

Guías de Evidencia Basada en la Práctica Clínica AARC

Humidificación durante ventilación mecánica invasiva y no invasiva (HVM)

CKPC - SATI

HVM 1.0 Descripción. Cuando la vía aérea superior está salteada durante ventilación invasiva, es necesario humidificar el aire para prevenir hipotermia, disrupción del epitelio, broncoespasmo, atelectasias y obstrucción de la vía aérea. En casos severos, la deshidratación de las secreciones puede ocluir el tubo endotraqueal¹. Debido a que no hay un consenso claro si es necesario humidificación adicional cuando la vía aérea superior no está reemplazada por una vía aérea artificial (VAA), como durante la ventilación no invasiva (VNI), se sugiere fuertemente la utilización de humidificación activa en estos casos para mejorar el confort²⁻⁷. Para proveer calor y humedad a los gases entregados a los pacientes sometidos a ventilación mecánica, existen dos sistemas; la humidificación activa (HA) con un sistema humidificador y calentador, y los sistemas pasivos con intercambiadores de calor y humedad (HME). Hay tres tipos de HME o nariz artificial; hidrofóbicos, higroscópicos y filtros HME. Los HA trabajan activamente para aumentar el calor y el contenido de humedad del gas inspirado⁸. Los HME operan pasivamente almacenando el calor y la humedad del gas exhalado por el paciente y entregándolo así en la siguiente inspiración⁹. La vía aérea superior suministra el 75% del calor y humedad del aire al llegar al alveolo. Cuando ésta es salteada, los HA o los HME, deben suplir su función. Dado que se necesita una entrega de humedad de 44 mg/l, la porción que es reemplazada por el humidificador es de $0,75$ (75% de la vía aérea) \times 44 mg/l = 33 mg/l. En una respiración normal, la humedad en la tráquea puede alcanzar de 36 a 40 mg/l y la humedad óptima necesaria por debajo de la carina es de 44 mg/l (100% a 37° C). Cuando se proporciona humidificación activa a pacientes

ventilados invasivamente, se recomienda que el dispositivo entregue un nivel de humedad entre 33 mg h₂O/l y 44 mg h₂O/l a una temperatura de 34° C a 41° C con una humedad relativa de 100 % para prevenir la deshidratación de las secreciones en la vía aérea artificial¹⁰⁻¹⁵. A pesar de que los humidificadores activos modernos son capaces de entregar gas a temperatura de 41° C al nivel de la pieza en Y, se recomienda un máximo de temperatura de 37° C y 100% de humedad relativa (HR) (44 mg h₂O/l)¹⁰⁻¹⁵. Según la International Standardization Organization (ISO), una cantidad suficiente de gas con temperatura mayor a 41° C puede representar un daño potencial para el paciente. La ISO recomienda usar temperaturas de 43° C como tope máximo para proteger al paciente de lesión térmica de la vía aérea. Si la temperatura del gas entregado es mayor a 37° C y con una saturación de 100 %, se produce condensación, causando una reducción de la viscosidad del moco y aumento del fluido profundo pericelular. Esta combinación resultaría en una pérdida de contacto entre el moco y las cilias. De esta forma el transporte mucociliar estaría reducido. El exceso de agua condensada entonces, debería ser barrido por las células mucosas y el exceso de calor podría causar daño celular^{12,13}. La disfunción de la mucosa¹⁶ puede estar asociada a exposiciones a niveles de humedad menores a 25 mg h₂O/l durante una hora o a 30 mg h₂O/l por 24 hs o más. Por ese motivo, se recomienda un mínimo de 33 mg h₂O/l para pacientes con vía aérea artificial.^{10,14} Las especificaciones de rendimiento de los HME están basadas en mediciones in vitro sobre entrega de humedad usando el método ISO 9360. Sin embargo, el rendimiento in vivo puede no corresponder con las especificaciones del fabricante¹⁷. El American National Standards Institute

recomienda una humedad absoluta mayor o igual a 30 mg h₂O/l. La AARC (American Association for Respiratory Care) ha recomendado un valor de HA mayor o igual a 30 mg h₂O/l mientras que la ISO prefiere valores mayores o iguales a 33 mg h₂O. Un HME que entrega 26 a 29 mg h₂O/l podría ser adecuado para pacientes sin alteraciones en el clearance respiratorio^{18,19}, sin embargo, los HME que entregan valores menores a 26 mg h₂O/l no se deberían utilizar. Se sugiere la utilización de aquellos HME que entreguen una HA de por lo menos 30 mg h₂O/l, dado que se asocian con menor incidencia de oclusión del TET^{17,18}.

HMV 2.0: APLICACIONES:

- 2.1 cuidados críticos
- 2.2 quirófano
- 2.3 cuidados prolongados
- 2.4 domicilio
- 2.5 traslados

HMV 3.0 INDICACIONES

La humidificación de los gases inspirados es mandatoria en pacientes ventilados mecánicamente de forma invasiva^{1,20-24}, pero opcional en los pacientes con VNI^{20,24}.

HMV 4.0 CONTRAINDICACIONES

No hay ninguna contraindicación a cerca de acondicionar de forma fisiológica los gases entregados durante ventilación mecánica. Los HME están contraindicados en ciertas circunstancias

- 4.1 secreciones copiosas o hemáticas²⁵
- 4.2 cuando el volumen exhalado es menor al volumen corriente entregado (Ej., fístula broncopulmonar, fugas peri tubo endotraqueal por mal funcionamiento del balón)²⁶⁻²⁸
- 4.3 los HME no están recomendados cuando se aplican estrategias de ventilación protectiva, porque adicionan espacio muerto que podría aumentar la PaCO₂ y las demandas ventilatorias del paciente²⁵.
- 4.3.1 la reducción del espacio muerto permite una disminución de la PaCO₂, por se, mas allá de la función pulmonar y los cambios en la mecánica pulmonar. En pacientes con SDRA, donde se usan volúmenes corrientes bajos y el manejo de

la hipercapnia es un desafío, los HME deberían evitarse²⁹.

4.3.2 la remoción del HME del circuito de los pacientes que reciben ventilación mecánica protectiva reduce tanto el espacio muerto como la PaCO₂ y aumenta el pH³⁰.

4.3.3 en pacientes con falla respiratoria aguda, los HME aumentan sustancialmente el volumen minuto, el drive central, y el trabajo respiratorio^{25,28}.

4.4 el uso de HME esta contraindicado en pacientes con temperatura central menor a 32°C^{29,30}.

4.5 el uso de HME podría estar contraindicado en pacientes que ventilan espontáneamente con alto volumen minuto (>10 l/m)³²⁻³⁵

4.6 un HME debe quitarse del circuito durante la aerosolterapia con nebulización o colocarlo en modo "puente" si estuviera disponible modelo.

4.7 la resistencia y el espacio muerto podría contrarrestar los efectos de la ventilación mecánica a presión positiva y aumentar el trabajo respiratorio³⁶.

4.8 el uso de un HME esta contraindicado en pacientes con VNI con grandes fugas, o fugas incontrolables a través de la mascara, dado que el volumen exhalado no será suficiente para recargar el HME de calor y humedad.

4.9 el uso de un HME aumenta el espacio muerto, la PaCO₂ y podría aumentar las demandas ventilatorias en pacientes aún ventilados mecánicamente

HMV 5.0 RIESGOS Y COMPLICACIONES

Los riesgos y complicaciones asociadas al uso de los dispositivos de humidificación incluyen:

- 5.1 shock eléctrico- en caso de HA
- 5.2 hipotermia-si se usa un HME o por programación inadecuada del HA, hipertermia-en caso de HA^{20,24}
- 5.3 lesión térmica de la vía aérea en caso de HA; quemaduras, condensación y fusión de las tubuladuras si están cubiertas o si los circuitos y las tubuladuras son incompatibles
- 5.4 deshidratación e impactación del moco (< 26 mg h₂O/l) - tanto con el uso de HME o HA
- 5.5 hipoventilación y/o atrapamiento aéreo debido a impactación de moco- HME HA

1,11,14,24,28,29

5.6 posible aumento del trabajo respiratorio resistivo debido a impacto de secreciones- en caso de HA o HME ^{1,7,9,15,39,39}

5.7 posible aumento del trabajo respiratorio que puede resultar en aumento de la presión pico- HA o HME ⁴²⁻⁴⁴

5.8 posible hipoventilación o hipercapnia por aumento de espacio muerto – en caso de HME⁴¹

5.9 condensación y acumulación de líquido en tubuladuras que puede resultar en lavado traqueal accidental- en caso de HA ^{27,45-57}

5.10 cuando se desconecta al paciente y se abre el circuito, algunos respiradores aumentan su flujo generando riesgo para el personal por aerosolización de partículas contenidas en las tubuladuras- en caso de HA o HME ^{27,43-55}

5.11 quemaduras del personal- en caso de HA

5.12 asincronías causadas por presencia de agua condensada y acumulada en las tubuladuras- HA

5.13 alarma de baja presión inefectiva durante desconexión, debido a la resistencia del HME^{40,41}

5.14 cambios en el volumen compresible que puede llevar a volumen corriente insuficiente (si no fue calculado) y disminución de la respuesta del ventilador – en caso de HA o HME⁵⁸

5.15 deshidratación de la vía aérea si la temperatura es programada a temperatura corporal, dado que la HR es menor- en el caso de HA¹²

HMV 6.0 LIMITACIONES DEL MÉTODO

6.1 con algunos HME el calor y humedad entregado es insuficiente, llevando a las complicaciones relatadas en HVM 5.0^{4,10,18,59,60}

6.1.2 una revisión reciente demostró que solo el 37,5% de los HME cumple con los estándares de calidad según las normas ISO o de la AARC (> 30mg h2o) . El 25% demostró entregar por debajo de 25 mg h2o. La diferencia media +-SD entre las medidas obtenidas en esta prueba y la información proporcionada por el fabricante fue 3.0 +- 2.7 mg h2o para los dispositivos descriptos como HME (máximo de 8.9 mg h2o/l) mientras la

diferencia media para el 36 % de los HME fue >4 mg H2o/l ⁷.

6.2 la HA puede entregar calor o humedad insuficiente, resultando las complicaciones descriptas en HMV 5.0, cuando:

6.2.1 se programa inapropiadamente la temperatura. A pesar que la temperatura es un pobre indicador de entrega de humedad, aun se considera un parámetro de fácil medición y monitoreo.⁶¹

6.2.2 la temperatura es pre-seleccionada y no reajustada, más allá del estado clínico. ¹⁸

6.2.3 los circuitos calefaccionados con alambre caliente son usados inadecuadamente:⁸¹

6.2.3.1 estas tubuladuras son usadas para controlar la cantidad de condensación en el circuito. Sin embargo cuando se usa este tipo de tubuladuras, se debe calentar el gas entre la salida del humidificador y de la rama en Y, para controlar dado que la magnitud del descenso de la HR es dependiente del gradiente de temperatura entre la salida del humidificador, el paciente y las condiciones ambientales de donde se encuentra el paciente.⁵⁹

6.2.3.2 el descenso de la HR daría como resultado la deshidratación de las secreciones dentro del tubo endotraqueal con potencial riesgo de oclusión del mismo.⁶²

6.2.4 se coloca un nivel de agua menor que el sugerido por el

fabricante dentro de la recámara del humidificador.

6.2.5 el HME escogido no es apropiado para el tamaño del paciente y su volumen corriente.

HMV 7.0 EVALUACIÓN DE NECESIDADES:

Es necesario humidificar los gases entregados en todos los pacientes que requieren de ventilación mecánica por medio de una vía aérea artificial. El acondicionamiento de los gases inspirados debe ser proporcionado por un HME o por HA.

7.1 los HME son mejores para periodos cortos (< o = a 96 hs) y durante el traslado^{9,17,63-66}

7.2 la HA deberían ser usados en pacientes donde esta contraindicado el uso de HME. Además, un metanálisis reciente que compara la HA con HME reveló las siguientes conclusiones:^{9,17,56}

7.3 existe poca evidencia sobre la prevención de la mortalidad con el uso de uno u otro dispositivo, así como también otras complicaciones asociadas a la ventilación mecánica.⁶⁷

7.4 no hay diferencia significativa en la incidencia de la neumonía asociada a la ventilación mecánica tanto con uno u otro dispositivo.⁶⁸⁻⁷²

7.5 aún se necesitan estudios que comparen HME hidrofóbicos versus higroscópicos y acerca del uso de HME en poblaciones pediátricas y neonatales.

HMV 8.0 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS:

Se considera que la humidificación es apropiada si el paciente no presenta ninguna de las complicaciones listadas en el punto HMV 5.0.

La presencia de condensación en el TET demuestra que la HR es del 100%, como fue demostrado por Ricard y col.⁷³

HMV 9.0 RECURSOS

9.1 Equipamiento. Equipamiento apropiado debe estar disponible para proveer la humedad necesaria al gas inspirado. Este equipamiento debe incluir pero no estar limitado a:

9.1.1 un dispositivo de humidificación

9.1.2 monitor para la temperatura del gas entregado con alarma cuando la temperatura cae por fuera del rango seteado (para sistemas de HA)

9.1.3 agua estéril si se utiliza HA

9.1.4 equipamiento necesario para precauciones generales

9.2 se deben chequear las especificaciones de rendimiento para asegurarse una adecuada humidificación y calentamiento de un determinado volumen minuto con un determinado pico flujo inspiratorio. Los humidificadores activos seleccionados deben cumplir con las especificaciones del ISO.¹¹

9.3 Personal. Se necesitan terapeutas respiratorios matriculados y expertos o profesionales de la salud idóneos en el tema que hayan tenido experiencia y entrenamiento en el uso correcto de estos dispositivos de humidificación para ventilación mecánica

HMV 10.0 MONITOREO

Mientras que la presencia de condensación demuestra una correcta humidificación, no hay un fiel marcador clínico acerca de una adecuada humidificación cuando la temperatura ambiente es alta.¹⁵

El dispositivo de humidificación debe ser inspeccionado rutinariamente en el momento que se chequea todo el sistema paciente respirador, la condensación debe ser eliminada del circuito cuando sea necesario.

Los humidificadores pasivos deben ser inspeccionados y cambiados si están impactados con secreciones o si la resistencia al flujo aéreo ha aumentado, causando un incremento del trabajo respiratorio. Las siguientes variables deben ser monitoreadas durante la inspección del equipamiento:

10.1 Programación del humidificador (temperatura o nivel numérico de Programación). Durante el uso rutinario en un paciente intubado, la HA debe ser seteada para entregar un gas igual o mayor a 34 C pero menor de 41 a nivel de la rama en Y y debe contener un mínimo de vapor de agua de 33 mg/l. Las normas ISO consideran que una diferencia de menos de

2 grados no compromete la condición clínica o la seguridad del paciente.¹¹

10.1.1 VNI. La temperatura del gas durante VNI debe ser seleccionada de acuerdo al confort, adherencia, tolerancia del paciente y la patología pulmonar subyacente.

10.2 Temperatura del gas inspirado. Mientras que la temperatura puede ser medida a la salida de la recámara del HA, siempre debe ser medida lo más proximal a la vía aérea del paciente posible. El ISO recomienda que la temperatura medida del gas siempre tiene que estar entre + - 2 grados de la media aritmética de 2 sensores estándar en una condición ideal para la máxima temperatura seteada.

10.2.1 el gas inspirado no debe superar los 41°C en la pieza en Y con un límite máximo de 43 C, momento en el cual el calentador debe apagarse.¹¹

10.2.2 cuando se utilizan circuitos calefaccionados con alambre caliente (para prevenir la condensación) en pacientes pediátricos, el termómetro del ambiente debe estar colocado fuera de la incubadora o lejos del calor directo de la recámara.

10.3 Programación de Alarmas (si están disponibles). La alarma de alta temperatura debe ser programada en no más de 41° C (con una de sobre temperatura no mayor a 43° C) y el límite inferior en no menos de 2° C por debajo de la temperatura deseada a nivel de la pieza en Y

10.4 nivel de agua con sistema llenado automático (si es posible)

10.5 cantidad y consistencia de las secreciones. Las características del moco deben ser registradas y monitoreadas. Si las secreciones se tornan copiosas o aumentan, se debe reemplazar el HME por un HA. Si esto ocurre usando un HA, la temperatura a nivel de la pieza en Y debe ser aumentada para entregar mayor humedad absoluta, y la temperatura del cable de las tubuladuras también para optimizar la humedad relativa.

10.6 Obstrucción en las vías aéreas. La presencia de secreciones copiosas aumenta la resistencia al flujo de aire a través del HME. Esto aumentaría la presión pico e induce cambios en los gráficos de flujo

comparables a los de obstrucción aérea. Si estos cambios continúan luego de cambiar el HME por uno nuevo, se debe pasar a un sistema activo de humidificación.

HMV 11.0 FRECUENCIA

Todos los pacientes con vía aérea artificial que requieren ventilación mecánica deben recibir humidificación continua de los gases inspirados.

HMV 12.0 CONTROL DE INFECCIONES

12.1 Los HA reutilizables deben ser sometidos a desinfección de alto nivel. Se debe emplear técnica limpia al momento de rellenar la recámara manualmente. Se debe usar agua destilada estéril.

12.2 cuando se utiliza un sistema cerrado de llenado automático, la parte de agua contenida en el reservorio no debe ser desechada al momento de cambiar los circuitos del paciente. El sistema cerrado de llenado automático debe ser individual para cada paciente.

12.3 El agua condensada en las tubuladuras debe ser considerada como material infectado y debe ser desechado según la política de residuos patológicos de la institución, siempre usando las precauciones universales.

12.4 dado que éste agua condensada en las tubuladuras es considerada residuo patológico nunca debe ser devuelta al reservorio del humidificador activo.

12.5 los circuitos deben ser cambiados según necesidad por pérdida de su función o suciedad visible.

12.6 Los humidificadores pasivos no necesitan ser cambiados de rutina diariamente por razones de control de infección o rendimiento. Pueden ser usados con seguridad por lo menos 48 hs y en algunas poblaciones de pacientes hasta pueden ser utilizados por una semana.³⁸

HMV 14.0 RECOMENDACIONES.

Las siguientes recomendaciones están hechas según los criterios de GRADE (Criterios de grados de recomendación de desarrollo y evaluación)⁷⁴

14.1 Se recomienda la humidificación de gases en todos los pacientes recibiendo ventilación mecánica invasiva (1A)

14.2 se sugiere humidificación activa en pacientes sometidos a ventilación no invasiva, dado que mejora la adherencia al tratamiento y confort. (2B)

14.3 cuando se entrega HA a pacientes que están ventilados invasivamente se sugiere que el dispositivo entregue un nivel de humedad de entre 33 mg h₂O a 44 mg h₂O a una temperatura de entre 34°C a 41°C a nivel de la pieza en Y con una humedad relativa de 100% (2B)

14.4 cuando se proporciona humidificación pasiva a los pacientes ventilados invasivamente se sugiere que el HME entregue un mínimo de 30 mg h₂O/l (2B)

14.5 Los sistemas pasivos no están recomendados para VNI (2C)

14.6 cuando se ventila con estrategia de bajo volumen no se recomienda el uso de HME dado que contribuye al aumento del espacio muerto lo que podría aumentar las demandas ventilatorias del paciente y la PaCO₂ (2B)

14.7 No se sugieren los HME para ser usados como estrategia de prevención de la NAV. (2B)

15.0 IDENTIFICACIÓN, ADAPTACIÓN Y DISPONIBILIDAD

15.1 Adaptación Publicación original
Respir Care 2012; 57 (5): 782-788

15.2 Desarrollo de la guía
Capítulo de Kinesiólogía en el Paciente Crítico

Lic. Klga Ftra Laura Vega

Lic. Klgo Ftra Nicolás Roux

15.3 Disponibilidad

www.sati.org.ar

15.4 Conflictos de interés

Ninguno

Bibliografía:

1. Branson RD. The effects of inadequate humidity. *Respir Care Clin N Am* 1998;4(2):199-214.
2. Lellouche F, Maggiore SM, Lyazidi A, Deye N, Taille S, Brochard L. Water content of delivered gases during non-invasive ventilation in healthy subjects. *Intensive Care Med* 2009;35(6):987-995.
3. Branson RD. Humidification of respired gases during mechanical ventilation: mechanical considerations. *Respir Care Clin N Am* 2006;

12(2):253-261.

4. Holland AE, Denehy L, Buchan CA, Wilson JW. Efficacy of a heated passover humidifier during noninvasive ventilation: a bench study. *Respir Care* 2007;52(1):38-44.

5. Solomita M, Smaldone GC. Humidification and noninvasive ventilation. *Respir Care* 2007;52(1):24-25.

6. Chiumello D, Chierichetti M, Tallarini F, Cozzi P, Cressoni M, Polli F, et al. Effect of a heated humidifier during continuous positive airway pressure delivered by a helmet. *Crit Care* 2008;12(2):R55.

7. Lellouche F, Maggiore SM, Lyazidi A, Deye N, Taille S, Brochard L. Water content of delivered gases during non-invasive ventilation in healthy subjects. *Intensive Care Med* 2009;35(6):987-95.

8. Todd DA, Boyd J, Lloyd J, John E. Inspired gas humidity during mechanical ventilation: effects of humidification chamber, airway temperature probe position and environmental conditions. *J Paediatr Child Health* 2001;37(5):489-494.

9. 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-R288.

10. Standardization of humidifiers for mechanical use: general requirements for humidification systems. International Organization for Standardization ISO 2007;8185(Third edition):2007.

11. Davies MW, Dunster KR, Cartwright DW. Inspired gas temperature in ventilated neonates. *Pediatric pulmonology* 2004;38(1):50-54.

12. Williams RB. The effects of excessive humidity. *Respir Care Clin N Am* 1998;4(2):215-228.

13. Kilgour E, Rankin N, Ryan S, Pack R. Mucociliary function deteriorates in the clinical range of inspired air temperature and humidity. *Intensive Care Med* 2004;30(7):1491-1494.

14. Zuchner K. Humidification: measurement and requirements. *Respir Care Clin N Am* 2006;12(2):149-163.

15. Chikata Y, Imanaka H, Ueta M, Nishimura M. Humidification during high-frequency oscillatory ventilation for adults: a bench study. *Med Sci Monit* 2010;16(12):MT89-MT93.

16. Williams R, Rankin N, Smith T, Galler D, Seakins P. Relationship between the humidity and temperature of inspired gas and the function of the airway mucosa. *Crit Care Med* 1996;24(11):1920-1929.

17. Lemmens HJM, Brock-Utne JG. Heat-and-moisture exchanger devices: Are they doing what they are supposed to do? *Anesth Analg* 2004;98:382-385.

18. Lellouche F, Taille S, Lefrancois F, Deye N, Maggiore SM, Jovet

- P, et al. Humidification performance of 48 passive airway humidifiers: comparison with manufacturer data. *Chest* 2009;135(2):276-286.
19. Branson RD, Gentile MA. Is humidification always necessary during noninvasive ventilation in the hospital? *Respir Care* 2010;55(2):209-216.
20. Branson RD, Campbell RS. Humidification in the intensive care unit. *Respir Care Clin N Am* 1998;4(2):305-320.
21. Branson RD, Campbell RS, Davis K, Porembka DT. Anaesthesia circuits, humidity output, and mucociliary structure and function. *Anaesth Intensive Care* 1998;26(2):178-183.
22. 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):1306-1311.
23. Jaber S, Pigeot J, Fodil R, Maggiore S, Harf A, Isabey D, et al. Long-term effects of different humidification systems on endotracheal tube patency: evaluation by the acoustic reflection method. *Anesthesiology* 2004;100(4):782-788.
24. Nava S, Navalesi P, Gregoret C. Interfaces and humidification for noninvasive mechanical ventilation. *Respir Care* 2009;54(1):71-84.
25. Branson RD. Secretion management in the mechanically ventilated patient. *Respir Care* 2007;52(10):1328-1342.
26. Moran 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):524-531.
27. Branson RD. Is a nose just a nose? *Chest* 1997;112(3):581.
28. 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):306-312.
29. Prat G, Renault A, Tonnelier JM, Goetghebeur D, Oger E, Boles JM, L'Her E. Influence of the humidification device during acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* 2003;29(12):2211-2215.
30. Hinkson CR, Benson MS, Stephens LM, Deem S. The effects of apparatus dead space on PaCO₂ in patients receiving lung-protective ventilation. *Respir Care* 2006;51(10):1140-1144.
31. 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):1184-1188.
32. Ackerstaff AH, Hilgers FJ, Aaronson NK, De Boer MF, Meeuwis CA, Knecht PP, et al. Heat and moisture exchangers as a treatment option in the post-operative rehabilitation of laryngectomized patients. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1995;20(6):504-509.
33. Beydon L, Tong D, Jackson N, Dreyfuss D. Correlation between simple clinical parameters and the in vitro humidification characteristics of filter heat and moisture exchangers. *Groupe de Travail sur les Respirateurs. Chest* 1997;112(3):739-744.
34. Bickler PE, Sessler DI. Efficiency of airway heat and moisture exchangers in anesthetized humans. *Anesth Analg* 1990;71(4):415-418.
35. Boots RJ, Howe S, George N, Harris FM, Faoagali J. Clinical utility of hygroscopic heat and moisture exchangers in intensive care patients. *Crit Care Med* 1997;25(10):1707-1712.
36. 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):1590-1594.
37. Goldberg ME, Epstein R, Rosenblum F, Larijani GE, Marr A, Lessin J, et al. Do heated humidifiers and heat and moisture exchangers prevent temperature drop during lower abdominal surgery? *J Clin Anesth* 1992;4(1):16-20.
38. Hedley RM, Allt-Graham J. A comparison of the filtration properties of heat and moisture exchangers. *Anaesthesia* 1992;47(5):414-420.
39. Hynson JM, Sessler DI. Intraoperative warming therapies: a comparison of three devices. *J Clin Anesth* 1992;4(3):194-199.
40. Rankin N. What is optimum humidity? *Respir Care Clin N Am* 1998;4(2):321-328.
41. Sottiaux TM. Consequences of under- and over-humidification. *Respir Care Clin N Am* 2006;12(2):233-252.
42. Prasad KK, Chen L. Complications related to the use of a heat and moisture exchanger. *Anesthesiology* 1990;72(5):958.
43. 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. *Journal of anesthesia* 2007;21(2):291-292.
44. Wilkes AR. Resistance to gas flow in heat and moisture exchangers. *Anaesthesia* 1992;47(12):1095-1096.
45. Cook D, De Jonghe B, Brochard L, Brun-Buisson C. Influence of airway management on ventilator-associated pneumonia: evidence from randomized trials. *JAMA* 1998;279(10):781-787.

46. Bowton DL. Nosocomial pneumonia in the ICU—year 2000 and beyond. *Chest* 1999;115(3 Suppl):28S-33S.
47. Thomachot L, Vialet R, Arnaud S, Barberon B, Michel-Nguyen A, Martin C. Do the components of heat and moisture exchanger filters affect their humidifying efficacy and the incidence of nosocomial pneumonia? *Crit Care Med* 1999;27(5):923-928
48. Austan F, Suzukawa M. Humidification method that decreases condensate contamination in ventilator tubing. *Heart Lung* 2000;29(1):56-59.
49. Heyland DK, Cook DJ, Dodek PM. Prevention of ventilator-associated pneumonia: current practice in Canadian intensive care units. *J Crit Care* 2002;17(3):161-167.
50. Hess DR, Kallstrom TJ, Mottram CD, Myers TR, Sorenson HM, Vines DL. Care of the ventilator circuit and its relation to ventilator-associated pneumonia. *Respir Care* 2003;48(9):869-879.
51. Dodek P, Keenan S, Cook D, Heyland D, Jacka M, Hand L, et al. Evidence-based clinical practice guideline for the prevention of ventilator-associated pneumonia. *Ann Intern Med* 2004;141(4):305-313.
52. Kranabetter R, Leier M, Kammermeier D, Just HM, Heuser D. [The effects of active and passive humidification on ventilation-associated nosocomial pneumonia]. *Der Anaesthesist* 2004;53(1):29-35. Article in German.
53. 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):1276-1282.
54. Sierra R, Benitez E, Leon C, Rello J. Prevention and diagnosis of ventilator-associated pneumonia: a survey on current practices in Southern Spanish ICUs. *Chest* 2005;128(3):1667-1673.
55. Lorente L, Lecuona M, Jimenez A, Mora ML, Sierra A. Ventilator-associated pneumonia using a heated humidifier or a heat and moisture exchanger: a randomized controlled trial [ISRCTN88724583]. *Crit Care* 2006;10(4):R116.
56. Blot SI, Labeau S, Vandijck D, Van Aken P, Claes B. Evidence-based guidelines for the prevention of ventilator-associated pneumonia: results of a knowledge test among intensive care nurses. *Int Care Med* 2007;33(8):1463-1467.
57. Muscedere J, Dodek P, Keenan S, Fowler R, Cook D, Heyland D. Comprehensive evidence-based clinical practice guidelines for ventilator-associated pneumonia: diagnosis and treatment. *J Crit Care* 2008;23(1):138-147.
58. Wilkes AR, Hampson MA, Mecklenburgh JS. A method of testing the compliance of 15 and 22 mm conical connectors on heat and moisture exchangers to ISO 5356-1:1987. *J Med Eng Technol* 1997;21(3-4):147-150.
59. Siempos II, Vardakas KZ, Kopterides P, Falagas ME. Impact of passive humidification on clinical outcomes of mechanically ventilated patients: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care Med* 2007;35(12):2843-2851.
60. Parmar V. Heat and moisture exchanger: importance of humidification in anaesthesia and ventilatory breathing system. *J Indian Med Assoc* 2008;106(8):533-535,537.
61. Solomita M, Daroowalla F, Leblanc DS, Smaldone GC. Y-piece temperature and humidification during mechanical ventilation. *Respir Care* 2009;54(4):480-486.
62. Miyao H, Hirokawa T, Miyasaka K, Kawazoe T. Relative humidity, not absolute humidity, is of great importance when using a humidifier with a heating wire. *Crit Care Med* 1992;20(5):674-679.
63. Thomachot L, Boisson C, Arnaud S, Michelet P, Cambon S, Martin C. Changing heat and moisture exchangers after 96 hours rather than after 24 hours: a clinical and microbiological evaluation. *Crit Care Med* 2000;28(3):714-720.
64. Thomachot L, Leone M, Razzouk K, Antonini F, Vialet R, Martin C. Randomized clinical trial of extended use of a hydrophobic condenser humidifier: 1 vs. 7 days. *Crit Care Med* 2002;30(1):232-237.
65. Boyer A, Thiery G, Lasry S, Pigne E, Salah A, de Lassence A, et al. Long-term mechanical ventilation with hygroscopic heat and moisture exchangers used for 48 hours: a prospective clinical, hygrometric, and bacteriologic study. *Crit Care Med* 2003;31(3):823-829.
66. Rathgeber J. Devices used to humidify respired gases. *Respir Care Clin N Am* 2006;12(2):165-182.
67. Kelly M, Gillies D, Todd DA, Lockwood C. Heated humidification versus heat and moisture exchangers for ventilated adults and children. *Cochrane Database Syst Rev* 2010;(4):CD004711.
68. Mo M, Liu SQ, Yang Y. Efficacy of heat and moisture exchangers and heated humidifiers in preventing ventilator-associated pneumonia: a meta-analysis. *Zhongguo Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue* 2011;23(9):513-517. Article in Chinese.
69. Jean-Claude L, Marc A, Charles C, Andry VDL, Lilla S, Yves R, et al. Impact of humidification systems on ventilator-associated pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;17:1276-1282.
70. Lorente L, Lecuona M, Jimenez A, Mora ML, Sierra A. Ventilator-associated pneumonia using a heated humidifier or a heat and moisture exchanger: a randomized controlled trial. *Crit Care* 2006;10(4):R116.
71. 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):1276-1282.
72. Siempos II, Vardakas KZ, Kopterides P, Falagas ME. Impact of passive humidification on clinical outcomes of mechanically ventilated patients: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care Med* 2007;35(12):2843-2851.
73. Ricard JD, Markowicz P, Djedaini K, Mier L, Coste F, Dreyfuss D. Bedside evaluation of efficient airway humidification during mechanical ventilation of the critically ill. *Chest* 1999;115(6):1646-1652.
74. Restrepo RD. AARC Clinical Practice Guidelines: from "reference-based" to "evidence-based". *Respir Care* 2010;(55)6:787-788.