professor do Curso de Fisioterapia da Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP – Recife (PE), Brasil.
5. Fisioterapeuta; Mestre, Professor dos Cursos da Faculdade Integrada do Recife – FIR e Faculdade Pernambucana - FAPE - Recife (PE), Brasil.
6. Fisioterapeuta; Mestre, Professor dos Cursos de Fisioterapia da Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP e Faculdade Integrada do Recife - FIR - Recife (PE), Brasil.

Recebido de Hospital da Restauração – Recife (PE), Brasil.

Submetido em 1º de Março de 2010  
Aceito em 2 de Agosto de 2010

### Autor para correspondência:

Flávio Maciel Dias de Andrade  
Rua Francisco da Cunha, 1910 – apt. 1701-B - Boa Viagem  
CEP: 51020-041 – Recife (PE), Brasil.  
Email: flaviomaciel@pulmocardi.com.br / ftflaviomaciel@yahoo.com.br

### INTRODUÇÃO

A utilização de uma via aérea artificial (VAA) e a implementação da ventilação mecânica (VM) estão indicadas na presença de desequilíbrio entre a demanda e a capacidade ventilatória. As vias aéreas superiores desempenham importante papel no aquecimento, umidificação e filtração do ar inspirado, sendo responsável pelo fornecimento de aproximadamente 65% da umidade do gás alveolar.<sup>(1,2)</sup>

A inalação prolongada de gases inadequadamente condicionados pode acarretar hipotermia, espessamento das secreções brônquicas, destruição do epitélio das vias aéreas, atelectasias, inflamação da parede da traquéia, disfagia, estenose de laringe, além de lesões das cordas vocais, cavidade oral e traquéia.<sup>(1,3-5)</sup>

O emprego de uma VAA contribui para inalação de um grande volume de gás

com baixa temperatura e pouca umidade, sendo mandatória a utilização de sistemas de umidificação acoplados ao ramo inspiratório do circuito do ventilador mecânico, com o objetivo de propiciar a aclimação do ar inspirado.<sup>(1,4,6-9)</sup>

Dois tipos de dispositivos têm sido comumente utilizados durante a VM visando a umidificação e o aquecimento do ar inspirado, sendo denominados umidificadores aquosos aquecidos (UAA) e filtros trocadores de calor e umidade (FTCU). Os UAAs promovem o aquecimento e umidificação do ar inspirado pela passagem do mesmo por meio de uma câmara preenchida parcialmente por água destilada aquecida, enquanto os FTCUs são dispositivos adaptados entre a VAA e o circuito do ventilador, sendo capazes de armazenar parte do calor e do vapor d'água proveniente do ar exalado, disponibilizando-os durante uma nova inspiração.<sup>(1,8,10,11)</sup>

Algumas desvantagens estão associadas aos dois tipos de umidificadores. Durante a utilização da UAA frequentemente observa-se a produção de grande volume de condensado, aumento da incidência de pneumonia associada à ventilação, assincronia paciente-ventilador, necessidade de energia elétrica e constante reabastecimento de água. Já o uso prolongado do FTCU (> 24h) pode promover o aumento do trabalho respiratório, devido à maior resistência oferecida à passagem do gás inspirado, além de alterações da ventilação alveolar.<sup>(3,8,9,12-14)</sup>

Apesar de alguns estudos<sup>(3,8,10,12-16)</sup> terem analisado a eficácia dos sistemas de umidificação no que concerne à prevenção de colonização viral e bacteriana e à capacidade de prover adequada umidificação e aquecimento, são poucos os estudos<sup>(10,14,15)</sup> que avaliaram os efeitos da utilização desses dispositivos sobre a mecânica respiratória e o trabalho imposto aos músculos respiratórios.

Em face dos dados acima expostos, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da utilização da UAA e de um modelo de FTCU sobre a mecânica respiratória de pacientes neurocríticos sob VM.

## MÉTODOS

Trata-se de ensaio clínico controlado, cruzado e randomizado (sorteio realizado por meio de cartão), no qual foram avaliados pacientes neurocríticos admitidos na unidade de terapia intensiva do Hospital da Restauração - PE, no período de outubro de 2008 a outubro de 2009.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos do referido hospital e os responsáveis legais pelos envolvidos no estudo assinaram termo de consentimento livre e esclarecido, conforme prevê a resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde.

Foram incluídos no estudo os pacientes com idade superior a 18 anos, sem diagnóstico de doença pulmonar prévia,

portadores de patologia neurológica, sob VM por menos de 72 horas, sedados e que não realizassem esforço muscular respiratório.

Como critérios de exclusão foram considerados a presença de contraindicação para o uso do FTCU, a saber, secreção traqueal abundante ou espessa, volume minuto elevado (maior que 10L/min), volume corrente menor que 300 ml ou maior que 1100 ml, presença de fístulas broncopleurais e hipotermia (temperatura axilar abaixo de 32°C).<sup>(17,18)</sup>

Foi utilizado o UAA Misty-3<sup>®</sup> (Intermed<sup>®</sup>, São Paulo - Brasil), preenchido com 280 ml de água destilada, com temperatura ajustada no nível 5 da escala numérica do equipamento. O FTCU utilizado foi o modelo eletrostático Hygrobac "S" (Mallinckrodt DAR<sup>®</sup> - Tyco Healthcare, Mirandola - Itália), recém retirado da embalagem, cujo espaço morto e peso eram de 51 ml e 28 g, respectivamente (informações fornecidas pelo fabricante).

A avaliação inicial dos pacientes constou da coleta de dados pessoais (nome, idade e sexo) e dados clínicos (causa da intubação, problemas clínicos associados e tempo total de VM), obtidos por meio do prontuário hospitalar. Os parâmetros ventilatórios e o modo de ventilação previamente utilizado eram observados diretamente no ventilador mecânico Inter 5-Plus<sup>®</sup> - Intermed<sup>®</sup> (São Paulo, Brasil).

Os pacientes eram posicionados em decúbito dorsal elevado no leito (angulação de 30° graus), medida com auxílio de um goniômetro (Carci<sup>®</sup>, São Paulo - Brasil) e submetidos à aspiração traqueal. Após a aspiração foi realizada a monitorização da frequência cardíaca (FC), pressão arterial média (PAM) e saturação periférica de oxigênio (SpO<sub>2</sub>), utilizando-se o monitor DX 2010<sup>®</sup> (Dixtal<sup>®</sup>, São Paulo - Brasil).

Todos os pacientes foram inicialmente ventilados no modo de ventilação com pressão controlada (PCV) por 15 minutos, com variação pressórica ( $\Delta P$ ) de 20 cmH<sub>2</sub>O, frequência respiratória (FR) de 12 ipm, tempo inspiratório (Tins) de 1 s, sensibilidade inspiratória (Sens) de - 2 cmH<sub>2</sub>O, com pressão positiva expiratória final (PEEP) e fração inspirada de oxigênio (FiO<sub>2</sub>) mantidas nos níveis previamente utilizados. Após o ajuste desses parâmetros eram obtidos o volume corrente expirado (VCexp), pico de fluxo expiratório (PFE) e pico de fluxo inspiratório (PFI) por meio do monitor Inter-GMX Slim<sup>®</sup> (Intermed<sup>®</sup>, São Paulo - Brasil).

Após a obtenção desses parâmetros, alterava-se o modo ventilatório para o modo de ventilação com volume controlado (VCV), com onda de fluxo quadrada, volume corrente (VC) de 8 ml/Kg de peso predito (obtido por meio das fórmulas:  $50 + 0,91 \times [\text{altura (cm)} - 152,4]$  para homens e  $45,5 + 0,91 \times [\text{altura (cm)} - 152,4]$  para mulheres),<sup>(19)</sup> PFI de 60 Lpm, pausa inspiratória de 2 s, FR de 12 ipm, PEEP e FiO<sub>2</sub> mantidas nos níveis previamente utilizados, obtendo-se a pressão de pico

(Ppico) e a pressão de platô (Pplatô), sendo calculada a complacência dinâmica – Cdin (VC / Ppico – PEEP), complacência estática – Cest [VC / (Pplatô – PEEP)] e resistência do sistema respiratório – Rsr [(Ppico - Pplatô) / PFI].<sup>(20)</sup>

Após a avaliação da Cdin, Cest e Rsr, os pacientes eram ventilados no modo PCV (ajustes anteriormente citados), sendo repetido o protocolo após 15 minutos, utilizando o outro sistema de umidificação.

Para a análise estatística utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para testar a normalidade das variáveis mensuradas e na análise intragrupos aplicou-se o teste t-student para amostras pareadas. Foi utilizado o software GraphPad Prism 4 e Microsoft Excel 2007, considerando-se a significância estatística quando obtido um valor de  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS

Foram avaliados 31 pacientes de ambos os sexos, portadores de diversas patologias neurológicas, cujo gênero, idade, características antropométricas e dias de intubação estão ex-

**Tabela 1 – Características demográficas**

Variáveis	Resultados
Diagnóstico clínico	
Traumatismo crânio-encefálico	12 (38,9)
Acidente vascular encefálico hemorrágico	7 (22,5)
Pós-operatório de neurocirurgia	6 (19,3)
Acidente vascular encefálico isquêmico	5 (16,1)
Traumatismo raquimedular	1 (3,2)
Gênero	
Masculino	17 (54,8)
Feminino	14 (45,2)
Idade (anos)	47,61 ± 15,99
Altura (m)	1,66 ± 0,10
Peso ideal (Kg)	61,33 ± 11,38
Tempo de intubação (dias)	1,83 ± 0,73

Os dados estão expressos como número (percentuais ou média ± desvio padrão).

postos na tabela 1.

A tabela 2 apresenta as médias ± desvio-padrão dos parâmetros de mecânica respiratória avaliados durante o estudo. Nela pode-se observar que os pacientes, quando submetidos ao FTCU, apresentaram redução significativa do VCexp ( $p < 0,001$ ), PFE ( $p < 0,001$ ), PFI ( $p < 0,001$ ) e Cdin (0,002). Em relação à Rsr, observou-se um aumento significativo no grupo FTCU ( $p < 0,001$ ). A Cest não diferiu significativamente entre os grupos analisados.

## DISCUSSÃO

A utilização dos FTCUs tem aumentado nos últimos anos devido à redução do seu custo operacional, facilidade de manuseio e possíveis benefícios clínicos, tais como, redução do volume de condensado no circuito e redução na incidência de PAV.<sup>(21,22)</sup> Entretanto, seu emprego pode associar-se ao incremento da resistência imposta e do espaço morto, com conseqüente aumento do trabalho muscular respiratório, redução do volume minuto e retenção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).<sup>(10,23-25)</sup>

Esses efeitos adversos, observados durante a utilização dos FTCUs, têm sido descritos na vigência de obstrução parcial do mesmo por secreções traqueobrônquicas e após seu uso prolongado, estando associado ao aumento da sua higroscopicidade e peso, não se esperando importantes alterações, durante a utilização do filtro seco.<sup>(23,24)</sup>

No presente estudo optamos por avaliar o efeito de um FTCU sobre a mecânica respiratória imediatamente após o início da sua utilização, observando um aumento médio da Rsr superior a prevista pelo fabricante ( $\pm 2,5$  cmH<sub>2</sub>O/L/s com PFI = 60 Lpm), alcançando um valor médio superior (14,84 cmH<sub>2</sub>O/L/s) ao considerado aceitável durante o manejo de pacientes mecanicamente ventilados (12 cmH<sub>2</sub>O/L/s), o qual poderia ser ainda maior com o prolongamento do tempo de uso.

Em nossa amostra, composta por pacientes neurocríticos, foi observada significativa redução do VCexp com o emprego do FTCU durante a ventilação mecânica no modo assistido-

**Tabela 2 - Parâmetros de mecânica ventilatória obtidos durante a utilização dos dois dispositivos de umidificação**

Parâmetros	Grupo UAA	Grupo FTCU	Valor de p*
VCexp (ml)	673,90 ± 165,50	584,20 ± 141,50	0,001
PFE (Lpm)	49,65 ± 9,45	42,84 ± 7,40	0,001
PFI (Lpm)	64,23 ± 8,75	59,55 ± 8,56	0,001
Cest (ml/cmH <sub>2</sub> O)	55,95 ± 17,29	55,12 ± 14,87	0,571
Cdin (ml/cmH <sub>2</sub> O)	29,75 ± 12,12	26,29 ± 9,94	0,002
Rsr (cmH <sub>2</sub> O/L/s)	11,71 ± 5,36	14,84 ± 5,28	0,001

UAA - umidificação aquosa e aquecida; FTCU - filtro trocador de calor e umidade; VCexp - volume corrente expirado; PFE - pico de fluxo expiratório; PFI - pico de fluxo inspiratório; Cest - complacência estática; Cdin - complacência dinâmica; Rsr - resistência do sistema respiratório, Resultados expressos em média ± desvio padrão, \* Teste t-Student para amostras pareadas,

controlado de pacientes neurológicos.

Atenção especial deve ser disponibilizada ao controle da ventilação alveolar nessa população e em pacientes que apresentem hipercapnia durante a utilização do FTCU, destacando-se os portadores de DPOC e que apresentem história de broncoespasmo, a fim de evitar flutuações indesejadas da  $\text{PaCO}_2$  e modificações da hemodinâmica cerebral.<sup>(26-28)</sup>

Pacientes submetidos ao desmame da VM podem apresentar sobrecarga muscular respiratória durante a utilização do FTCU devido ao aumento da resistência imposta. Diversos estudos compararam os efeitos da utilização do FTCU em pacientes submetidos ao desmame da VM, observando redução do VC, aumento da  $\text{PaCO}_2$ , da FR e do volume minuto.<sup>(4,10,15,23)</sup>

Os valores de PFI, PFE e Cdin reduziram-se significativamente, enquanto a Rsr aumentou significativamente em nosso estudo, durante a utilização do FTCU. Esses resultados apontam para um aumento da resistência imposta ao fluxo aéreo, a qual pode aumentar a demanda ventilatória e o consumo de oxigênio dificultando o processo de desmame da VM.<sup>(10,23,29,30)</sup>

Chiaranda et al. relataram um aumento significativo da Rsr em 83% dos pacientes que utilizaram o FTCU após 24 horas da sua utilização.<sup>(31)</sup> No entanto, em um estudo randomizado e controlado, Ricard et al. avaliaram o efeito do tempo de uso sobre o desempenho do FTCU em 45 pacientes sob VM, verificando um aumento da Rsr no momento inicial da sua utilização, não observando diferença na Rsr após 7 dias quando comparada ao primeiro dia de uso.<sup>(18)</sup>

Em nosso estudo utilizamos um único modelo de FTCU higroscópico. Lucato et al. analisaram os efeitos de diferentes tipos de FTCU (higroscópico x hidrofóbico x misto), observando um aumento significativo da Rsr durante a utilização do FTCU higroscópico, correlacionando-o ao acúmulo excessivo de umidade e aumento do peso do filtro.<sup>(14)</sup> O nosso estudo não possibilitou a comparação de diversos tipos de filtros higroscópicos, impedindo a extrapolação desses resultados para os outros modelos comercializados.

Iotti et al. observaram que o aumento da resistência do sistema respiratório acarretada pelo emprego do FTCU pode promover o aumento da frequência respiratória, redução do tempo expiratório, desenvolvimento de auto-PEEP e consequente aumento do trabalho respiratório.<sup>(29)</sup> A presença de auto-PEEP está associada ao aumento da pressão intratorácica e a redução do retorno venoso cerebral,<sup>(32)</sup> predispondo ao aumento da pressão intracraniana em pacientes portadores de lesões cerebrais extensas.<sup>(27,28)</sup>

Conti et al., analisando indivíduos saudáveis em respiração espontânea, verificaram que a utilização do FTCU acarreta aumento da resistência do sistema respiratório e que o trabalho muscular respiratório pode ser reduzido por meio

do prolongamento do tempo expiratório.<sup>(33)</sup>

Não evidenciamos sinais clínicos de aumento do trabalho respiratório nesse estudo, uma vez que todos os pacientes encontravam-se sob efeito de sedação e/ou anestésico e ventilação controlada.

Em estudos prévios, o efeito da utilização do FTCU sobre a Cdin é controverso. Iotti et al. não observaram mudança significativa da Cdin em pacientes utilizando o FTCU,<sup>(29)</sup> enquanto Morán et al. observaram redução significativa da Cdin durante o emprego do FTCU, devido a um aumento da pressão resistiva,<sup>(34)</sup> semelhantemente aos resultados obtidos em nosso estudo.

A redução do PFE observada nesse estudo, durante a utilização do FTCU, pode dificultar o deslocamento de secreções brônquicas em direção às vias aéreas superiores em pacientes mecanicamente ventilados. Segundo Gosselink et al. e Volpe et al., o aumento do PFE associa-se ao deslocamento do centro de massa e melhor remoção do excesso de muco brônquico, contribuindo assim para um menor risco de complicações pulmonares como atelectasias e infecções respiratórias.<sup>(35,36)</sup>

No presente estudo, o FTCU não acarretou modificação significativa da Cest. Macintyre et al., estudando a mecânica respiratória de 26 pacientes que utilizavam o FTCU por período superior a 24 horas, também não observaram diferença significativa na Cest, o que pode se dever a não modificação da pressão alveolar durante a utilização do FTCU.<sup>(37)</sup>

Embora alterações de mecânica respiratória tenham sido observadas na amostra estudada, não é possível avaliar o verdadeiro impacto clínico das mesmas, uma vez que não foram analisados seus efeitos sobre variáveis como tempo de ventilação mecânica e de permanência na UTI, além de mortalidade hospitalar. Faz-se necessário a realização de outros estudos, utilizando outros modelos de FTCU (higroscópicos, hidrofóbicos e mistos), avaliando a ventilação alveolar e a hemodinâmica cerebral em pacientes neurológicos críticos e o trabalho muscular respiratório em pacientes submetidos ao desmame da VM.

## CONCLUSÃO

Nossos resultados sugerem que a utilização de um modelo de FTCU pode promover modificações significativas da mecânica respiratória (VCexp, PFI, PFE, Cdin e Rsr) de pacientes neurológicos mecanicamente ventilados.

## AGRADECIMENTOS

Nosso agradecimento às coordenações da Unidade de Terapia Intensiva e da Equipe de Fisioterapia do Hospital da Restauração - PE e à Professora Andrezza Lemos pela colaboração na elaboração desse manuscrito.

**ABSTRACT**

**Objectives:** In mechanically ventilated patients, humidifier devices are used to heat and moisturize the inspired gas. Heating and humidifying inspired gas may prevent complications associated with the respiratory mucosa dryness such as mucus plugging and endotracheal tube occlusion. Two devices have been commonly used to this, either heated humidifier or the heat moisture exchange filter. This study aimed to compare the effects of the heated humidifier and a model of heat moisture exchange filter on respiratory mechanics in mechanically ventilated neurological patients.

**Methods:** This was a randomized crossover trial, involving 31 neurological patients under mechanical ventilation randomly assigned to the humidification devices. Expired tidal volume, peak inspi-

ratory flow, peak expiratory flow, static compliance, dynamic compliance and respiratory system resistance were evaluated. Statistical analysis used the Kolmogorov-Smirnov test and Student's t test for paired samples, in which P values < 0.05 were considered significant.

**Results:** The heat moisture exchanger filter decreased expired tidal volume, peak inspiratory flow, peak expiratory flow (p < 0.001) and dynamic compliance (p = 0.002), and increased respiratory system resistance (p < 0.001).

**Conclusion:** In the studied population, the use of a heat moisture exchange filter model led to several changes on respiratory mechanics parameters.

**Keywords:** Mechanical ventilation; Artificial respiration; Mechanical ventilators; Intensive care units

**REFERÊNCIAS**

- Ribeiro DC, Lopes CR, Lima RZ, Teixeira YCN. Comparação da resistência imposta pelos filtros artificiais durante a ventilação mecânica. *Arq Med ABC*. 2007;32(Supl 2): S42-6.
- Kirton OC, DeHaven CB, Morgan JP, Windsor J, Civetta JM. Elevated imposed work of breathing masquerading as ventilator weaning intolerance. *Chest*. 1995;108(4):1021-5.
- Thiéry G, Boyer A, Pigné E, Salah A, De Lassence A, Dreyfuss D, Ricard JD. Heat and moisture exchanger in mechanically ventilated intensive care unit patients: a plea for an independent assessment of their performance. *Crit Care Med*. 2003;31(3):699-704.
- Galvão AM, Galindo Filho VC, Marinho PEM, Gomes R, França EET, Brandão DC, et al. Estudo comparativo entre os sistemas de umidificação aquoso aquecido e trocador de calor e de umidade na via aérea artificial de pacientes em ventilação mecânica invasiva. *Rev Bras Fisioter*. 2006;10(3):303-8.
- Scanlan CL, Wilkins RL, Stoller JK. Fundamentos da terapia respiratória de Egan. 7a ed. São Paulo: Manole; 2000. Cap. 31. p.683-703.
- Branson RD. Humidification for patients with artificial airways. *Respir Care*. 1999;44(6):630-42.
- Chiumello D, Pelosi P, Park G, Candiani A, Bottino N, Storelli E, et al. In vitro and in vivo evaluation of a new active heat moisture exchanger. *Crit Care*. 2004;8(5):R281-8.
- Kollef MH, Shapiro SD, Boyd V, Silver P, Von Harz B, Trovillion E, Prentice D. A randomizer trial comparing an extended-use hygroscopic condenser humidifier with heated-water humidification in mechanically ventilated patients. *Chest*. 1998;133(3):759-67.
- Lucato JJ, Adams AB, Souza R, Torquato JA, Carvalho CR, Marini JJ. Evaluating humidity recovery efficiency of currently available heat and moisture exchangers: a respiratory system model study. *Clinics (Sao Paulo)*. 2009;64(6):585-90.
- Girault C, Breton L, Richard JC, Tamion F, Vandelet P, Aboab J, et al. Mechanical effects of airway humidification devices in difficult to wean patients. *Crit Care Med*. 2003;31(5):1306-11.
- Branson RD, Campbell R, Johannigam J, Ottaway M, Davis K Jr, Luchette FA, Frame S. Comparison of conventional heated humidification with a new active hygroscopic heat and moisture exchanger in mechanically ventilated patients. *Respir Care*. 1999;44(8):912-7.
- Koening SM, Truitt JD. Ventilator-associated pneumonia: diagnosis, treatment, and prevention. *Clin Microbiol Rev*. 2006;19(4):637-57.
- Diaz RB, Barbosa DA, Bettencourt AR, Vianna LAC, Gir E, Guimarães T. Avaliação do uso de filtros umidificadores higroscópicos para prevenção de pneumonia hospitalar. *Acta Paul Enferm*. 2002;15(4):32-44.
- Lucato JJ, Tucci MR, Schettino GP, Adams AB, Fu C, Forti G Jr, et al. Evaluation of resistance in 8 different heat-and-moisture exchangers: effects of saturation and flow rate/profile. *Respir Care*. 2005;50(5):636-43.
- Le Bourdellès G, Mier L, Fiquet B, Djedaïni K, Saumon G, Coste F, Dreyfuss D. Comparison of the effects of heat and moisture exchangers and heated humidifiers on ventilation and gas exchange during weaning trials from mechanical ventilation. *Chest*. 1996;110(5):1294-8.
- Turnbull D, Fisher PC, Mills GH, Morgan-Hughes NJ. Performance of breathing filters under wet conditions: a laboratory evaluation. *Br J Anaesth*. 2005;94(5):675-82.
- Branson RD, Davis K Jr, Campbell RS, Johnson DJ, Porembka DT. Humidification in the intensive care unit. Prospective study of new protocol utilizing heated humidification and a hygroscopic condenser humidifier. *Chest*. 1993;104(6):1800-5.
- Ricard JD, Le Mièrre E, Markowicz P, Lasry S, Saumon G, Djedaïni K, et al. Efficiency and safety of mechanical ventilation with a heat and moisture exchanger changed only once a week. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;161(1):104-9.

19. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. *N Engl J Med*. 2000;342(18):1301-8.
20. Emmerich JC. Monitorização respiratória: fundamentos. 2a. ed. Rio de Janeiro: Revinter; 2001. p.159-81.
21. Masterton RG, Galloway A, French G, Street M, Armstrong J, Brown E, et al. Guidelines for the management of hospital-acquired pneumonia in the UK: report of the working party on hospital-acquired pneumonia of the British Society for Antimicrobial Chemotherapy. *J Antimicrob Chemother*. 2008;62(1):5-34. Review.
22. 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.
23. Campbell RS, Davis K Jr, Johannigman JA, Branson RD. The effects of passive humidifier dead space on respiratory variables in paralyzed and spontaneously breathing patients. *Respir Care*. 2000;45(3):306-12.
24. Manthous C, Schmidt GA. Resistive pressure of a condenser humidifier in mechanically ventilated patients. *Crit Care Med*. 1994;22(11):1792-5.
25. Kola A, Eckmanns T, Gastmeier P. Efficacy of heat and moisture exchangers in preventing ventilator-associated pneumonia: meta-analysis of randomized controlled trials. *Intensive Care Med*. 2005;31(1):5-11.
26. Stocchetti N, Maas AI, Chierogato A, van der Plas AA. Hyperventilation in head injury: a review. *Chest*. 2005;127(5):1812-27.
27. Mascia L, Majorano M. Mechanical ventilation for patients with acute brain injury. *Curr Opin Crit Care*. 2000;6(1):52-6.
28. Oliveira-Abreu M, Almeida ML. Manuseio da ventilação no trauma cranioencefálico: hiperventilação e pressão positiva expiratória final. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2009;21(1):72-9.
29. Iotti GA, Olivei MC, Braschi A. Mechanical effects of heat-moisture exchangers in ventilated patients. *Critical Care*. 1999;3(5):R77-82.
30. Pelosi P, Solca M, Ravagnan I, Tubiolo D, Ferrario L, Gattinoni L. Effects of heat and moisture exchangers on minute ventilation, ventilatory drive, and work of breathing during pressure-support ventilation in acute respiratory failure. *Crit Care Med*. 1996;24(7):1184-8.
31. Chiaranda M, Verona L, Pinamonti O, Dominioni L, Minoja G, Conti G. Use of heat and moisture exchanging (HME) filters in mechanically ventilated ICU patients: influence on airway low-resistance. *Intensive Care Med*. 1993;19(8):462-6.
32. Blanch L, Bernabé F, Lucangelo U. Measurement of air trapping, intrinsic positive end-expiratory pressure, and dynamic hyperinflation in mechanically ventilated patients. *Respir Care*. 2005;50(1):110-23; discussion 123-4.
33. Conti G, De Blasi RA, Rocco M, Pelaia P, Antonelli M, Bui M, et al. Effects of the heat-moisture exchangers on dynamic hyperinflation of mechanically ventilated COPD patients. *Intensive Care Med*. 1990;16(7):441-3.
34. Morán I, Bellapart J, Vari A, Mancebo J. Heat and moisture exchangers and heated humidifiers in acute lung injury/acute respiratory distress syndrome patients. Effects on respiratory mechanics and gas exchange. *Intensive Care Med*. 2006;32(4):524-31.
35. 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.
36. Volpe MS, Adams AB, Amato MB, Marini JJ. Ventilation patterns influence airway secretion movement. *Respir Care*. 2008;53(10):1287-94.
37. Macintyre NR, Anderson HR, Silver RM, Schuler FR, Coleman RE. Pulmonary function on mechanically-ventilated patients during 24-hour use of a hygroscopic condenser humidifier. *Chest*. 1983;84(5):560-4.