

Jeanette Janaina Jaber Lucato<sup>1</sup>, Thiago Marraccini Nogueira da Cunha<sup>1</sup>, Aline Mela dos Reis<sup>2</sup>, Patricia Salerno de Almeida Picanço<sup>1</sup>, Renata Cléia Claudino Barbosa<sup>1</sup>, Joyce Liberali<sup>1</sup>, Renato Fraga Righetti<sup>3</sup>

1. Curso de Fisioterapia, Centro Universitário São Camilo - São Paulo (SP), Brasil.
2. Departamento de Pacientes Graves, Hospital Israelita Albert Einstein - São Paulo (SP), Brasil.
3. Serviço de Reabilitação, Hospital Sírio-Libanês - São Paulo (SP), Brasil.

**Conflitos de interesse:** Nenhum.

Submetido em 22 de setembro de 2016  
Aceito em 3 de fevereiro de 2017

**Autor correspondente:**

Jeanette Janaina Jaber Lucato  
Centro Universitário São Camilo  
Avenida Nazaré, 1.501 - Ipiranga  
CEP: 04263-200 - São Paulo (SP), Brasil  
E-mail: jeanettejaber@yahoo.com

**Editor responsável:** Leandro Utino Taniguchi

DOI: 10.5935/0103-507X.20170026

# Alterações ventilatórias durante o uso de trocadores de calor e umidade em pacientes submetidos à ventilação mecânica com pressão de suporte e ajustes nos parâmetros ventilatórios para compensar estas possíveis alterações: estudo de intervenção autocontrolado em humanos

*Ventilatory changes during the use of heat and moisture exchangers in patients submitted to mechanical ventilation with support pressure and adjustments in ventilation parameters to compensate for these possible changes: a self-controlled intervention study in humans*

## RESUMO

**Objetivo:** Avaliar as possíveis alterações do volume corrente, volume-minuto e frequência respiratória causadas pela utilização de trocadores de calor e umidade em pacientes submetidos à ventilação mecânica na modalidade pressão de suporte, e quantificar a variação da pressão de suporte necessária para compensar o efeito causado pelo trocador de calor e umidade.

**Métodos:** Os pacientes sob ventilação mecânica invasiva na modalidade de pressão de suporte foram avaliados utilizando umidificadores aquecidos e trocadores de calor e umidade. Caso o volume encontrado com uso de trocadores de calor e umidade fosse menor que o achado com o umidificador aquecido, iniciava-se o aumento da pressão de suporte, perante o uso de trocadores de calor e umidade, até ser encontrado um valor de pressão de suporte que possibilitasse ao paciente gerar um valor próximo

do volume corrente inicial com umidificador aquecido. A análise foi realizada por meio do teste *t* pareado, e os valores de incremento foram expressos em porcentagem de aumento necessário.

**Resultados:** Foram avaliados 26 pacientes. O uso de trocadores de calor e umidade aumentou a frequência respiratória, e reduziu o volume corrente e o volume-minuto, quando comparados com o uso do umidificador aquecido. Com o uso de trocadores de calor e umidade, os pacientes precisaram de um incremento de 38,13% na pressão de suporte para manter os volumes prévios.

**Conclusão:** O trocador de calor e umidade alterou os parâmetros de volume corrente, volume-minuto e frequência respiratória, sendo necessário um aumento da pressão de suporte para compensar estas alterações.

**Descritores:** Respiração artificial; Umidificadores; Desmame do ventilador; Temperatura; Unidades de terapia intensiva

## INTRODUÇÃO

Durante a respiração, o ar inspirado é aquecido e umidificado ao passar pelas cavidades oral, nasal e faríngea. Quando o paciente recebe suporte ventilatório por meio do tubo endotraqueal, estes mecanismos fisiológicos são

suprimidos,<sup>(1-3)</sup> pois, além da via aérea superior não desempenhar sua função normal de aquecer e umidificar o ar devido à presença da via aérea artificial, os gases medicinais provenientes de tanques ou sistemas de tubo centrais são completamente desprovidos de umidade.<sup>(4)</sup> Este déficit de aquecimento e umidade tem sido reconhecido como lesivo para a mucosa traqueobrônquica, podendo levar a repercussões clínicas indesejáveis.<sup>(3,5-7)</sup>

É imprescindível o condicionamento dos gases inspirados, de forma a promover o aquecimento e a umidificação adequados.<sup>(2)</sup> As tarefas de umidificação e aquecimento podem ser realizadas tanto ativamente, por meio de umidificadores aquecidos (UA), como passivamente, por meio de trocadores de calor e umidade (HME - *heat and moisture exchangers*).

Umidificadores aquecidos são bastante utilizados, pois promovem aquecimento e umidificação adequados, porém apresentam algumas desvantagens, como custo,<sup>(7-14)</sup> condensação do vapor d'água no circuito de ventilação e no reservatório, e potencial de contaminação bacteriana,<sup>(8,15,16)</sup> necessitando ainda de fornecimento de energia<sup>(15)</sup> e constante suprimento de água.<sup>(9,17,18)</sup>

O uso de HME tem aumentado recentemente, visando à redução da perda de água e da condensação da mesma no circuito do ventilador, além de oferecer outras vantagens, como baixo custo,<sup>(8-14,19)</sup> facilidade de uso,<sup>(15)</sup> papel de filtro microbiológico<sup>(19-21)</sup> e não necessitar de uma fonte de energia.<sup>(22)</sup> São dispositivos colocados entre o tubo endotraqueal e o conector em Y do circuito do ventilador do paciente,<sup>(2,23-25)</sup> que basicamente retêm a umidade e o calor durante a expiração e, então, os liberam para o ar seco inspirado, retornando o aquecimento e a umidade para as vias aéreas do paciente.<sup>(2,9,10,26-29)</sup>

Devemos ter cuidado ao usar um HME, pois ele pode adicionar uma excessiva carga resistiva em doentes críticos e pacientes debilitados, especialmente quando um alto fluxo é associado com uso prolongado. A adição de carga respiratória imposta pelo HME pode ser substancial para estes pacientes, causando fadiga muscular respiratória e consequente falência ventilatória, ou interferir no desmame.<sup>(22)</sup>

Os HME podem causar problemas clínicos, que contraindicam seu uso. Complicações associadas com seu uso incluem aumento da resistência,<sup>(22,30-34)</sup> aumento do trabalho da respiração<sup>(18,31,32,35-38)</sup> e hipercapnia, devido ao aumento do espaço morto.<sup>(27,32,33,35,39-43)</sup>

Os determinantes da pressão resistiva em pacientes ventilados mecanicamente incluem não somente a resistência das vias aéreas do paciente e o fluxo inspiratório, mas também a resistência de partes do ventilador, do tubo

endotraqueal e do HME.<sup>(31)</sup> Os HME com grande espaço morto podem causar impacto negativo na função respiratória de pacientes ventilando espontaneamente pelo aumento do trabalho respiratório, ou levar à retenção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em pacientes curarizados.<sup>(43)</sup>

O impacto clínico direto disto pode ser visto, por exemplo, durante o desmame do ventilador mecânico, quando, se a adição do espaço morto alterar a ventilação alveolar, a eficiência da ventilação espontânea pode ser prejudicada,<sup>(21,39)</sup> influenciando, assim, no processo de desmame. Estes efeitos adversos da adição do espaço morto relacionados ao HME podem ser ainda mais pronunciados em pacientes já com baixo volume corrente (VC) e/ou com pressão parcial de dióxido de carbono (PaCO<sub>2</sub>) alta.<sup>(40)</sup>

As alterações causadas no volume-minuto, quando o HME é utilizado nos pacientes em ventilação espontânea, devem ser levadas em conta durante a dificuldade do desmame, e cuidados devem ser tomados, pois, muitas vezes, temos que aumentar os parâmetros ventilatórios para compensar a presença do HME. Este aumento da pressão e do volume eleva o risco de barotrauma e volutrauma em pacientes que têm as mais graves alterações na mecânica respiratória.<sup>(44)</sup>

Não encontramos estudos que quantifiquem o aumento de pressão de suporte necessário para minimizar os efeitos adversos do HME. Por este motivo, buscamos avaliar as possíveis alterações do VC, do volume-minuto e da frequência respiratória, causadas pela utilização do HME em pacientes submetidos à ventilação mecânica na modalidade pressão de suporte, e avaliar a variação de pressão de suporte necessária para compensar o efeito causado pelo espaço morto do HME.

## MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa de intervenção autocontrolada em humanos, de campo, prospectiva, com análise quantitativa, aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa (protocolo 43.122), realizada na unidade de terapia intensiva (UTI) adulto do Hospital Geral de Carapicuíba, no Estado de São Paulo. Foram avaliados 26 pacientes, de ambos os sexos. Foram incluídos pacientes submetidos à ventilação mecânica invasiva por meio de cânula endotraqueal ou traqueostomia; ventilados na modalidade ventilatória pressão de suporte; e que apresentassem estabilidade hemodinâmica. Presença de agitação psicomotora de qualquer origem; uso de sedativos; necessidade de pressão positiva expiratória final (PEEP) maior ou igual a 15cmH<sub>2</sub>O; alterações hidroeletrólíticas ou metabólicas que interferissem no ritmo respiratório do paciente; ritmos respiratórios patológicos; fístula broncopulmonar

(caracterizada pelo borbulhamento do dreno pleural) e hiperreatividade brônquica foram critérios de exclusão. Foram mensurados volume-minuto, VC e frequência respiratória em duas situações: na primeira, os pacientes receberam umidificação e aquecimento dos gases por meio de UA; na segunda, pelo HME - sempre com o uso do intermediário que acompanha estes dispositivos.

A mensuração foi realizada após 30 minutos do atendimento fisioterapêutico, que ocorria diariamente na UTI, e compreendeu manobras de higiene brônquica, aspiração e posicionamento em decúbito dorsal elevado a 45°, principalmente para evitar a interferência da presença de secreções nos valores encontrados durante a coleta dos dados.

Antes da mensuração dos dados desejados, todos os parâmetros ventilatórios foram anotados, com cada um dos sistemas de umidificação e aquecimento utilizados, além da gasometria, da frequência cardíaca, da pressão arterial e da saturação de oxigênio.

O protocolo consistiu na utilização de UA, inicialmente, seguido pelo uso do HME (Hygrobac S, Tyco, Italy) com traqueia (intermediário de 15cm) no mesmo paciente. O HME utilizado no momento das medidas era novo, com peso de 30g, espaço morto de 45mL, resistência de 2,5cmH<sub>2</sub>O/L/s e recomendado para VC maiores que 150mL. O UA foi ligado e instalado antes do ramo inspiratório do paciente, o intermediário utilizado foi posicionado entre a cânula endotraqueal e o Y do circuito ventilatório. O HME foi posicionado entre o Y do circuito ventilatório e a cânula endotraqueal, e, como acompanhado pelo intermediário, o último foi posicionado entre o HME e a cânula endotraqueal.

A cada troca de dispositivo para umidificação, foram aguardados 5 minutos para iniciar as medidas. As medidas de VC e volume-minuto foram realizadas a partir do uso de um ventilômetro (Ferraris Mark 8, England) na válvula exalatória por 1 minuto, quando também se verificava a frequência respiratória. Caso o ventilador apresentasse *bias flow* com sensibilidade a fluxo que não possibilitasse sua desativação, o paciente era excluído do estudo.

Após a primeira medida com uso de UA, os valores encontrados eram anotados para, posteriormente, servirem de parâmetro para continuidade das medidas do estudo. Caso o VC encontrado com uso de HME fosse menor que o achado com UA, iniciava-se a outra parte do estudo, que compreendia o aumento da pressão de suporte de 1 em 1cmH<sub>2</sub>O com o uso de HME, até que fosse encontrado um valor de pressão de suporte que possibilitasse ao paciente gerar um valor com diferença menor que 10% do VC inicial com UA. Foram ainda observadas

as compensações respiratórias apresentadas pelo paciente (como aumento da frequência respiratória). Nesta fase, a cada aumento de 1cmH<sub>2</sub>O na pressão de suporte, aguardamos 5 minutos para realizar as medidas.

Ao final da coleta de dados, os pacientes retornavam ao dispositivo de condicionamento dos gases inspirados e aos parâmetros ventilatórios prévios ao estudo.

### Análise dos dados

Os dados de tempo de ventilação mecânica foram expressos em mediana e intervalo interquartil, e os outros dados numéricos foram expressos em média e erro padrão. Os dados foram testados para a normalidade com o teste de Shapiro-Wilk. A comparação entre os grupos que utilizaram UA e HME, nas avaliações do volume-minuto, VC, frequência respiratória e pressão de suporte, foi realizada pelo teste *t* pareado. Foi utilizado o pacote estatístico SigmaStat 11.0 para Windows, e estabeleceu-se, para fins de significância estatística, o valor de  $p < 0,05$ .

### RESULTADOS

Foram selecionados 26 pacientes na UTI geral de um hospital de grande porte de São Paulo. As características clínicas dos pacientes são apresentadas na tabela 1.

Na figura 1A são mostrados os valores de VC com o uso do UA e do HME. Houve diminuição do VC nos pacientes quando utilizado o HME (398,3 ± 35,3mL) comparado com o UA (514,1 ± 32,2mL), apresentando diferença de 115,8 ± 14,5mL entre o uso dos dois dispositivos ( $p < 0,001$ ).

Na figura 1B são mostrados os valores de frequência respiratória com o uso do UA e HME. Houve aumento da frequência respiratória dos pacientes quando utilizado o dispositivo HME (18,0 ± 0,7rpm) comparado com o UA (16,0 ± 0,5rpm), apresentando uma diferença de 2,03 ± 0,4rpm entre o uso dos dois dispositivos ( $p < 0,001$ ).

Na figura 1C são mostrados os valores do volume-minuto com o uso do UA e HME. Houve uma diminuição do volume-minuto nos pacientes quando utilizado o dispositivo HME (7,14 ± 0,4L/minuto) comparado com o UA (8,14 ± 0,4L/minuto), apresentando diferença de 1,0 ± 0,2L/minuto entre o uso dos dois dispositivos ( $p < 0,001$ ).

Na figura 2, são mostrados os valores de ajustes da pressão de suporte para manter o VC basal com o uso de UA, quando avaliados utilizando o HME. Houve necessidade de aumento da pressão de suporte quando utilizado o dispositivo HME (16,3 ± 1,2cmH<sub>2</sub>O) quando comparado com o UA (11,8 ± 0,7cmH<sub>2</sub>O) para manter o VC basal.

**Tabela 1** - Características clínicas dos pacientes

Variáveis	
Idade (anos)	62,36 ± 12,64
Sexo (f:m)	12:14
Tempo de ventilação mecânica (dias)*	8 (5,5 - 16,5)
Pressão arterial	
Sistólica (mmHg)	127,18 ± 18,4
Diastólica (mmHg)	81,72 ± 22,0
Dados gasométricos	
pH	7,43 ± 0,07
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	36,8 ± 4,43
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	98,3 ± 19,8
HCO <sub>3</sub> (mEq/L)	24,88 ± 5,012
SaO <sub>2</sub> (%)	97,1 ± 2,08
Parâmetros ventilatórios	
Pressão de suporte (cmH <sub>2</sub> O)	11,94 ± 2,99
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	6,8 ± 1,32
Pressão de pico inspiratório (cmH <sub>2</sub> O)	18,44 ± 3,53
Diagnóstico primário de admissão na UTI	
DPOC	11
Sepse	9
Infarto agudo do miocárdio	4
AVE isquêmico	1
Pneumonia	1

f - feminino; m - masculino; PaCO<sub>2</sub> - pressão parcial de dióxido de carbono; PaO<sub>2</sub> - pressão parcial de oxigênio; HCO<sub>3</sub> - bicarbonato; SaO<sub>2</sub> - saturação arterial de oxigênio; PEEP - pressão positiva no final da expiração; UTI - unidade de terapia intensiva; DPOC - doença pulmonar obstrutiva crônica; AVE - acidente vascular encefálico. \* Mediana e intervalo interquartil. Resultados expressos como média ± desvio padrão, mediana (25% - 75%).

Foi necessário, então, um aumento de  $4,5 \pm 0,7$  cmH<sub>2</sub>O da pressão de suporte - aproximadamente 38,13% do valor basal ( $p < 0,001$ ).

## DISCUSSÃO

Os dispositivos de umidificação utilizados em pacientes ventilados mecanicamente são ocasionalmente ignorados quando se determina a mecânica do sistema respiratório. Este fato pode levar a uma terapia desnecessária e ainda ser responsável pela lentificação da transição para respiração espontânea. Nós avaliamos as alterações do VC, volume-minuto e da frequência respiratória de pacientes com via aérea artificial, ventilados na modalidade pressão de suporte, e que recebiam umidificação e aquecimento pelo HME. Como nosso objetivo era saber se o HME interferia nas medidas de VC, volume-minuto e frequência respiratória, quando inserido entre o tubo endotraqueal e o circuito do ventilador mecânico, e o quanto precisaríamos aumentar a pressão de suporte para alcançarmos o valor inicial destes parâmetros, precisávamos dos valores

sem a utilização do HME; ainda, para que o paciente não ficasse sem nenhum sistema de umidificação e aquecimento, a medida inicial foi feita com o UA. Nosso estudo mostrou que, ao usar o HME nestes pacientes, foi necessário um incremento de 38,13% da pressão de suporte basal.

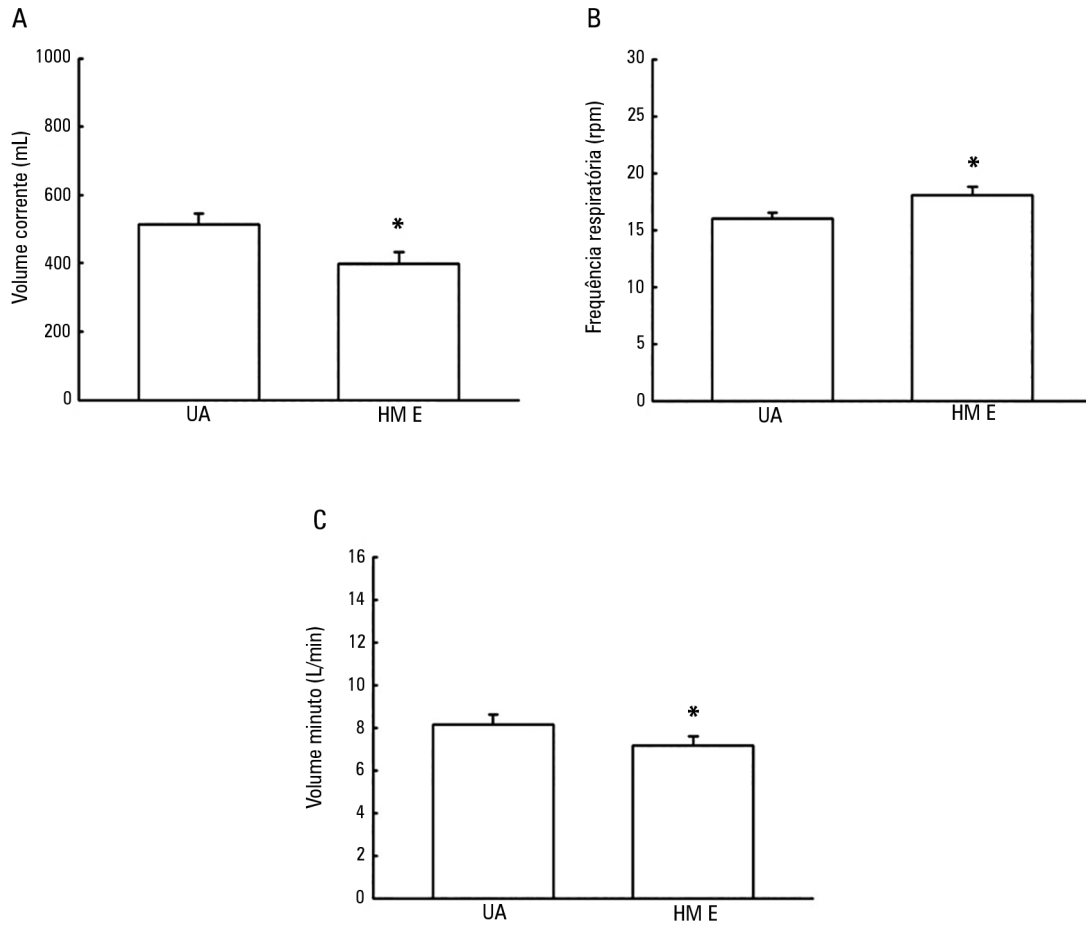
Em estudo anterior, foi construído um sistema respiratório analógico utilizando modelo mecânico para simular situações normais e de alta demanda. Foram simulados três diferentes níveis de esforço inspiratório para calcular a resistência imposta pelo HME. As medidas foram obtidas com o HME seco e saturado. A resistência aumentou com a saturação do HME, porém apresentou pouco aumento em resposta ao aumento do fluxo.<sup>(34)</sup>

Wong et al., em revisão sistemática<sup>(45)</sup> para identificarem o melhor sistema de umidificação para pacientes traqueostomizados respirando espontaneamente, obtiveram o HME como escolha preferida de umidificação, por reduzir complicações pulmonares e melhorar a colaboração do paciente.

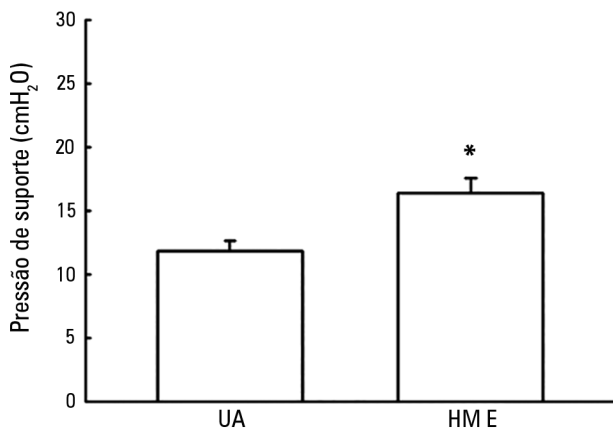
Lucato et al.<sup>(46)</sup> recentemente realizaram estudo no qual avaliaram a capacidade vital e a pressão inspiratória máxima de 20 adultos jovens saudáveis em duas situações: com e sem o HME acoplado ao ventilômetro ou manovacuômetro. O uso do HME não modificou os volumes pulmonares e nem a força dos músculos respiratórios, podendo ser usado com segurança nestes aparelhos, com o intuito de diminuir a ocorrência de infecção pulmonar.

Apesar de não encontrarmos em nossos estudos anteriores aumento significativo da resistência<sup>(34)</sup> e nem modificação no volume pulmonar e força muscular com o uso do HME,<sup>(46)</sup> outros trabalhos mostram que a resistência ao fluxo de gás ao longo de um HME aumenta com a elevação da densidade do material,<sup>(10,20)</sup> podendo aumentar também com a elevação do fluxo<sup>(22,47)</sup> e com a duração de seu uso.<sup>(22,30,31,34,48,49)</sup> Este aumento da resistência no circuito do ventilador pode levar a uma avaliação incorreta da mecânica do sistema respiratório, a uma terapêutica não apropriada (broncodilatadores) ou a uma dificuldade no desmame da ventilação mecânica,<sup>(31)</sup> além de aumentar o trabalho da respiração do paciente.<sup>(18,31,50)</sup>

O uso do HME determina aumento do espaço morto em uma quantidade igual ao seu volume interno. Para manter a ventilação alveolar normal, na presença de aumento do espaço morto relacionado ao uso do HME, o paciente deve aumentar a frequência respiratória, o VC ou ambos.<sup>(10,21,43)</sup> Quando os pacientes são capazes de aumentar a frequência respiratória e o VC, o CO<sub>2</sub> arterial permanece constante. Quando os pacientes são incapazes de aumentar o volume-minuto, por conta de fraqueza ou fadiga da musculatura respiratória, ou em pacientes curados, a concentração de CO<sub>2</sub> aumenta.<sup>(10,33,35,43)</sup>



**Figura 1** - Valores de volume corrente (A), frequência respiratória (B) e volume-minuto (C) na avaliação dos pacientes que utilizaram os dispositivos umidificador aquecido e trocador de calor e umidade. UA - umidificadores aquecidos; HME - trocador de calor e umidade. \*  $p < 0,001$ , quando comparado com a utilização do umidificador aquecido.



**Figura 2** - Valores de pressão de suporte necessários para manter o volume corrente basal com o uso do umidificador aquecido na avaliação dos pacientes que utilizaram o trocador de calor e umidade. UA - umidificadores aquecidos; HME - trocador de calor e umidade. \*  $p < 0,001$ , quando comparado com a utilização do umidificador aquecido.

No atual estudo, 26 pacientes foram avaliados quanto as alterações no VC, volume-minuto e frequência respiratória com o uso do UA e HME. Houve diminuição do VC nos pacientes quando utilizado o HME, comparado com o uso do UA. Corroborando nosso estudo, Siqueira et al.<sup>(51)</sup> submeteram 31 pacientes neurocríticos à ventilação, recebendo duas formas de umidificação (HME e UA) de maneira aleatória. Foram avaliados VC, pico de fluxo inspiratório e expiratório, complacência estática, e dinâmica e resistência do sistema respiratório. O HME promoveu redução do VC, pico de fluxo inspiratório e expiratório, e complacência dinâmica, além do aumento de resistência do sistema respiratório.

Ainda, em nosso estudo, observamos aumento da frequência respiratória e diminuição do volume-minuto nos pacientes, quando utilizado o dispositivo HME comparado com o uso do UA. Porém Boyer et al.<sup>(52)</sup> avaliaram os efeitos do HME e do UA na frequência respiratória,



no volume-minuto, concentração de dióxido de carbono ( $\text{ETCO}_2$ ), na saturação de oxigênio, pressão de oclusão nas vias aéreas ( $\text{P0,1}$ ) e na percepção de conforto durante a ventilação mecânica não invasiva (VMNI), não observando diferença entre UA e HME em nenhum dos parâmetros estudados. O aumento da frequência respiratória dos pacientes do nosso estudo não foi suficiente para manter o volume-minuto, que diminuiu devido à significativa redução do VC.

Já o estudo de Jaber et al.,<sup>(40)</sup> também em VMNI, concluiu que, durante a VMNI, o aumento do espaço morto pode afetar negativamente a função ventilatória e a troca de gás. O uso do HME pode levar a um relevante aumento da  $\text{PaCO}_2$ , apesar do significativo aumento do volume-minuto. Nesse estudo, não se mediu o trabalho da respiração, mas a  $\text{P0,1}$ , que aumentou significativamente quando o HME foi adicionado no circuito ventilatório, sugerindo que ele pode alterar a eficiência da VMNI em alguns pacientes, especialmente nos muito debilitados. O aumento do volume-minuto, resultante do espaço morto adicional, e o aumento da  $\text{P0,1}$  podem levar a uma sobrecarga dos músculos respiratórios. Considerando os estudos citados, o aumento da frequência respiratória dos pacientes no presente estudo não foi suficiente para manter o volume-minuto, porque houve diminuição do VC, provavelmente por uma resposta ao aumento da resistência imposta pelo dispositivo.

Girault et al.<sup>(21)</sup> também observaram que, em pacientes com falência respiratória crônica, o tipo de umidificação das vias aéreas pode influenciar negativamente na eficácia mecânica da ventilação. Eles avaliaram o desempenho de um UA e de um HME na atividade do músculo diafragma, no padrão respiratório, na troca gasosa e no conforto respiratório durante o desmame da ventilação mecânica, usando ventilação com pressão de suporte. Em seus resultados, observaram que o HME aumentou significativamente todas as variáveis de esforço respiratório (trabalho inspiratório da respiração, produto pressão tempo, mudanças na pressão esofágica e transdiafragmática, e PEEP intrínseca dinâmica), além de produzir um aumento da  $\text{PaCO}_2$ , que foi insuficientemente compensado pelo aumento no volume-minuto. Estes efeitos foram contrabalanceados com o aumento no nível da pressão de suporte, o que corrobora o nosso estudo, mostrando que foi necessário o aumento da pressão de suporte quando utilizado o dispositivo HME ( $16,3 \pm 1,2\text{cmH}_2\text{O}$ ) quando comparado com o UA ( $11,8 \pm 0,7\text{cmH}_2\text{O}$ ) para manter o VC basal. Portanto, houve necessidade de um aumento de  $4,5 \pm 0,7\text{cmH}_2\text{O}$  da pressão de suporte, o que corresponde a aproximadamente 38,13% do valor basal.

O impacto clínico direto do uso do HME pode ser visto durante o desmame do ventilador mecânico. Se a adição do espaço morto alterar a ventilação alveolar, a eficiência da ventilação espontânea pode ser prejudicada, influenciando no processo de desmame.

Quando o paciente está em processo de desmame, é importante levar em conta não somente o tubo endotraqueal e o ventilador mecânico, mas também a carga de trabalho adicional imposta por um HME.

O presente estudo possui como limitação a não avaliação do gradiente de temperatura entre o ar ambiente e o traqueal dos pacientes avaliados, o que poderia alterar o desempenho de umidificação e aquecimento do HME, ou até mesmo a resistência do sistema respiratório. Roustan et al.<sup>(53)</sup> observaram que o desempenho de um HME hidrofóbico depende da temperatura ambiente, pois a alta temperatura ambiente reduz o gradiente térmico entre os dois lados do HME. Neste sentido, Thomachot et al.<sup>(54)</sup> avaliaram dez pacientes sedados, que foram ventilados por três períodos consecutivos de 24 horas com um umidificador aquecido, HME hidrofóbico e HME higroscópico, e mostraram que as medidas de temperatura traqueal não revelaram diferenças na temperatura do ar ambiente. O aumento da resistência, neste aspecto, parece estar relacionado a altas temperaturas, por elevar a umidade e a oclusão do dispositivo em uso prolongado. Diante disto, apesar desta limitação, ressaltamos que todos os pacientes foram avaliados no mesmo período com o uso dos dois dispositivos e na mesma temperatura ambiente. Ressaltamos também que, para evitar a interferência de oclusões ou saturação do HME, este dispositivo era sempre novo para a avaliação.

Outra limitação do nosso estudo foi ter tomado como base outros estudos que levaram em consideração apenas o tempo de 5 minutos, com a justificativa de adaptação sensitiva do centro respiratório pelo oxigênio e pelo  $\text{CO}_2$ ,<sup>(55,56)</sup> entretanto tiramos o paciente de uma condição de equilíbrio pressórico e volumétrico para uma condição de transição, na qual não sabemos o tempo necessário para o novo equilíbrio. Portanto, existe a possibilidade de os 5 minutos de avaliação não constituírem o tempo suficiente para a estabilização das adequações ventilatórias necessárias neste tipo de situação.

## CONCLUSÃO

O uso do trocador de calor e umidade alterou os parâmetros do volume corrente, do volume-minuto e da frequência respiratória. Foi necessário um aumento da pressão de suporte para compensar estas alterações.

## ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the possible changes in tidal volume, minute volume and respiratory rate caused by the use of a heat and moisture exchanger in patients receiving pressure support mechanical ventilation and to quantify the variation in pressure support required to compensate for the effect caused by the heat and moisture exchanger.

**Methods:** Patients under invasive mechanical ventilation in pressure support mode were evaluated using heated humidifiers and heat and moisture exchangers. If the volume found using the heat and moisture exchangers was lower than that found with the heated humidifier, an increase in pressure support was initiated during the use of the heat and moisture exchanger until a pressure support value was obtained that enabled the patient to generate a value close to the initial tidal volume obtained

with the heated humidifier. The analysis was performed by means of the paired *t* test, and incremental values were expressed as percentages of increase required.

**Results:** A total of 26 patients were evaluated. The use of heat and moisture exchangers increased the respiratory rate and reduced the tidal and minute volumes compared with the use of the heated humidifier. Patients required a 38.13% increase in pressure support to maintain previous volumes when using the heat and moisture exchanger.

**Conclusion:** The heat and moisture exchanger changed the tidal and minute volumes and respiratory rate parameters. Pressure support was increased to compensate for these changes.

**Keywords:** Respiration, artificial; Humidifiers; Ventilator weaning; Temperature; Intensive care units

## REFERÊNCIAS

- Rau JL. Humidity and aerosol therapy. In: Barnes TA, editor. Core textbook of respiratory care practice. 2a ed. St. Louis: Mosby; 1994. p. 179-97.
- Bonassa J. Umidificação na Ventilação pulmonar mecânica. In: Carvalho WB, Bonassa J, Carvalho CR, Amaral JL, Beppu OS, Auler JO, editors. Atualização em ventilação pulmonar mecânica. 1a ed. São Paulo: Atheneu; 1997. p. 17-29.
- Chalon J, Loew DA, Malebranche J. Effects of dry anesthetic gases on tracheobronchial ciliated epithelium. *Anesthesiology*. 1972;37(3):338-43.
- International Organization for Standardization. Anaesthetic and respiratory equipment - Heat and moisture exchangers (HMEs) for humidifying respired gases in humans (ISO9360-1). Geneva: International Organization for Standardization Technical Committee; 2000.
- Van Oostdam JC, Walker DC, Knudson K, Dirks P, Dahlby RW, Hogg JC. Effect of breathing dry air on structure and function of airways. *J Appl Physiol*. 1986;61(1):312-7.
- Chalon J, Patel C, Ali M, Ramanathan S, Capan L, Tang CK, et al. Humidity and the anesthetized patient. *Anesthesiology*. 1979;50(3):195-8.
- Barnes SD, Normoyle DA. Failure of ventilation in an infant due to increased resistance of a disposable heat and moisture exchanger. *Anesth Analg*. 1996;83(1):193.
- Branson RD, Davis K Jr, Campbell RS, Johnson DJ, Porembka DT. Humidification in the intensive care unit. Prospective study of a new protocol utilizing heated humidification and a hygroscopic condenser humidifier. *Chest*. 1993;104(6):1800-5.
- Holt TO. Aerosol generators and humidifiers. In: Barnes TA, editor. Core textbook of respiratory care practice. 2a ed. St. Louis: Mosby; 1994. p. 441-84.
- Hess DR, Branson RD. Humidification. In: Branson RD, Hess DR, Chatburn RL, editors. Respiratory care equipment. 2a ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 1999. p. 101-32.
- Kirton OC, DeHaven B, Morgan J, Morejon O, Civetta J. A prospective, randomized comparison of an in-line heat moisture exchange filter and heated wire humidifiers: rates of ventilator-associated early-onset (community-acquired) or late-onset (hospital-acquired) pneumonia and incidence of endotracheal tube occlusion. *Chest*. 1997;112(4):1055-9.
- Boots RJ, Howe S, George N, Harris FM, Faogali J. Clinical utility of hygroscopic heat and moisture exchangers in intensive care patients. *Crit Care Med*. 1997;25(10):1707-12.
- Lacherade JC, Auburtin M, Cerf C, Van de Louw A, Soufir L, Rebufat Y, et al. Impact of humidification systems on ventilator-associated pneumonia: a randomized multicenter trial. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005;172(10):1276-82.
- Ricard JD, Boyer A, Dreyfuss D. The effect of humidification on the incidence of ventilator-associated pneumonia. *Respir Care Clin N Am*. 2006;12(2):263-73.
- Craven DE, Goularte TA, Make BJ. Contaminated condensate in mechanical ventilator circuits. A risk factor for nosocomial pneumonia? *Am Rev Respir Dis*. 1984;129(4):625-8.
- Shelly MP. The humidification and filtration functions of the airways. *Respir Care Clin N Am*. 2006;12(2):139-48.
- Branson RD, Campbell RS, Johannigman JA, Ottaway M, Davis K Jr, Luchette FA, et al. 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.
- Nishimura M, Nishijima MK, Okada T, Taenaka N, Yoshiya I. Comparison of flow-resistive work load due to humidifying devices. *Chest*. 1990;97(3):600-4.
- Branson RD, Davis K Jr, Brown R, Rashkin M. Comparison of three humidification techniques during mechanical ventilation: patient selection, cost, and infection considerations. *Respir Care*. 1996;41(9):809-16.
- 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 flow-resistance. *Intensive Care Med*. 1993;19(8):462-6.
- 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.
- Ploysongsang Y, Branson R, Rashkin MC, Hurst JM. Pressure flow characteristics of commonly used heat-moisture exchangers. *Am Rev Respir Dis*. 1988;138(3):675-8.
- Ricard JD, Le Mière E, Markowicz P, Lasry S, Saumon G, Djedaini 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.
- Martin C, Papazian L, Perrin G, Bantz P, Gouin F. Performance evaluation of three vaporizing humidifiers and two heat and moisture exchangers in patients with minute ventilation > 10 L/min. *Chest*. 1992;102(5):1347-50.

25. Markowicz P, Ricard JD, Dreyfuss D, Mier L, Brun P, Coste F, et al. Safety, efficacy, and cost-effectiveness of mechanical ventilation with humidifying filters changed every 48 hours: a prospective, randomized study. *Crit Care Med.* 2000;28(3):665-71.
26. Hurni JM, Feihl F, Lazor R, Leuenberger P, Perret C. Safety of combined heat and moisture exchanger filters in long-term mechanical ventilation. *Chest.* 1997;111(3):686-91.
27. Thomachot L, Viviani X, Boyadjiev I, Vialet R, Martin C. The combination of a heat and moisture exchanger and a Booster: a clinical and bacteriological evaluation over 96 h. *Intensive Care Med.* 2002;28(2):147-53.
28. 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.
29. Mebius C. A comparative evaluation of disposable humidifiers. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1983;27(5):403-9.
30. Hedley RM, Allt-Graham J. A comparison of the filtration properties of heat and moisture exchangers. *Anaesthesia.* 1992;47(5):414-20.
31. Manthous CA, Schmidt GA. Resistive pressure of a condenser humidifier in mechanically ventilated patients. *Crit Care Med.* 1994;22(11):1792-5.
32. Iotti GA, Olivei MC, Palo A, Galbusera C, Veronesi R, Comelli A, et al. Unfavorable mechanical effects of heat and moisture exchangers in ventilated patients. *Intensive Care Med.* 1997;23(4):399-405.
33. Briassoulis G, Paraschou D, Hatzis T. Hypercapnia due to a heat and moisture exchanger. *Intensive Care Med.* 2000;26(1):147.
34. 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.
35. Chabanne R, Perbet S, Futier E, Ben Said NA, Jaber S, Bazin JE, et al. Impact of the anesthetic conserving device on respiratory parameters and work of breathing in critically ill patients under light sedation with sevoflurane. *Anesthesiology.* 2014 Oct;121(4):808-16.
36. Johnson PA, Raper RF, Fisher MM. The impact of heat and moisture exchanging humidifiers on work of breathing. *Anaesth Intensive Care.* 1995;23(6):697-701.
37. 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.
38. Lellouche F, Maggiore SM, Deye N, Taillé S, Pigeot J, Harf A, et al. Effect of the humidification device on the work of breathing during noninvasive ventilation. *Intensive Care Med.* 2002;28(11):1582-9.
39. Le Bourdellès G, Mier L, Fiquet B, Djedaini K, Saumon G, Coste F, et al. 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.
40. Jaber S, Chanques G, Matecki S, Ramonatxo M, Souche B, Perrigault PF, et al. Comparison of the effects of heat and moisture exchangers and heated humidifiers on ventilation and gas exchange during non-invasive ventilation. *Intensive Care Med.* 2002;28(11):1590-4.
41. Prin S, Chergui K, Augarde R, Page B, Jardin F, Vieillard-Baron A. Ability and safety of a heated humidifier to control hypercapnic acidosis in severe ARDS. *Intensive Care Med.* 2002;28(12):1756-60.
42. Prat G, Renault A, Tonnelier JM, Goetghebeur D, Oger E, Boles JM, et al. Influence of the humidification device during acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med.* 2003;29(12):2211-5.
43. 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.
44. Iotti GA, Olivei MC, Braschi A. Mechanical effects of heat-moisture exchangers in ventilated patients. *Crit Care.* 1999;3(5):R77-82.
45. Wong CY, Shakir AA, Farhoud A, Whittet HB. Active versus passive humidification for self-ventilating tracheostomy and laryngectomy patients: a systematic review of the literature. *Clin Otolaryngol.* 2016;41(6):646-51.
46. Lucato JJ, Nogueira da Cunha TM, Rocha SS, Palmieri de Carvalho FM, Botega DC, Torquato JA, et al. Influence of heat and moisture exchanger use on measurements performed with manovacuometer and respirometer in healthy adults. *Multidiscip Respir Med.* 2015;11:1.
47. Unal N, Kanhai JK, Buijk SL, Pompe JC, Holland WP, Gultuna I, et al. A novel method of evaluation of three heat-moisture exchangers in six different ventilator settings. *Intensive Care Med.* 1998;24(2):138-46.
48. Morgan-Hughes NJ, Mills GH, Northwood D. Air flow resistance of three heat and moisture exchanging filter designs under wet conditions: implications for patient safety. *Br J Anaesth.* 2001;87(2):289-91.
49. Branson RD, Davis K Jr. Evaluation of 21 passive humidifiers according to the ISO 9360 standard: moisture output, dead space, and flow resistance. *Respir Care.* 1996;41(8):736-43.
50. Uchiyama A, Yoshida T, Yamanaka H, Fujino Y. Estimation of tracheal pressure and imposed expiratory work of breathing by the endotracheal tube, heat and moisture exchanger, and ventilator during mechanical ventilation. *Respir Care.* 2013;58(7):1157-69.
51. Siqueira TB, Costa JC, Tavares IC, Torres PM, Andrade Mdo A, França EE, et al. Respiratory mechanics of neurologic patients undergoing mechanical ventilation under water heated humidifier and a heat exchanger filter model. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2010;22(3):264-9.
52. Boyer A, Vargas F, Hilbert G, Gruson D, Mousset-Hovaere M, Castaing Y, et al. Small dead space heat and moisture exchangers do not impede gas exchange during noninvasive ventilation: a comparison with a heated humidifier. *Intensive Care Med.* 2010;36(8):1348-54.
53. Roustan JP, Kienlen J, Aubas P, Aubas S, du Cailar J. Comparison of hydrophobic heat and moisture exchangers with heated humidifier during prolonged mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 1992;18(2):97-100.
54. Thomachot L, Vialet R, Viguier JM, Sidier B, Roulier P, Martin C. Efficacy of heat and moisture exchangers after changing every 48 hours rather than 24 hours. *Crit Care Med.* 1998;26(3):477-81.
55. Rialp G, Raurich JM, Llopart-Pou JA, Avestarán I. Role of respiratory drive in hyperoxia-induced hypercapnia in ready-to-wean subjects with COPD. *Respir Care.* 2015;60(3):328-34.
56. Boniatti MM, Cardoso PR, Castilho RK, Vieira SR. Acid-base disorders evaluation in critically ill patients: we can improve our diagnostic ability. *Intensive Care Med.* 2009;35(8):1377-82.