

# Guías de Evidencia Basada en la Práctica Clínica AARC

## “Cuidados del Circuito Ventilatorio y su Relación con la Neumonía Asociada al Ventilador”

### Resumen de Recomendaciones

- El circuito ventilatorio no debería ser cambiado en forma rutinaria con un propósito de control de infecciones. La máxima duración de tiempo que el circuito ventilatorio puede ser utilizado en forma segura es desconocido.
- Hay poca evidencia en relación a la Neumonía Asociada al Ventilador (NAV) y el uso de circuitos calentados en lugar de no calentados, al tipo de humidificador utilizado, al método de llenado del humidificador, y a la técnica empleada para eliminar la condensación del circuito ventilatorio.
- Aunque la evidencia disponible sugiere una tasa menor de NAV con el uso de humidificación pasiva en lugar de humidificación activa, otras cuestiones relacionadas con la utilización de humidificadores pasivos (resistencia, volumen de espacio muerto, riesgo de oclusión de la vía aérea) impiden la formulación de una recomendación acerca del uso generalizado de los humidificadores pasivos.
- Los humidificadores pasivos no necesitan ser cambiados en forma diaria por razones de control de infecciones o performance técnica. Éstos pueden ser utilizados en forma segura por al menos 48 horas, y en alguna población de pacientes, algunos dispositivos pueden ser utilizados por periodos mayores a 1 semana.
- La utilización de sistemas cerrados de aspiración debería ser considerada como parte fundamental dentro de una estrategia de prevención de NAV, y no deberían ser reemplazados diariamente con un propósito de control de infecciones. La duración máxima de uso en forma segura de estos sistemas es desconocida.
- Los profesionales de salud que atienden a pacientes bajo ventilación mecánica deberían ser conscientes acerca de los factores de riesgo para desarrollar VAP (por ejemplo, la utilización de nebulizadores, ventilación con bolsa manual, y el transporte de pacientes).

### Introducción

Una de las principales preocupaciones relacionadas con la atención de pacientes bajo ventilación mecánica (VM) está relacionada con el riesgo de desarrollo de NAV. Por muchos años, esta preocupación estuvo focalizada sobre el circuito ventilatorio y el humidificador. En consecuencia, tanto los circuitos ventilatorios y humidificadores han sido cambiados en forma regular o rutinaria, con el propósito de disminuir la tasa de NAV. Sin embargo, como la evidencia ha demostrado, el origen aparente de la NAV pareciera ser otros sitios diferentes al circuito ventilatorio [1,2], y así en la práctica diaria ha prevalecido el cambio menos frecuente.[3] Si esta práctica es segura, se podría garantizar una reducción de los costos en forma

sustancial. Recientemente, han comenzado a tener mayor importancia otros asuntos relacionados con los distintos componentes del circuito ventilatorio y el desarrollo de NAV. Por ejemplo, los sistemas de humidificación pueden ser activos (HA) o pasivos (HP). Se ha comenzado a usar más a menudo sistemas de aspiración cerrada, formando parte del circuito ventilatorio.

Se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura con la intención de realizar recomendaciones para modificar la frecuencia de cambio del circuito ventilatorio y de sus diferentes componentes. Especialmente, el Comité Escritor, desarrolló estas guías basadas en la práctica clínica con el objetivo de dar respuesta a las siguientes cuestiones:

1. Es necesario cambiar el circuito ventilatorio a intervalos regulares de tiempo:

- a. ¿Con un propósito de control de infecciones?
  - b. ¿Por un deterioro en la performance?
2. ¿Cuál es el impacto económico al disminuir la frecuencia de cambio del circuito ventilatorio?
3. ¿Cuáles son las cuestiones relacionadas al tipo de circuito?
  - a. Reutilizables versus descartable
  - b. Técnicas de limpieza
  - c. Escenarios(UTI, Cuidados crónicos, Domicilio)
4. ¿La elección de HA o HP afecta la frecuencia de cambio del circuito?
5. ¿Los HP deberían ser cambiados a intervalos de tiempo regulares?:
  - a.¿Con un propósito de control de infecciones?
  - b. ¿Por deterioro en la performance?
6. ¿Los sistemas cerrados de aspiración necesitan ser cambiados regularmente?
  - a. ¿Con un propósito de control de infecciones?
  - b. ¿Por deterioro en la performance?
7. ¿Existen poblaciones de pacientes específicas para las cuales estas recomendaciones podrían ser modificadas?
  - a. Diferencias según grupo etario (neonatos/pediátricos/adultos)
  - b. Diferencias según el escenario (UTI/Cuidados crónicos/Domicilio)
  - c. Diferencias por categorías de pacientes (Inmunocomprometidos, quemados)

## Métodos

Para poder identificar la evidencia que pueda responder estas preguntas, se realizó una búsqueda en Pubmed (MEDLINE) utilizando los siguientes términos de búsqueda: *pneumonia AND mechanical ventilation, humidifier, ventilator circuit, heated circuit, suction catheter, endotracheal suction, respiratory therapy equipment, endotracheal intubation, heat and moisture exchanger, tracheostomy, respiratory care, equipment contamination, equipment disinfection, artificial ventilation*. La búsqueda fue confinada a estudios en humanos, publicados en idioma inglés. Resúmenes y referencias fueron analizados con un software (EndNote, ISI, Berkeley, California). Mediante la inspección de estos títulos, se eliminaron las referencias que no tenían relevancia en relación a las cuestiones planteadas. Con los títulos remanentes, los resúmenes fueron evaluados por relevancia y las referencias adicionales fueron eliminadas apropiadamente. Este proceso fue realizado en

forma independiente por 2 individuos, y luego que sus referencias fueron unificadas, se suministró una referencia base para el futuro análisis. Además de todo este proceso, los miembros del Comité Escritor encuestaron referencias cruzadas con el fin de identificar referencias adicionales que pudieran ser agregadas a la referencia base para el análisis.

Los datos fueron extraídos de las referencias seleccionadas utilizando un formulario crítico estandarizado. Para validar este formulario y establecer la fiabilidad de este proceso de revisión, muchas referencias fueron evaluadas por el Comité en su totalidad durante un encuentro cara a cara. Todas las referencias fueron luego independientemente examinadas por al menos 2 miembros del Comité Escritor. Las críticas fueron comparadas y las diferencias fueron resueltas utilizando un proceso iterativo.

Todas las referencias fueron ordenadas según el siguiente esquema:

Nivel 1: Estudios randomizados y controlados con diferencia estadísticamente significativa

Nivel 2: Estudios randomizados y controlados con una significancia amenazada (ej, tamaño muestral pequeño, cegamiento inapropiado, pobre metodología)

Nivel 3: Estudios observacionales con un grupo control concurrente

Nivel 4: Estudios observacionales con grupo control histórico.

Nivel 5: Estudios de banco, estudios con animales, serie de casos.

El formulario crítico fue enviado al autor principal de la guía (DRH), quien transfirió la información dentro de tablas de evidencia y realizó un análisis estadístico adecuado.

El análisis cuantitativo consistió en un meta-análisis y en Forest Plot. El análisis estadístico fue realizado utilizando el software RevMan (RevMan Analyses, Version 1.0 for Windows, inReview Manager [RevMan] 4.2, Oxford, England: The Cochrane Collaboration, 2003). Se calculó el Riesgo Relativo utilizando un modelo de efecto al azar. Se consideró estadísticamente significativa una diferencia  $p < 0.05$ . Siguiendo la revisión sistemática de la literatura, el Comité Escritor redactó las recomendaciones a las que se les asignó uno de los siguientes grados, basados en la fuerza de evidencia:

Grado A: Evidencia científica provista por estudios controlados, randomizados, bien realizados y diseñados, con resultados estadísticamente significativos que soporten consistentemente la

recomendación de la guía; soportados por Niveles 1 y 2 de evidencia.

Grado B: Evidencia científica provista por estudios observacionales bien diseñados y conducidos, con resultados estadísticamente significativos que soporten consistentemente las recomendaciones de la guía; soportado por niveles 3 o 4 de evidencia.

Grado C: Evidencia científica de estudios de banco, estudios en animales, estudios de casos; soportados por nivel 5 de evidencia.

Grado D: La opinión de expertos proporciona las bases para las recomendaciones de la guía, ya que la evidencia científica arrojaba resultados inconsistentes o estaba ausente.

El documento escrito fue luego revisado por expertos en cuidados del circuito ventilatorio. Cada uno de los comentarios de los revisores fue cuidadosamente evaluado, y luego se revisó el documento.

### **¿Los circuitos ventilatorios necesitan ser cambiados a intervalos regulares de tiempo?**

Basándose en artículos publicados en los años 1960 que mostraban una asociación entre el equipamiento respiratorio y el desarrollo de neumonía intrahospitalaria,[4,5] se estableció el cambio en forma diaria del circuito ventilatorio. De hecho, en algunos hospitales los circuitos eran cambiados cada 8 horas con el objetivo de reducir la incidencia de NAV. Esta práctica fue cuestionada en un destacado estudio publicado por Craven et al en 1982.[6] En este estudio se obtuvieron 240 cultivos de gas inspirado en 95 pacientes. No hubo diferencias significativas en la frecuencia de cultivos positivos en los circuitos cambiados cada 24 horas (30 %) o la de los circuitos cambiados cada 48 horas (32%). Más aun, no hubo un incremento significativo en la colonización del circuito entre las 24 y 48 horas. Basándose en este estudio, muchos hospitales en los Estados Unidos adoptaron esta práctica de cambio del circuito ventilatorio cada 48 horas. Craven y cols. estimaron que adoptando esta práctica, se ahorrarían \$ 300.000 (en 1982, dólares) en 20 hospitales universitarios

de Boston. Interesantemente, Craven y cols. no reportaron tasa de NAV en su estudio.

El efecto del intervalo de tiempo de cambio del circuito del respirador sobre la tasa de NAV fue evaluado en 4 estudios randomizados, controlados y prospectivos (Tabla 1 y Fig. 1).[7-10] Aunque cada uno de estos estudios evaluaron diferentes intervalos de tiempo para el cambio de circuito, el efecto combinado soporta la práctica de un cambio de circuito con menor frecuencia (riesgo relativo 0.76, 95% IC 0.57-1.00, p=0.05). En cada uno de estos artículos, el riesgo de desarrollar NAV fue disminuyendo cuando los circuitos fueron cambiados en forma menos frecuente. El intervalo de tiempo para el cambio fue también evaluado en 7 estudios con un grupo de control histórico (Tabla 2 y Figura 2).[11-17] Nuevamente, el efecto combinado soporta la práctica de un cambio menos frecuente ( riesgo relativo 0.87, 95% IC 0.63-1.18, p=0.37). Dos estudios controlados randomizados, bien diseñados evaluaron la práctica de “no cambio” de los circuitos del respirador.[8,9] Sin embargo, se desconoce la duración máxima de tiempo que el circuito puede ser utilizado en forma segura. En uno de aquellos estudios, la duración máxima de uso del circuito ventilatorio fue 29 días.[8] El otro estudio no reportó la duración máxima de uso del circuito, pero los autores reportaron que el 35% de los pacientes fueron ventilados por más de 14 días.[9]

Los costos asociados con los cambios de circuito fueron evaluados en 8 artículos.[6,8,9,12-15,17] Debido a que estos estudios fueron realizados durante un lapso de 20 años y en diferentes países, la comparación directa de costos es dificultosa. Cada uno de estos estudios sugiere un ahorro considerable en costos de personal y de materiales con los cambios menos frecuentes. Un estudio evaluó la falla del material (fugas en el circuito) en relación a la frecuencia de cambio.[9] En este estudio no hubo diferencias significativas en fallas del equipamiento cuando los circuitos fueron cambiados en forma semanal o cuando no fueron cambiados a intervalos regulares.

La mayoría de los estudios fueron hechos en adultos, dentro de una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). Un solo estudio fue realizado en una Unidad de Cuidados Intermedios (UTIM).[13] Dos estudios incluyeron pacientes pediátricos y neonatos bajo VM.[10,11] Aunque el intervalo de cambio del circuito ha sido estudiado en menor medida en pacientes que no sean adultos en UCI, la evidencia disponible sugiere que no hay un riesgo incrementado para NAV asociado con cambios infrecuentes en esta población.

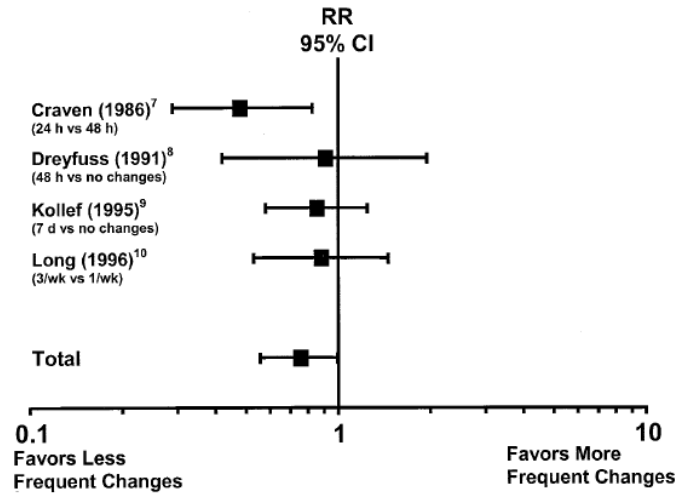


Figura 1. Forest Plot: Estudios randomizados controlados acerca de la relación entre frecuencia de cambio del circuito ventilatorio y riesgo de NAV. RR=Riesgo Relativo. CI=Intervalo de Confianza.

No se han realizado estudios que analicen por separado poblaciones determinadas, como por ejemplo, pacientes inmunocomprometidos o quemados.

**Recomendación #1. Los circuitos ventilatorios no deben ser cambiados rutinariamente con un propósito de control de infecciones. La evidencia disponible sugiere no haber riesgo para el paciente y una considerable disminución de costos asociado con una prolongación en el intervalo de cambio de los circuitos. La máxima duración del tiempo que los circuitos pueden ser utilizados en forma segura es desconocida (Grado A).**

La mayoría de los estudios utilizaron humidificadores activos *tipo passover*, aunque muchos utilizaron humidificadores de burbuja *tipo cascada*. [8,12,17] El interés ha sido centrado en el uso de humidificadores tipo burbuja, ya que han mostrado el potencial de generar aerosolización, lo que podría acarrear microorganismos. [18,19] Sin embargo, esta no es una consideración desarrollada en el presente, ya que estos dispositivos no son de uso habitual en la actualidad. Más aún, los niveles bacterianos en los HA son bajos y los patógenos nosocomiales sobreviven poco en este ambiente. [20] Unos pocos estudios utilizaron circuitos reutilizables, [11,17] y en la mayoría fueron circuitos descartables. En muchos estudios se utilizaron circuitos

| Citation                   | Study Population                                       | Blinding      | VAP Diagnosis         | Control Group              | Treatment Group            | Control Group |               | Treatment Group |               | Level | Relative Risk (95% CI) |
|----------------------------|--|---------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-------|------------------------|
|                            |  |               |                       |                            |                            | n             | Pneumonia (%) | n               | Pneumonia (%) |       |                        |
| Craven 1986 <sup>7</sup>   | Adult patients requiring mechanical ventilation > 48 h | VAP assessors | Clinical              | Circuit changes every 24 h | Circuit changes every 48 h | 106           | 29.2          | 127             | 14.2          | 1     | 0.48 (0.29, 0.82)      |
| Dreyfuss 1991 <sup>8</sup> | Adult patients requiring mechanical ventilation > 48 h | VAP assessors | Quantitative cultures | Circuit changes every 48 h | No circuit changes         | 35            | 31.4          | 28              | 28.5          | 1     | 0.91 (0.42, 1.95)      |
| Kollef 1995 <sup>9</sup>   | Adult patients requiring mechanical ventilation > 5 d  | VAP assessors | Clinical              | Circuit changes every 7 d  | No circuit changes         | 153           | 28.8          | 147             | 24.5          | 1     | 0.85 (0.58, 1.24)      |
| Long 1996 <sup>10</sup>    | Neonatal and adult mechanically ventilated patients    | None          | Clinical              | Circuit changes 3 times/wk | Circuit change 1/wk        | 213           | 12.7          | 234             | 11.1          | 2     | 0.88 (0.53, 1.45)      |
| TOTAL                      |  |               |                       |                            |                            | 507           | 22.3          | 536             | 16.4          |       | 0.76 (0.57, 1.00)      |

VAP = ventilator-associated pneumonia.  
CI = confidence interval.

Tabla 1. Resumen de los estudios randomizados y controlados que investigan acerca de la relación entre frecuencia de cambio del circuito ventilatorio y el riesgo de NAV.

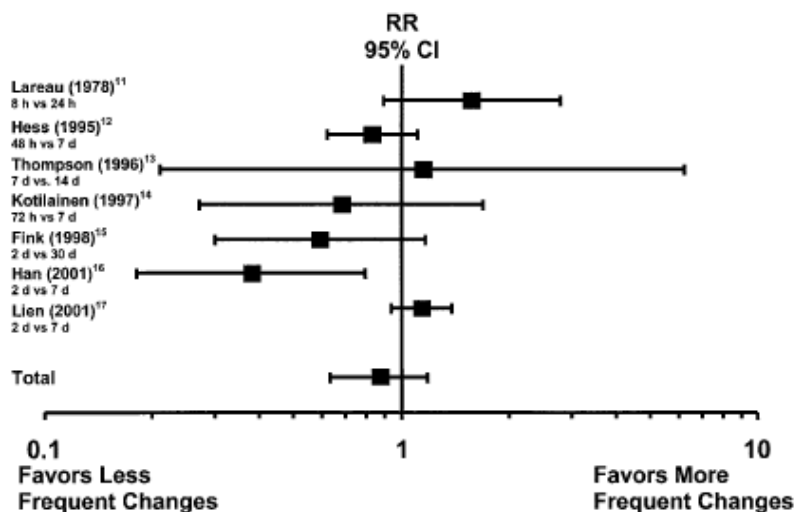


Figura 2. Forest Plot: Estudios observacionales acerca de la relación entre frecuencia de cambio del circuito ventilatorio y el riesgo de NAV. RR=Riesgo Relativo. CI= Intervalo de Confianza.

de alambre caliente.[10,14-16] Un pequeño estudio [21] comparó circuitos de alambre caliente y circuitos no calentados, y no encontró diferencias en tasa de NAV (Riesgo Relativo 1.57 a favor de circuitos no calentados, 95% IC 0.55 a 4.45). La condensación que se acumula en el circuito ventilatorio está contaminada,[22] y se debería tener cuidado para evitar la contaminación cruzada de otros pacientes. Aunque parezca claro que debe evitarse abrir el circuito ventilatorio (ya que podría contaminar el interior del circuito ventilatorio) esto no ha sido estudiado. Un estudio observacional comparó cambios del circuito ventilatorio en forma diaria con cambios bisemanales utilizando humidificadores pasivos (HME) y no se encontraron diferencias en tasa de NAV.[23] Otro estudio comparó humidificadores descartables y reutilizables durante VM, sin encontrar diferencias en tasa de NAV.[24] Es correcto afirmar que el riesgo de NAV no se incrementa ante un cambio de circuito menos frecuente, a pesar de una variedad de prácticas en relación con el tipo de circuito utilizado y el cuidado del mismo. Los cuidados estandarizados destacan el uso de agua estéril dentro del humidificador activo. Debido a que el agua es un importante reservorio de patógenos nosocomiales y no hay estudios publicados acerca de este tópico utilizando sistemas de humidificación modernos, parece ser de buena práctica el llenado del humidificador con agua estéril.

**Recomendación #2. La evidencia es escasa en relación a NAV y circuitos calentados o no calentados, tipo de humidificador, método de llenado del humidificador y técnica de descarte de la condensación del circuito ventilatorio. Es prudente evitar una excesiva acumulación de esta condensación dentro del circuito. Debe ponerse cuidado en evitar un drenaje accidental de la condensación dentro de la vía aérea del paciente e impedir la contaminación de los cuidadores durante la desconexión del paciente o durante la eliminación de la condensación. Debe ponerse cuidado para evitar abrir el circuito, lo que podría contaminar el interior del circuito. (Grado D)**

**¿Se encuentra la tasa de NAV afectada por la elección de un sistema de humidificación pasivo o activo durante la VM?**

La humidificación de los gases inspirados es una práctica estándar dentro de los cuidados de los pacientes en VM. La humidificación de los gases inspirados puede lograrse en forma pasiva o activa. Los humidificadores activos hacen pasar el aire inspirado o a través (burbuja) o sobre (passover) un depósito con agua calentada. En cambio, los humidificadores pasivos (HME, nariz artificial) atrapan el calor y la humedad del gas exhalado por el paciente y luego devuelven una porción de éste durante la siguiente inspiración. El circuito permanece

| Citation                      | Study Population   | VAP Diagnosis | Control Group                    | Treatment Group                   | Control Group |               | Treatment Group |               | Level | Relative Risk (95% CI) |
|-------------------------------|--|---------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-------|------------------------|
|                               |  |               |                                  |                                   | n             | Pneumonia (%) | n               | Pneumonia (%) |       |                        |
| Lareau 1978 <sup>11</sup>     | Adult, pediatric, and neonatal mechanically ventilated patients    | Clinical      | Circuit changes at 8-h intervals | Circuit changes at 24-h intervals | 213           | 7.5           | 271             | 11.8          | 4     | 1.57 (0.89, 2.79)      |
| Hess 1995 <sup>12</sup>       | Adult mechanically ventilated patients                             | Clinical      | Circuit changes at 2-d intervals | Circuit changes at 7-d intervals  | 1,708         | 5.6           | 1,715           | 4.6           | 4     | 0.83 (0.62, 1.11)      |
| Thompson 1996 <sup>13</sup>   | Adult mechanically ventilated patients in a subacute care facility | Clinical      | Circuit changes at 7-d intervals | Circuit changes at 14-d intervals | 31            | 9.7           | 18              | 11.1          | 4     | 1.15 (0.21, 6.24)      |
| Kotilainen 1997 <sup>14</sup> | Adult mechanically ventilated patients                             | Clinical      | Circuit changes at 3-d intervals | Circuit changes at 7-d intervals  | 88            | 9.1           | 146             | 6.2           | 4     | 0.68 (0.27, 1.69)      |
| Fink 1998 <sup>15</sup>       | Adult mechanically ventilated patients                             | Clinical      | Circuit changes at 2-d intervals | Circuit changes at 30-d intervals | 336           | 10.7          | 157             | 6.4           | 4     | 0.59 (0.30, 1.17)      |
| Han 2001 <sup>16</sup>        | Adult mechanically ventilated patients                             | Clinical      | Circuit changes at 2-d intervals | Circuit changes at 7-d intervals  | 413           | 9.2           | 231             | 3.5           | 4     | 0.38 (0.18, 0.79)      |
| Lien 2001 <sup>17</sup>       | Adult mechanically ventilated patients                             | Clinical      | Circuit changes at 2-d intervals | Circuit changes at 7-d intervals  | 6,213         | 2.9           | 7,068           | 3.2           | 4     | 1.14 (0.94, 1.38)      |
| Total                         |  |               |                                  |                                   | 9,002         | 4.1           | 9,606           | 3.8           |       | 0.87 (0.63, 1.18)      |

VAP = ventilator-associated pneumonia.  
CI = confidence interval.

Tabla 2. Resumen de Estudios observacionales que investigan la relación entre frecuencia de cambio del circuito ventilatorio y riesgo de NAV.

seco con el uso de un humidificador pasivo. Además, el sistema pasivo posee propiedades de filtrado, y algunos son construidos para funcionar como filtros y humidificadores. La performance de los sistemas de humidificación ha sido descripta en detalle.[25] Debido a que mantienen el circuito seco y a sus propiedades de filtrado, ha despertado interés su potencial efecto en disminuir la incidencia de NAV. Además, muchos estudios han reportado que la contaminación del circuito se encuentra reducida con el uso de HME.[26-31] Un estudio reportó una colonización traqueal similar con HA y HME.[32] La tasa de NAV con HME o HA fue evaluada en 6 estudios (Tabla 3).[21,33-37] Los resultados combinados de estos estudios (Figura 3) indica una tasa más baja de riesgo de NAV con el uso de HME (Riesgo Relativo 0.65, 95% IC 0.44 a 0.96, p=0.03). Aunque el efecto combinado de este meta-análisis muestra una tasa más baja de NAV con el uso de HME, es de importancia destacar que solo un estudio [36] reportó una reducción significativa en la tasa de NAV con el uso de HME. Estos trabajos utilizaron diferentes marcas de HME, incluyeron pacientes adultos y fueron desarrollados en UCI. Dos estudios reportaron no haber diferencias significativas en tasa de NAV cuando se compararon diferentes tipos de humidificadores (con diferentes componentes, hidrofóbicos o higroscópicos).

[38,39] Además de la NAV, hay otros aspectos importantes que deben ser considerados cuando se utiliza un HME. Estos incluyen el espacio muerto del dispositivo, la dificultad en la entrega de medicación nebulizada y el riesgo de oclusión de la vía aérea. Ha sido reportado un mayor trabajo respiratorio atribuido al uso de HME.[40] El uso de HME ha sido asociado con una mayor PaCO<sub>2</sub> y un requerimiento mayor de ventilación minuto.[41] Otro estudio reportó una reducción significativa de la PaCO<sub>2</sub> con la remoción del HME en pacientes bajo VM protectora.[42] El aumento del riesgo de oclusión de la vía aérea debe tenerse en cuenta cuando se utiliza un sistema pasivo de humidificación. En un estudio [33] el uso de HME fue interrumpido debido a una oclusión fatal de la vía aérea. Otros estudios han reportado un riesgo mayor de oclusión de la vía aérea con el uso de HME.[33,43,44] Un meta-análisis de oclusión de vía aérea asociado con utilización de HME reportó un Riesgo Relativo de 3.84 (95% IC 1.92 a 7.69, p=0.0001), favoreciendo el uso de HA (es decir, mayor riesgo de oclusión con HME).[45] Cuando es utilizado un HME, es importante seleccionar un dispositivo que entregue una adecuada humidificación para minimizar este riesgo.

| Citation                    | Study Population                       | VAP Diagnosis         | Passive humidifier                                      | Active Humidifier |               | Passive Humidifier |               | Level | Relative Risk (95% CI) |
|-----------------------------|--|-----------------------|---|-------------------|---------------|--------------------|---------------|-------|------------------------|
|                             |  |                       |   | n                 | Pneumonia (%) | n                  | Pneumonia (%) |       |                        |
| Martin 1990 <sup>33</sup>   | Adult mechanically ventilated patients | Clinical              | Pall Ultipor breathing circuit filter                   | 42                | 19.0          | 31                 | 6.5           | 2     | 0.34 (0.08, 1.49)      |
| Roustan 1992 <sup>34</sup>  | Adult mechanically ventilated patients | Clinical              | Pall BB 2215  | 61                | 14.8          | 55                 | 9.1           | 1     | 0.62 (0.22, 1.73)      |
| Dreyfuss 1995 <sup>35</sup> | Adult mechanically ventilated patients | Quantitative cultures | DAR Hygrobac II   | 70                | 11.4          | 61                 | 9.8           | 1     | 0.86 (0.32, 2.34)      |
| Branson 1996 <sup>21</sup>  | Adult mechanically ventilated patients | Clinical              | Baxter nonfiltered hygroscopic condenser humidifier     | 54                | 5.6           | 49                 | 6.1           | 2     | 1.10 (0.23, 5.21)      |
| Kirton 1997 <sup>36</sup>   | Adult mechanically ventilated patients | Clinical              | Pall BB-100   | 140               | 15.7          | 140                | 6.4           | 2     | 0.41 (0.20, 0.86)      |
| Kollef 1998 <sup>37</sup>   | Adult mechanically ventilated patients | Clinical              | Nelcor-Puritan-Bennett hygroscopic condenser humidifier | 147               | 10.2          | 163                | 9.2           | 1     | 0.90 (0.46, 1.78)      |
| Total                       |  |                       |   | 514               | 12.6          | 499                | 8.0           |       | 0.65 (0.44, 0.96)      |

VAP = ventilator-associated pneumonia.  
CI = confidence interval.

Tabla 3. Resumen de Estudios randomizados y controlados que investigan la relación entre el tipo de humidificación y el riesgo de NAV.

**Recomendación #3.** Aunque la evidencia disponible sugiere una menor tasa de NAV con la utilización de humidificación pasiva en lugar de humidificación activa, otras cuestiones relacionadas con la utilización de HME (resistencia, volumen de espacio muerto, riesgo de oclusión de vía aérea) excluyen una recomendación para el uso generalizado de estos dispositivos. La decisión acerca del uso de HME no debería estar hecha solamente en base consideraciones de control de infecciones. (Grado A)

### ¿Es necesario el reemplazo de los humidificadores pasivos en forma rutinaria?

Los fabricantes de HME recomiendan su cambio diario. Despertó interés conocer la seguridad de cambiar estos dispositivos en forma menos frecuente en términos de tasa de NAV y performance. Dos estudios randomizados y controlados[46,47], y dos estudios observacionales compararon cambios de HME en forma diaria con cambios menos frecuentes (Tabla 4).[48,49] En dos estudios, los HME fueron cambiados cada 48 horas,[48,49] en otro estudio cada 5 días,[46] y en otro cada 7 días.[47] No se encontraron diferencias

significativas en la tasa de NAV con cambios menos frecuentes, ya sea entre los estudios controlados y randomizados (Riesgo Relativo 0.58, 95%IC 0.24 a 1.41, p=0.14) o entre los estudios observacionales (Riesgo Relativo 1.13, 95%IC 0.73 a 1.76, p=0.9). Otros estudios han evaluado la performance técnica de los HME utilizados por más de 48 horas,[50-52] 96 horas,[53-55] y 7 días.[56] Sin embargo, se ha sugerido precaución con el uso prolongado de humidificadores pasivos con algunos equipos [52,57] y con algún subgrupo de pacientes (Ej. EPOC).[56] Basándose en la evidencia disponible, parece prudente monitorizar estrictamente la performance de estos dispositivos si son utilizados por más de 48 horas.

**Recomendación #4.** Los humidificadores pasivos no necesitan ser cambiados diariamente por razones de control de infecciones o performance técnica. Pueden ser utilizados en forma segura por al menos 48 horas, y con alguna población de pacientes algunos dispositivos podrían ser utilizados por más de una semana. (Grado A)

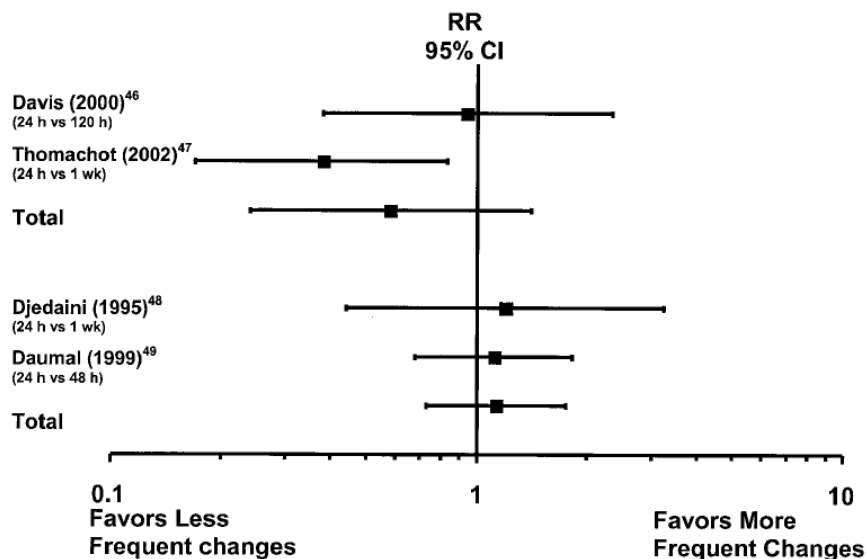


Figura 3. Forest Plot: Estudios randomizados y controlados acerca de la relación entre el tipo de humidificación y el riesgo de NAV. RR= Riesgo Relativo. CI= Intervalo de Confianza.

### ¿Es necesario cambiar los sistemas cerrados de aspiración a intervalos regulares?

Los sistemas cerrados de aspiración (SCA) permiten realizar la aspiración de secreciones de pacientes bajo VM sin necesidad de remover el soporte ventilatorio. Esto podría disminuir las complicaciones asociadas con la aspiración[58] y prevenir el desreclutamiento alveolar.[59,60] Un estudio reportó una menor contaminación ambiental con los SCA en comparación con la aspiración abierta.[61] Estudios observacionales reportaron altos niveles de contaminación dentro de los catéteres de aspiración cerrada que se encuentran en uso.[62,63] Sin embargo, esta contaminación proviene del tubo orotraqueal y de la vía respiratoria baja del paciente. Es decir, el paciente contamina el catéter. El uso de SCA ha sido recomendado como parte de un programa de prevención de NAV.[64] Dos estudios prospectivos, randomizados y controlados reportaron una tasa similar de NAV con la utilización de

SCA y aspiración abierta.[58,65] Otro estudio, sin embargo, reportó un riesgo 3.5 veces mayor de NAVM en pacientes randomizados a recibir aspiración abierta en comparación con aquellos que recibieron aspiración cerrada.[66] Aunque la evidencia disponible no es terminante acerca de que los SCA disminuyan el riesgo de NAV, no hay una evidencia de alto nivel acerca que el uso de SCA lo incremente. Los SCA podrían ser considerados una extensión del circuito ventilatorio. Debido a que el circuito no necesita ser cambiado a intervalos regulares con un propósito de control de infecciones, se podría sugerir que tampoco sea necesario el cambio regular de los SCA. Aunque los fabricantes recomiendan que estos dispositivos sean cambiados regularmente, hay evidencia que soporta la idea que no deberían ser cambiados rutinariamente. Un estudio observacional reportó no haber cambios en la tasa de NAVM cuando los SCA eran cambiados semanalmente en lugar de forma diaria.[67] Otro estudio reportó no haber diferencias significativas en tasa de NAV entre



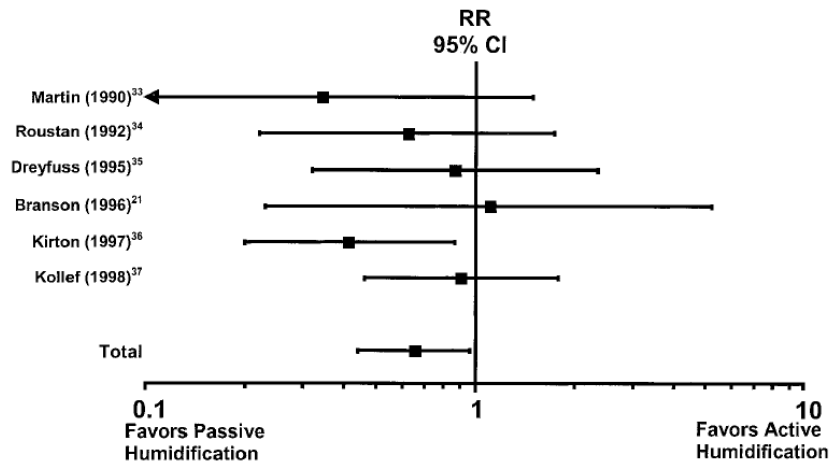


Figura 4. Forest Plot: Estudios acerca de la relación entre frecuencia de cambio de los humidificadores pasivos y riesgo de NAV. RR=Riesgo Relativo. CI=Intervalo de Confianza.

| Citation                            | Study Population                       | VAP Diagnosis         | Control Group          | Treatment Group         | Control Group |               | Treatment Group |               | Level | Relative Risk (95% CI) |
|-------------------------------------|--|-----------------------|------------------------|-------------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-------|------------------------|
|                                     |  |                       |                        |                         | n             | Pneumonia (%) | n               | Pneumonia (%) |       |                        |
| <b>Randomized Controlled Trials</b> |  |                       |                        |                         |               |               |                 |               |       |                        |
| Davis 2000 <sup>46</sup>            | Adult mechanically ventilated patients | Clinical              | HME changed every 24 h | HME changed every 120 h | 100           | 8.0           | 120             | 7.5           | 1     | 0.94 (0.38, 2.34)      |
| Thomachot 2002 <sup>47</sup>        | Adult mechanically ventilated patients | Clinical              | HME changed every 24 h | HME changed every 7 d   | 84            | 26.2          | 71              | 9.9           | 1     | 0.38 (0.17, 0.83)      |
| Total                               |  |                       |                        |                         | 184           | 16.3          | 191             | 8.4           |       | 0.58 (0.24, 1.41)      |
| <b>Observational Studies</b>        |  |                       |                        |                         |               |               |                 |               |       |                        |
| Djedaini 1995 <sup>48</sup>         | Adult mechanically ventilated patients | Quantitative cultures | HME changed every 24 h | HME changed every 48 h  | 61            | 9.8           | 68              | 11.8          | 4     | 1.20 (0.44, 3.25)      |
| Daumal 1999 <sup>49</sup>           | Adult mechanically ventilated patients | Quantitative cultures | HME changed every 24 h | HME changed every 48 h  | 174           | 14.4          | 187             | 16.0          | 4     | 1.12 (0.68, 1.82)      |
| Total                               |  |                       |                        |                         | 235           | 13.2          | 255             | 14.9          |       | 1.13 (0.73, 1.76)      |

Tabla 4. Resumen de estudios que investigan acerca de la relación entre frecuencia de cambio de humidificadores pasivos y riesgo de NAV. RR=Riesgo Relativo. CI=Intervalo de Confianza.

pacientes randomizados a recibir cambios diarios de los SCA y aquellos a quienes no se les realizaron cambios de rutina (riesgo relativo 0.99, 95% IC 0.66 a 1.5).[68] La duración máxima de uso de un SCA en este estudio fue 67 días. Hubo pocas roturas de los dispositivos cuando los SCA fueron cambiados en forma menos frecuente que diariamente, y hubo además un importante ahorro de costos asociados con esta práctica.[67,68] Como con los circuitos del respirador, la duración máxima que los SCA pueden ser utilizados en forma segura es desconocida.

**Recomendación #5. El uso de SCA debería considerarse como parte de una estrategia de prevención de NAV. Cuando se utilizan SCA, no es necesario su cambio en forma diaria como control de infecciones. La duración máxima en que los SCA pueden ser utilizados en forma segura es desconocida. (Grado A)**

#### Otras consideraciones

Otras consideraciones relacionadas con aspectos técnicos de la VM pueden ser importantes en relación a la NAV. La medicación nebulizada puede ser una fuente de contaminación que podría favorecer el desarrollo de NAV.[69] En base a esto, debe tenerse cuidado con los nebulizadores para evitar la contaminación de los circuitos del ventilador y el tracto respiratorio del paciente. Los terapeutas respiratorios comúnmente creen que el riesgo de contaminación del circuito ventilatorio es disminuido con el uso de inhaladores de dosis medida, pero esto no ha sido reportado. Los dispositivos manuales que son normalmente alojados a la cabecera del paciente bajo VM han demostrado ser una vía de contaminación de la vía aérea, por lo que deberían extremarse los cuidados para minimizar el riesgo de infección asociado con estos dispositivos.[70,71] Un estudio reportó una mayor probabilidad de desarrollar NAV entre pacientes que fueron trasladados fuera de la UCI para procedimientos diagnósticos, quirúrgicos u otros (odds ratio 3.8, 95% IC 2.6 a 5.5,  $p < 0.001$ ).[72] Se considera necesario la implementación de un programa de enseñanza de medidas para prevención de la NAV para TR y enfermeras ya que esto disminuye la incidencia de la misma.

**Recomendación #6. El personal de UCI debería estar informado acerca de los factores de riesgo para el desarrollo de NAV (por ejemplo, terapia nebulizadora, ventilación manual y transporte del paciente). (Grado B)**

#### Discusión

En la actualidad existe una importante evidencia para realizar recomendaciones relacionadas a las prácticas técnicas de VM y riesgo de NAV. Sin embargo, hay deficiencias importantes en base a esta evidencia. Por ejemplo, la mayoría de la evidencia publicada proviene de estudios realizados en adultos. Pocos datos ha sido publicada para poblaciones pediátricas o neonatos. Finalmente, hay poca investigación hecha en importantes subgrupos de pacientes, como inmunocomprometidos. Es decir, mucho queda por aprender acerca de la relación entre los aspectos técnicos de la VM y el riesgo de NAV. Así, las guías basadas en la evidencia proveen no solo una base para las prácticas habituales, sino también un marco para futuras investigaciones.

#### Identificación, adaptación y disponibilidad

-Adaptación

Publicación original

Respiratory Care 2003(48): 9; 869-879

-Desarrollo de la guía

Capítulo de Kinesiología en el Paciente Crítico

Sebastián Fredes Lic. Klglo. Ftra.

-Disponibilidad

[www.sati.org.ar](http://www.sati.org.ar)

-Conflictos de interés

Ninguno

#### Referencias

1. 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. Erratum in: JAMA 1999;281(22):2089
2. Cook DJ, Walter SD, Cook RJ, Griffith LE, Guyatt GH, Leasa D, et al. Incidence of and risk factors for ventilator-associated pneumonia in critically ill patients. Ann Intern Med 1998;129(6):433-440.

3. Cook D, Ricard JD, Reeve B, Randall J, Wigg M, Brochard L, Dreyfuss D. Ventilator circuit and secretion management strategies: a Franco-Canadian survey. *Crit Care Med* 2000;28(10):3547–3554.
4. Reinartz JA, Pierce AK, Mays BB, Sanford JP. The potential role of inhalation therapy equipment in nosocomial pulmonary infection. *J Clin Invest* 1965;44:831–839.
5. Edmondson EB, Reinartz JA, Pierce AK, Sanford JP. Nebulization equipment: a potential source of infection in gram-negative pneumonias. *Am J Dis Child* 1966;111(4):357–360.
6. Craven DE, Connolly MG Jr, Lichtenberg DA, Primeau PJ, McCabe WR. Contamination of mechanical ventilators with tubing changes every 24 or 48 hours. *N Engl J Med* 1982;306(25):1505–1509.
7. Craven DE, Kunches LM, Kilinsky V, Lichtenberg DA, Make BJ, McCabe WR. Risk factors for pneumonia and fatality in patients receiving continuous mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1986;133(5):792–796.
8. Dreyfuss D, Djedaini K, Weber P, Brun P, Lanore JJ, Rahmani J, et al. Prospective study of nosocomial pneumonia and of patient and circuit colonization during mechanical ventilation with circuit changes every 48 hours versus no change. *Am Rev Respir Dis* 1991;143(4 Pt1):738–743.
9. Kollef MH, Shapiro SD, Fraser VJ, Silver P, Murphy DM, Trovillion E, et al. Mechanical ventilation with or without 7-day circuit changes. A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med* 1995;123(3):168–174.
10. Long MN, Wickstrom G, Grimes A, Benton CF, Belcher B, Stamm AM. Prospective, randomized study of ventilator-associated pneumonia in patients with one versus 3 ventilator circuit changes per week. *Infect Control Hosp Epidemiol* 1996;17(1):14–19.
11. Lareau SC, Ryan KJ, Diener CF. The relationship between frequency of ventilator circuit changes and infectious hazard. *Am Rev Respir Dis* 1978;118(3):493–496.
12. Hess D, Burns E, Romagnoli D, Kacmarek RM. Weekly ventilator circuit changes: a strategy to reduce costs without affecting pneumonia rates. *Anesthesiology* 1995;82(4):903–911.
13. Thompson RE. Incidence of ventilator-associated pneumonia (VAP) with 14-day circuit change in a subacute environment. *Respir Care* 1996;41(7):601–606.
14. Kotilainen HR, Keroack MA. Cost analysis and clinical impact of weekly ventilator circuit changes in patients in intensive care unit. *Am J Infect Control* 1997;25(2):117–120.
15. Fink JB, Krause SA, Barrett L, Schaaff D, Alex CG. Extending ventilator circuit change interval beyond 2 days reduces the likelihood of ventilator-associated pneumonia. *Chest* 1998;113(2):405–411.
16. Han JN, Liu YP, Ma S, Zhu YJ, Sui SH, Chen XJ et al. Effects of decreasing the frequency of ventilator circuit changes to every 7 days on the rate of ventilator-associated pneumonia in a Beijing hospital. *Respir Care* 2001;46(9):891–896.
17. Lien TC, Lin MY, Chu CC, Kuo BI, Wang ED, Wang JH. Ventilator-associated pneumonia with circuit changes every 2 days versus every week. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi (Taipei)* 2001;64(3):161–167.
18. Rhame FS, Streifel A, McComb C, Boyle M. Bubbling humidifiers produce microaerosols which can carry bacteria. *Infect Control* 1986;7(8):403–407.
19. Gilmour IJ, Boyle MJ, Streifel A, McComb RC. The effects of circuit and humidifier type on contamination potential during mechanical ventilation: a laboratory study. *Am J Infect Control* 1995;23(2):65–72.
20. Goularte TA, Manning M, Craven DE. Bacterial colonization in humidifying cascade reservoirs after 24 and 48 hours of continuous mechanical ventilation. *Infect Control* 1987;8(5):200–203.
21. Branson RD, Davis K Jr, Brown R, Rashkin M. Comparison of 3 humidification techniques during mechanical ventilation: patient selection, cost, and infection considerations. *Respir Care* 1996;41(9):809–816.
22. 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):625–628.
23. Salemi C, Padilla S, Canola T, Reynolds D. Heat-and-moisture exchangers used with biweekly circuit tubing changes: effect on costs and pneumonia rates. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2000;21(11):737–739.
24. Daschner F, Kappstein I, Schuster F, Scholz R, Bauer E, Joossens D, Just H. Influence of disposable ('Conchapak') and reusable humidifying systems on the incidence of ventilation pneumonia. *J Hosp Infect* 1988;11(2):161–168.
25. Branson RD, Campbell RS. Humidification in the intensive care unit. *Respir Care Clin N Am* 1998;4(2):305–320.
26. Gallagher J, Strangeways JEM, Allt-Graham J. Contamination control in long-term ventilation: a clinical study using a heat- and moisture-exchanging filter. *Anaesthesia* 1987;42(5):476–481.
27. Cadwallader HL, Bradley CR, Ayliffe GAJ. Bacterial contamination and frequency of changing ventilator circuitry. *J Hosp Infect* 1990;15(1):65–72.

28. Strange K, Bygdeman S. Do moisture exchangers prevent patient contamination of ventilators? A microbiological study comparing 2 different humidifying devices. *Acta Anaesthesiol Scand* 1980;24(6):487–490.
29. Saravolatz LD, Pohlod DJ, Conway W, Haberaecker W, Markowitz NP, Popovich J Jr. Lack of bacterial aerosols associated with heat and moisture exchangers. *Am Rev Respir Dis* 1986;134(2):214–216.
30. Bygdeman S, von Euler C, Nystrom B. Moisture exchangers do not prevent patient contamination of ventilators: a microbiological study. *Acta Anaesthesiol Scand* 1984;28(6):591–594.
31. Das I, Fraise AP. How useful are microbial filters in respiratory apparatus? *J Hosp Infect* 1997;37(4):263–272.
32. Misset B, Escudier B, Rivara D, Leclercq B, Nitenberg G. Heat and moisture exchanger vs heated humidifier during long-term mechanical ventilation: a prospective randomized study. *Chest* 1991;100(1):160–163.
33. Martin C, Perrin G, Gevaudan M, Saux P, Gouin F. Heat and moisture exchangers and vaporizing humidifiers in the intensive care unit. *Chest* 1990;97(1):144–149.
34. 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.
35. Dreyfuss D, Djedaini K, Gros I, Mier L, Le Bourdelles G, Cohen Y, et al. Mechanical ventilation with heated humidifiers or heat and moisture exchangers: effects on patient colonization and incidence of nosocomial pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;151(4):986–992.
36. 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* 1977;112(4):1055–1059.
37. Kollef MH, Shapiro SD, Boyd V, Silver P, Von Harz B, Trovillion E, Prentice D. A randomized clinical trial comparing an extended-use hygroscopic condenser humidifier with heated-water humidification in mechanically ventilated patients. *Chest* 1998;113(3):759–767.
38. Thomachot L, Viviani X, Arnaud S, Boisson C, Martin CD. Comparing 2 heat and moisture exchangers, one hydrophobic and one hygroscopic, on humidifying efficacy and the rate of nosocomial pneumonia. *Chest* 1998;114(5):1383–1389.
39. 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.
40. Pelosi P, Solca M, Ravagnan I, Tubiolo D, Ferrario L, Gattinoni L. Effects of heat and moisture exchangers on minute ventilation, ventilator drive, and work of breathing during pressure-support ventilation in acute respiratory failure. *Crit Care Med* 1996;24(7):1184–1188.
41. Le Bourdelles G, Mier L, Fiquet B, Djedaini K, Saumon G, Coste F, Dreyfuss D. Comparison of the effects of heat and moisture exchangers and heated humidifiers on ventilation and gas exchange during weaning trials from mechanical ventilation. *Chest* 1996;110(5):1294–1298.
42. Hurni JM, Fiehl F, Lazor R, Leuenberger P, Perret C. Safety of combined heat and moisture exchange filters in long-term mechanical ventilation. *Chest* 1997;111(3):686–691.
43. Cohen IL, Weinberg PF, Fein IA, Rowinski GS. Endotracheal tube occlusion associated with the use of heat and moisture exchangers in the intensive care unit. *Crit Care Med* 1988;16(3):277–279.
44. Villafane MC, Cinnella G, Lofaso F, Isabey D, Harf A, Lemaire F, Brochard L. Gradual reduction of endotracheal tube diameter during mechanical ventilation via different humidification devices. *Anesthesiology* 1996;85(6):1341–1349.
45. Hess DR. And now for the rest of the story (letter). *Respir Care* 2002;47(6):696–699.
46. Davis K Jr, Evans SL, Campbell RS, Johannigman JA, Luchette FA, Porembka DT, Branson RD. Prolonged use of heat and moisture exchangers does not affect device efficiency or frequency rate of nosocomial pneumonia. *Crit Care Med* 2000;28(5):1412–1418.
47. 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.
48. Djedaini K, Billiard M, Mier L, Le Bourdelles G, Brun P, Markowicz P, et al. Changing heat and moisture exchangers every 48 hours rather than 24 hours does not affect their efficacy and the incidence of nosocomial pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152(5 Pt 1):1562–1569.
49. Daumal F, Colpart E, Manoury B, Mariani M, Daumal M. Changing heat and moisture exchangers every 48 hours does not increase the incidence of nosocomial pneumonia. *Infect Control Hosp Epidemiol*

- 1999;20(5):347–349.
50. 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):477–481.
51. Boisson C, Viviand X, Arnaud S, Thomachot L, Miliani Y, Martin C. Changing a hydrophobic heat and moisture exchanger after 48 hours rather than 24 hours: a clinical and microbiological evaluation. *Intensive Care Med* 1999;25(11):1237–1243.
52. 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):665–671.
53. 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.
54. 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.
55. Thomachot L, Viviand 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 hrs. *Intensive Care Med* 2002;28(2):147–153.
56. Ricard JD, Le Miere 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):104–109.
57. Thiery G, Boyer A, Pigne E, Salah A, De Lassence A, Dreyfuss D, Ricard JD. Heat and moisture exchangers in mechanically ventilated intensive care unit patients: a plea for an independent assessment of their performance. *Crit Care Med* 2003;31(3):699–704.
58. Johnson KL, Kearney PA, Johnson SB, Niblett JB, MacMillan NL, McClain RE. Closed versus open endotracheal suctioning: costs and physiologic consequences. *Crit Care Med* 1994;22(4):658–666.
59. Cereda M, Villa F, Colombo E, Greco G, Nacoti M, Pesenti A. Closed system endotracheal suctioning maintains lung volume during volume-controlled mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2001;27(4):648–654.
60. Maggiore SM, Lellouche F, Pigeot J, Taille S, Deye N, et al. Prevention of endotracheal suctioning-induced alveolar derecruitment in acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;167(9):1215–1224.
61. Cogley M, Atkins M, Jones PL. Environmental contamination during tracheal suction: a comparison of disposable conventional catheters with a multiple-use closed system device. *Anaesthesia* 1991;46(11):957–961.
62. Ritz R, Scott LR, Coyle MB, Pierson DJ. Contamination of a multiple-use suction catheter in a closed-circuit system compared to contamination of a disposable, single-use suction catheter. *Respir Care* 1986;31(11):1086–1091.
63. Freytag CC, Thies FL, Konig W, Welte T. Prolonged application of closed in-line suction catheters increases microbial colonization of the lower respiratory tract and bacterial growth on catheter surface. *Infection* 2003;31(1):31–37.
64. 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.
65. Deppe SA, Kelly JW, Thoi LL, Chudy JH, Longfield RN, Ducey JP et al. Incidence of colonization, nosocomial pneumonia, and mortality in critically ill patients using a Trach Care closed-suction system versus an open-suction system: prospective, randomized study. *Crit Care Med* 1990;18(12):1389–1393.
66. Combes P, Fauvage B, Oleyer C. Nosocomial pneumonia in mechanically ventilated patients, a prospective randomised evaluation of the Stericath closed suctioning system. *Intensive Care Med* 2000;26(7):878–882.
67. Stoller JK, Orens DK, Fatica C, Elliott M, Kester L, Woods J et al. Weekly versus daily changes of in-line suction catheters: impact on rates of ventilator-associated pneumonia and associated costs. *Respir Care* 2003;48(5):494–499.
68. Kollef MH, Prentice D, Shapiro SD, Fraser VJ, Silver P, Trovillion E et al. Mechanical ventilation with or without daily changes of in-line suction catheters. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;156(2 Pt1):466–472.
69. Craven DE, Lichtenberg DA, Goularte TA, Make BJ, McCabe WR. Contaminated medication nebulizers in mechanical ventilator circuits: source of bacterial aerosols. *Am J Med* 1984;77(5):834–838.
70. Weber DJ, Wilson MB, Rutala WA, Thomann CA. Manual ventilation bags as a source for bacterial colonization of intubated patients. *Am Rev Respir Dis* 1990;142(4):892–894.
71. Woo AH, Yu VL, Goetz A. Potential in-hospital modes of transmission of *Legionella pneumophila*.

Demonstration experiments for dissemination by showers, humidifiers, and rinsing of ventilation bag apparatus. *Am J Med* 1986;80(4):567–573.

72. Kollef MH, Von Harz B, Prentice D, Shapiro SD, Silver P, St John R, Trovillion E. Patient transport from intensive care increases the risk of developing ventilator-associated pneumonia. *Chest* 1997;112(3):765–773.

73. Zack JE, Garrison T, Trovillion E, Clinkscale D, Coopersmith CM, Fraser VJ, Kollef MH. Effect of an education program aimed at reducing the occurrence of ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med* 2002;30(11):2407–2412.