

Artigo original

Avaliação da resistência imposta pelos filtros trocadores de calor e umidade às vias aéreas de pacientes com suporte ventilatório mecânico

Evaluation of resistance imposed by heat exchangers and moisture filters of airway in patients with mechanical ventilatory support

Nayala Lirio Gomes Gazola, M.Sc.*, Fernando Osni Machado, D.Sc.**, Walter Celso de Lima, D.Sc.***, Humberto Pereira da Silva****, Juliana El Hage Meyer de Barros Guliní, M.Sc.*****

.....
*Doutoranda do PEN/UFSC, Fisioterapeuta HU-UFSC, Membro do GIATE, **Médico da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Universitário HU-UFSC e Professor do Curso de Medicina da UFSC, ***Professor da UDESC, ****Engenheiro da IEB-UFSC, *****Fisioterapeuta HU/UFSC

Resumo

Introdução: Os FTCUs (filtros trocadores de calor e umidade) são dispositivos que combinam propriedades de umidificação e retenção bacteriana através de membranas que protegem pacientes mecanicamente ventilados. **Objetivo:** Analisar, em um modelo experimental, os efeitos de diferentes marcas de FTCU, em diferentes tempos de uso sobre resistência das vias aéreas de pacientes com suporte ventilatório artificial. **Material e método:** Trata-se de um ensaio clínico randomizado, a amostra constitui-se de 30 filtros de três diferentes marcas, utilizados por 48 horas em pacientes internados numa unidade de terapia intensiva. A variável estudada consistiu na resistência ao fluxo de ar, analisada em 0, 24 e 48 horas para cada marca de FTCU. **Resultados:** Não houve diferença estatisticamente significativa na resistência ao fluxo de ar entre as marcas no tempo de uso 24 horas ($p = 0,489$) e 48 horas ($p = 0,374$), apenas no momento 0 hora de utilização houve uma diferença estatisticamente significativa ($p = 0,027$) entre as marcas estudadas, e, além disso, dentro da mesma marca não houve diferença estatística na resistência ao fluxo de ar com o tempo de uso. **Conclusão:** A utilização por 48 horas dos FTCUs não interfere na resistência ao fluxo de ar de pacientes mecanicamente ventilados promovendo segurança no seu uso.

Palavras-chave: filtros, resistência das vias respiratórias, respiração artificial, unidade de terapia intensiva.

Abstract

Introduction: The FTCUs (heat and moisture exchange filters) are devices that combine wetting properties and retention through bacterial membranes that protect mechanically ventilated patients. **Objective:** To analyze, in an experimental model, the effects of different brands of FTCU at different times of use on the airways of patients with mechanical ventilation. **Material and methods:** Randomized clinical trial with a sample of 30 filters used three different brands for 48 hours in ICU patients. The variable studied was the resistance to airflow analyzed at 0, 24 and 48 hours for each brand of FTCU. **Results:** There were no statistically significant difference in resistance to air flow between the brands used 24 hours ($p = 0.489$) and 48 hours ($p = 0.374$). Just in time 0 hour of use there was a statistically significant difference ($p = 0.027$) among the brands studied. Within the same brand no statistical difference was observed in the resistance to air flow with time of use. **Conclusion:** The use of filters does not interfere with FTCUs resistance to airflow in mechanically ventilated patients promoting security in its use.

Key-words: filter, airway resistance, artificial respiration, intensive care unit.

Recebido em 28 de março de 2011; aceito em 30 de agosto de 2011.

Endereço para correspondência: Nayala Lirio Gomes Gazola, Rua Osni João Vieira, 620/1004, 88101-270 São José SC, Tel: (48) 9980-8818, E-mail: nayalagomes@ibest.com.br

Introdução

Na presença de intubação orotraqueal, nasotraqueal ou traqueostomia ocorre a perda das funções fisiológicas das vias aéreas como filtração, aquecimento e umidificação dos gases inalados [1]. Desta forma, com a utilização de uma via aérea artificial, a respiração prolongada de gases inadequadamente condicionados através de um tubo endotraqueal pode acarretar hipotermia, espessamento das secreções, destruição do epitélio das vias aéreas e atelectasias. Além disso, a parede e o muco dos brônquios e dos bronquíolos são quem sofrem maior influência da umidade e da temperatura do gás. Quando o paciente utiliza uma via aérea artificial, é necessário acrescentar-se ao circuito de ventilação mecânica (VM) um sistema para umidificar e aquecer o gás inalado [2-4].

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) [3,5].

O princípio básico dos umidificadores aquecidos é transpor o gás seco e frio através de uma câmara preenchida parcialmente de água aquecida, onde por meio da evaporação, o vapor da água é misturado ao gás, elevando sua temperatura e umidade. Os umidificadores aquecidos apresentam algumas desvantagens, tais como: a condensação do vapor de água no circuito elevando a colonização de bactérias, o fornecimento de energia e o constante suprimento de água. Além disso, o uso incorreto pode causar aquecimento e umidificação excessivos ou insuficientes, produzindo uma situação não fisiológica, podendo levar a repercussões clínicas indesejáveis, a quadros clínicos de hipotermia ou hipertermia, lesão térmica de via aérea, pouca fluidificação da secreção, degeneração e paralisia ciliar. Somado a isto, podem causar infecções pulmonares, aumentar a quantidade de secreções das vias aéreas aumentando consequentemente a resistência do sistema e ainda lesar o aparelho mucociliar e o surfactante devido ao condensado aquoso [4,6].

Os FTCUs são dispositivos colocados entre o tubo endotraqueal/traqueostomia e o conector em "Y" do circuito do ventilador. São umidificadores de ação passiva, cujo princípio de funcionamento é armazenar parte do calor e do vapor d'água proveniente do ar exalado, disponibilizando-os durante uma nova inspiração. Tem como vantagens, redução da perda e da condensação de água no circuito, baixo custo, facilidade de uso, papel filtro microbiológico e a não utilização de energia [5,6].

A filtração eficiente de bactérias pode ser especialmente importante em pacientes infectados ou imuno-comprometidos que estão na unidade de terapia intensiva (UTI), e os FTCUs podem ajudar a proteger tanto os pacientes quanto os ventiladores de contaminação microbiana [6]. Estes podem ser eficazes na preservação da temperatura corporal e umidade da via aérea enquanto diminui o acúmulo de líquido no circuito

reduzindo a contaminação do sistema respiratório [7]. Além disso, são seguros, econômicos, oferecem baixa resistência ao fluxo de ar e pequeno espaço morto [8].

Porém 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 [5].

Sendo assim, conhecer a resistência imposta por estes dispositivos ao paciente criticamente doente recebendo suporte ventilatório em unidades de terapia intensiva é de fundamental importância, pois o aumento na resistência ao fluxo de ar aumenta o trabalho respiratório podendo causar fadiga da musculatura respiratória e possivelmente interferir no processo de desmame da prótese ventilatória [9].

Além disto, saber com que frequência deve se trocar os filtros visando menor custo possível sem acarretar prejuízo ao doente, se faz necessária para a rotina da unidade de terapia intensiva dando maior segurança aos profissionais e a certeza que o melhor ao paciente está sendo realizado.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar, em um modelo experimental, a influência de três diferentes marcas de FTCU, em três diferentes tempos de utilização sobre a resistência das vias aéreas de pacientes com suporte ventilatório artificial.

Material e métodos

Trata-se de um ensaio clínico controlado e randomizado. Após aprovação no Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina iniciou-se o estudo numa UTI geral.

Para a coleta de dados utilizou-se o analisador de fluxo VT PLUS HF (gas flow analyzer) disponibilizado pelo laboratório do Instituto de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Santa Catarina – IEB/UFSC. Este equipamento foi previamente calibrado e manipulado por um engenheiro da IEB, presente no período de coleta dos dados.

A leitura dos dados foi realizada dentro da UTI, desta forma existiu uma proximidade entre o paciente que estava utilizando o filtro e o local de coleta de dados, não exigindo cuidados especiais no transporte do filtro.

O procedimento de coleta transcorreu da seguinte forma, seguindo um protocolo de coleta de dados: a) Foram registrados os dados dos pacientes em que foram colocados os filtros FTCU através da leitura dos prontuários, do ventilador mecânico e do monitor cardíaco; b) A sequência das 3 marcas de filtros (A, B e C) foi sorteada para então serem colocados nos pacientes internados na UTI a partir do leito 01; c) Desta forma, no momento 0 hora de utilização, ou seja, os filtros pré-uso analisou-se a resistência ao fluxo de ar destes através do VT PLUS HF antes de serem colocados no paciente; d) Em seguida, foram colocados no circuito ventilatório (entre a peça T e o tubo orotraqueal) do paciente e permaneceram por 24 horas. Após este período, os filtros

foram retirados e analisados o valor da resistência ao fluxo de ar; e) Posteriormente, os filtros foram recolocados no paciente por mais 24 horas, totalizando 48 horas de utilização. Em seguida, foram novamente retirados dos pacientes e verificados os valores de resistência ao fluxo de ar; f) Para análise, toda vez que o filtro era retirado do paciente, estes foram conectados no ventilador mecânico com os seguintes parâmetros: VC = 500 mL, FR = 12 rpm, PEEP = 3 cmH₂O, FiO₂ = 21%, Tempo inspiratório = 1,0 s, Trigger = 1,5 L/min. O ventilador mecânico foi conectado ao analisador VT PLUS HF e este ao um simulador de pulmão com complacência de 50 mL/cmH₂O e resistência de 3 cmH₂O/L/s (Figura 1) [10,11]. Os FTCUs foram então colocados entre o ventilador mecânico e o equipamento VT PLUS HF. Cabe ressaltar, que os parâmetros ventilatórios foram ajustados em valores mínimos, pois a eficácia dos FTCUs pode diminuir com o aumento do fluxo, da frequência e dos volumes respiratórios elevados, assim como em níveis elevados de fração inspirada de O₂ [2].

Figura 1 - A) Sistema de análise montado; **B)** Posição do FTCU para coleta dos dados.



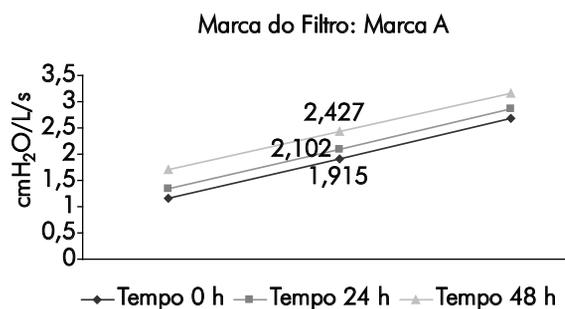
Foram excluídos do estudo pacientes com temperatura corporal abaixo de 36° e acima de 40° graus centígrados, pois a hipertermia bem como a hipotermia podem afetar o desempenho do FTCU, além dos pacientes com expectativa de retirada da prótese ventilatória dentro das 48 horas do estudo. Foram excluídos os filtros que apresentaram secreção e excesso de umidificação para não danificar o analisador de fluxo.

Os dados dos pacientes e dos filtros foram tabulados no programa Excel. O Teste de Shapiro Wilk foi usado para verificar a normalidade dos dados. Como os dados não apresentavam uma distribuição normal, a estatística descritiva dos dados foi apresentada com mediana e o intervalo entre o percentil de 25-75% dos dados mais típicos. Com o objetivo de verificar a diferença de resistência ao fluxo de ar entre as marcas utilizou-se o teste Kruskal – Wallis. Como apenas no tempo 0 hora de utilização dos FTCUs, houve diferença estatisticamente significativa entre as marcas, realizou-se o teste de Mann – Whitney para verificar a diferença entre as marcas neste momento. Finalmente, para verificar as diferenças entre os tempos de utilização dos filtros na mesma marca utilizou-se o teste Anova Medidas Repetidas. Para todas as análises, considerou-se um nível de significância de 5%, ou $p < 0,05$.

Resultados

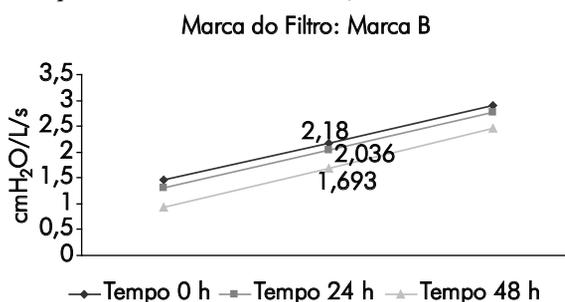
Os FTCUs da marca A apresentaram uma mediana da resistência ao fluxo de ar no tempo 0 hora de utilização de $1,915 \pm 0,762$ cmH₂O/L/s, no tempo 24 horas de utilização de $2,102 \pm 0,757$ cmH₂O/L/s e no tempo 48 horas de utilização a mediana da resistência ao fluxo de ar foi de $2,427 \pm 0,728$ cmH₂O/L/s (Figura 2).

Figura 2 - Mediana da resistência ao fluxo de ar dos filtros da marca A no tempo 0, 24 e 48 horas de utilização.



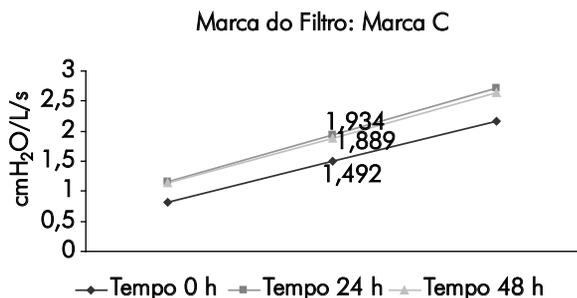
Os FTCUs da marca B apresentaram uma mediana da resistência ao fluxo de ar no tempo 0 hora de utilização de $2,180 \pm 0,716$ cmH₂O/L/s, no tempo 24 horas de utilização de $2,036 \pm 0,738$ cmH₂O/L/s e no tempo 48 horas de utilização a mediana da resistência ao fluxo de ar foi de $1,693 \pm 0,772$ cmH₂O/L/s (Figura 3).

Figura 3 - Mediana da resistência ao fluxo de ar dos filtros da marca B no tempo 0, 24 e 48 horas de utilização.



Os FTCUs da marca C apresentaram uma mediana resistência ao fluxo de ar no tempo 0 hora de utilização de $1,492 \pm 0,679$ cmH₂O/L/s, no tempo 24 horas de utilização de $1,934 \pm 0,775$ cmH₂O/L/s e no tempo 48 horas de utilização a mediana da resistência ao fluxo de ar foi de $1,889 \pm 0,749$ cmH₂O/L/s (Figura 4).

Figura 4 - Mediana da resistência ao fluxo de ar dos filtros da marca C no tempo 0, 24 e 48 horas de utilização.



O teste de Kruskal-Wallis demonstrou que não houve diferença estatisticamente significativa entre as marcas no tempo de uso 24 horas ($p = 0,489$) e 48 horas ($p = 0,374$), sendo que apenas no momento 0 hora de utilização houve uma diferença estatisticamente significativa ($p = 0,027$) entre as marcas estudadas (Tabela I).

Tabela I - Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a resistência ao fluxo de ar das 3 marcas de FTCU nos 3 tempos de utilização

	Resistência tempo 0 horas	Resistência tempo 24 horas	Resistência tempo 48 horas
Chi-square	7,202	1,430	1,964
P	0,027*	0,489	0,374

*Diferença estatisticamente significativa.

Como apenas no tempo 0 hora, ou seja, no momento em que os filtros não haviam sido utilizados, houve diferença estatisticamente significativa foi utilizado o teste Mann-Whitney, para verificar quais as marcas eram diferentes entre si. O teste demonstrou que houve diferença estatisticamente significativa entre a marca B e C (Tabela II). Desta forma, pode-se inferir que a marca C foi a que impôs uma menor resistência ao fluxo de ar, quando ainda não tinham sido utilizadas, quando comparada com as demais. Entretanto, todas as marcas apresentavam resistência ao fluxo de ar abaixo de 4 cmH₂O/L/s, ou seja, subnormal para valores em ventilação mecânica de seres humanos [2].

Tabela II - Resultado do teste U de Mann-Whitney para a resistência ao fluxo de ar no tempo 0 hora de utilização.

Grupos de comparação	U	p/2
Marca A B	1586,500	0,131
Marca A C	1513,000	0,066
Marca B C	1287,000	0,0035*

U – Teste de Mann-Whitney; p/2 – Valor de significância dividido por 2;

*Diferença estatisticamente significativa.

Por fim, para comparar a resistência entre os tempos, ou seja, a diferença entre o tempo 0, 24 e 48 horas de utilização dos filtros, dentro da mesma marca utilizou-se o teste Anova Medidas Repetidas. O resultando deste teste demonstrou que dentro da mesma marca não se observou diferença estatisticamente significativa na resistência ao fluxo de ar com o tempo de uso (Tabela III). Concluindo-se, desta forma, que ao longo de 48 horas de uso em nenhuma das marcas houve um aumento significativo da resistência ao fluxo de ar.

Tabela III - Resultado do teste Anova Medidas Repetidas para a resistência ao fluxo de ar.

Marcas	P	η^2
Marca A	0,599	0,009
Marca B	0,523	0,11
Marca C	0,414	0,15

p – Valor de significância; η^2 – Eta parcial ao quadrado.

Discussão

A resistência inspiratória é resultado da fricção de gases nas vias aéreas artificiais e do paciente durante todo o ciclo respiratório, seu valor normal está situado abaixo de 15 cmH₂O/L/s. A resistência expiratória é o resultado da fricção do fluxo de gases nas vias aéreas artificiais, nas vias aéreas do paciente e no ramo expiratório dos circuitos do ventilador durante a expiração, seu valor normal é de 2-5 cmH₂O/L/s [12]. Observando os dados deste estudo, todos os valores antes e após 24 e 48 horas de umidificação estavam dentro dos valores esperados, desta forma, quando colocados nos pacientes estes filtros não apresentariam um prejuízo adicional à resistência à passagem de ar e conseqüentemente aumento no trabalho respiratório.

Os resultados encontrados em um estudo com diversas marcas de FTCU, dentro destas, as marcas A e C deste trabalho, com o objetivo de verificar a resistência dos filtros antes de ser umidificado e após 24 horas de umidificação, demonstraram que em ambas as marcas, antes e após 24 horas de umidificação, a resistência aumentou, porém estes valores foram maiores quando comparados com os achados do presente estudo [13].

Apesar da grande aceitação do uso de FTCU, algumas complicações podem ocorrer com a sua utilização como 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 (CO₂). 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 [5,14].

Estudos relatam que os FTCUs aumentam todas as variáveis de esforço inspiratório recorrente ao maior espaço morto

e a resistência gerada pelo componente, adicionando um aumento da resistência do circuito do trabalho respiratório. Na presença de secreções espessas, o uso desses filtros, devido à perda de água nas vias aéreas, pode aumentar os riscos de oclusão do tubo, aprisionamento aéreo e hipoventilação. O condensado de água que se forma pode eventualmente ficar acumulado no circuito do ventilador mecânico e não ser retirado, o que eleva a pressão das vias aéreas e aumenta a resistência ao fluxo aéreo, induz a falta de sincronismo entre o paciente e o ventilador, aumentando o trabalho respiratório [6].

Além disso, como os FTCUs aumentam a carga de trabalho respiratória, eles devem ser usados com precaução em pacientes com fraqueza ou pacientes cansados com insuficiência respiratória e durante a ventilação com pressão de suporte [4].

Estudos concluíram que não há modificações significativas no muco traqueal com o uso de FTCUs após 48 horas de VM e que os FTCUs não criam obstáculos ao fluxo aéreo, mas que devem ser utilizados com cautela em pacientes com muita secreção pulmonar. Esses resultados são confirmados pela literatura, afirmando que os FTCUs higroscópicos apresentam menor volume interno e menor resistência, quando comparado aos FTCUs que possuem componente hidrofóbico e misto, que, por sua vez, apresentam um maior volume interno e conseqüentemente uma maior resistência [6].

O filtro trocador de calor e umidade quando seco, a resistência através da maioria dos dispositivos é mínima. No entanto, em virtude da absorção da água, a resistência ao fluxo do trocador aumenta após algumas horas de uso. Em alguns pacientes a resistência aumentada pode não ser tolerada, especialmente naqueles com doença respiratória que já possuem trabalho respiratório aumentado [2].

Num estudo foi instilado 0,5 mL de água dentro do FTCU, observou-se que a absorção da água levou a um aumento na resistência ao fluxo de ar demonstrando que estes dispositivos quando em contato com água ou corpo estranho pode causar distúrbios ventilatórios [15].

Um estudo mensurou a resistência dos dispositivos de umidificação, de acordo com duas categorias: FTCU com filtro antibacteriano ou sem filtro antibacteriano. As medidas obtidas com o aparelho de teste de bancada foram comparadas aos dados do fabricante. Foram realizadas medições de resistência em apenas 34 dos 48 dispositivos testados para propriedades de umidificação. No entanto, esta avaliação foi grande o suficiente para demonstrar que não houve diferença significativa quando comparada com medições do fabricante [16].

Por fim, faz-se então necessária a troca constante dos filtros artificiais, já que o aumento do tempo de contato com agentes agressores e a facilitação de colonização predis põem o indivíduo a um risco maior de infecções respiratórias e a um aumento adicional da resistência respiratória. Cabe ressaltar que para o tempo analisado (até 48 horas) o presente estudo demonstrou que a resistência das vias aéreas não apresentou aumento significativo, o que contribui para a utilização segura dos filtros neste período [6].

O resultado deste estudo corrobora com os dados encontrados na literatura vigente que estudou a resistência imposta pelos FTCUs, onde ocorre aumento da resistência das vias aéreas, porém este está dentro do aceitável para o manejo seguro de pacientes mecanicamente ventilados. Neste trabalho, os valores da resistência não foram altos e isto se deve ao fato da metodologia empregada, pois os filtros foram umidificados pelo paciente reproduzindo as condições ambientais encontradas no uso clínico, visto que a maioria dos estudos umidificam os filtros de forma artificial.

Por fim, o presente estudo apresentou como limitações a perda de alguns filtros ao longo do seu uso, o que restringiu o tempo da coleta dos dados em apenas 48 horas de utilização; a tentativa de reproduzir a umidificação em pacientes semelhantes para permitir a generalização dos resultados obtidos; a exclusão dos filtros com secreção e excesso de condensado de água que poderiam gerar maior resistência e a indisponibilidade de uma balança de alta precisão para pesagem dos filtros.

Conclusão

Conclui-se que os FTCUs podem ser usados com segurança ao longo de 48 horas em pacientes mecanicamente ventilados, pois não houve aumento significativo na resistência ao fluxo de ar e o pequeno aumento que pode ocorrer é facilmente absorvido pelo aumento dos parâmetros ventilatórios do ventilador mecânico, principalmente na pressão de suporte, como recomendado pela literatura. O aumento da pressão de suporte, desta forma, não refletirá em prejuízos da função pulmonar e nem no aumento do trabalho respiratório destes pacientes que poderiam futuramente influenciar negativamente a retirada da prótese ventilatória. Estes resultados são de extrema importância para a rotina de uma unidade de terapia intensiva, pois a troca destes filtros com um tempo superior a 24 horas, diferente do recomendado pelos fabricantes, representa uma economia, isto, sem trazer prejuízos ou perda na qualidade ao serviço prestado aos pacientes.

Referências

1. Campos AP, Nasralla MLS. Manutenção da via aérea artificial. In: Sarmento GJV, Veja JM, Lopes NS. Fisioterapia em UTI. Avaliação e procedimentos. São Paulo: Atheneu; 2006. 353p.
2. Galvão AM. Estudo comparativo entre os sistemas de umidificação aquoso aquecido e trocadores de calor e umidade na via aérea artificial de pacientes em ventilação mecânica invasiva. Rev Bras Fisioter 2006;10(3):303-8.
3. Schumann S, Stahl CA, Möller K, Priebe HJ, Guttman J. Moisturing and mechanical characteristics of a new counter-flow type heated humidifier. Br J Anaesth 2007;98(4):531-8.
4. Pelosi P, Severgnini P, Selmo G, Corradini M, Chiaranda M, Novario R et al. In vitro evaluation of an active heat and moisture exchanger; the Hygrovent Gold. Respir Care 2010;55(4):460-6.
5. Siqueira TB, Costa JCGF, Tavares IC, Torres PM, Andrade MA, Franca EET et al. Mecânica respiratória de pacientes neurocríticos sob ventilação mecânica submetidos à umidificação aquoso

- aquecida e a um modelo de filtro trocador de calor. *Rev Bras Ter Intensiva* 2010;22(3):264-9.
6. Ribeiro DC, Lopes CR, Lima RZ, Teixeira YCN. Comparação da resistência imposta pelos filtros artificiais a ventilação mecânica. *Arq Med ABC* 2007;32(2):42-6.
 7. Whitelock DE, Beer DA. The use of filters with small infants. *Respir Care Clin N Am* 2006;12(2):307-20.
 8. Poolacherla R, Nickells J. Humidification devices. *Anaesthesia and Intensive Care Medicine* 2006;7(10):351-3.
 9. 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;24:1184-8.
 10. Lucato JJJ, Tucci MR, Schettino GP, Adams AB, Fu C, Forti G et al. Evaluation of resistance in 8 different heat and moisture exchangers: Effects of saturation and flow rate/profile. *Resp Care* 2005;50(5):636-43.
 11. Nishimura AM, Nishijima MK, Okada T, Taenaka N, Yoshiya I. Comparison of flow-resistive work load due to humidifying devices. *Chest* 1990;97:600-4.
 12. Emmerich JC. Suporte ventilatório: aplicação prática. 4a ed. Rio de Janeiro: Revinter; 2001. 198 p.
 13. Lannoy D. Évaluation de l'humidification de quatre filters échangeurs de chaleur et d'humidité selon norme. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 2008;27:148-53.
 14. Arieli R, Daskalovic Y, Ertracht O, Arieli Y, Abramovich A, Halpern P. Flow resistance, work of breathing of humidifiers, and endotracheal tubes in the hyperbaric chamber. *Am J Emerg Med* 2010;30:1-6.
 15. Ikuta Y, Fujita M, Miyazaki N, Shimoda O. Increased airway resistance in the prone position associated with heat and moisture exchangers with integral bacterial/viral filters. *J Anesth* 2007;21:291-2.
 16. Lellouche F, Taillé S, Lefrançois F, Deye N, Maggiore SM, Jouvét P et al. Humidification performance of 48 passive airway humidifiers: comparison with manufacturer data. *Chest* 2009;135(2):276-86.
-