

## Efectos de la humidificación de gases sobre la mecánica ventilatoria: Estudio experimental

Claudia Hernández-Jiménez,\* ✉ J. Raúl Olmos-Zúñiga,\* Rogelio García-Torrentera,‡  
Rogelio Jasso-Victoria,\* Teresa Solís-Bravo,§ Mercedes Reyes-Reyes,§ Alín Arael Hernández-Quintana,\*  
Matilde Baltazares-Lipp,\* Lidia Saraí Sánchez-Arrozena\*

\*Departamento de Cirugía Experimental, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas (INER); ‡Servicio de Terapia Respiratoria, INER; §Departamento de Terapia Respiratoria, Médica Sur.  
Trabajo recibido: 24-V-2011; aceptado: 18-XI-2011

**RESUMEN. Introducción:** Los pacientes que son sometidos a ventilación mecánica (VM) pierden las funciones naturales de la vía aérea superior para el calentamiento y humidificación de los gases inspirados. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la humedad sobre la mecánica pulmonar (distensibilidad, capacidad residual funcional (FRC) y resistencia de las vías aéreas [RAW]) en un modelo experimental canino sometido a VM prolongada.

**Material y métodos:** Se realizó VM en 10 perros por 24 horas de la siguiente forma: Grupo I (n = 5): VM con administración de oxígeno seco. Grupo II (n = 5): VM con administración de oxígeno con cámara de humedad.

**Resultados:** La distensibilidad pulmonar disminuyó en mayor grado en el grupo II (ANDEVA p = NS). En ambos grupos existió disminución en la FRC (ANDEVA p = NS), pero fue menor en el grupo I. Las RAW se elevaron en ambos grupos, aunque el incremento fue menor en el grupo II (ANDEVA p = NS).

**Conclusiones:** No se presentaron diferencias significativas en la mecánica ventilatoria en el grupo con humedad del gas inhalado comparado con el grupo de gas seco.

**Palabras clave:** Ventilación mecánica, humidificación, mecánica ventilatoria.

**ABSTRACT. Introduction:** Natural warming and humidification of the inspired air tend to be decreased in mechanical ventilation (MV) patients. The goal of this work was to evaluate the effect of humidity on lung mechanics (compliance, functional residual capacity (FRC), and airway resistance (RAW) in a canine experimental model with long-term mechanical ventilation.

**Materials and methods:** Ten dogs were subjected to 24-hours mechanical ventilation as follows: Group I (n = 5): mechanical ventilation with dry air. Group II (n = 5): mechanical ventilation with air from a humidifier chamber.

**Results:** Lung compliance was found to decrease in a higher rate for Group I than for Group II (ANOVA p = NS), while FRC decreased in both groups (ANOVA p = NS), with a lower rate for Group I. RAW values increased in both groups, with a lower rate for Group II (ANOVA p = NS).

**Conclusions:** There were no significant differences in ventilatory mechanics with dry air compared to air from a humidifier chamber.

**Key words:** Mechanical ventilation, humidity of inspired gases.

### INTRODUCCIÓN

Los pacientes que son sometidos a ventilación mecánica (VM) pierden las funciones naturales de la vía aérea superior (VAS) de calentamiento y humidificación de los gases inspirados. Al ser ventilados con gases secos y fríos presentan una pérdida continua de humedad y calor que predispone a complicaciones serias de la vía aérea, tales como: alteraciones del transporte mucociliar, espesamiento de secreciones, taponamiento con moco de las vías aéreas, discinesia ciliar y descamación epitelial, lo cual conduce a hipotermia, hipoxemia y atelectasias.<sup>1-4</sup> Por lo tanto, durante la VM con intubación

traqueal, los gases inspirados deben ser humidificados y calentados para mantener la integridad y preservar la función mucociliar y mejorar el intercambio gaseoso.<sup>5-7</sup>

Existen diversos estudios donde se ha dado a conocer la importancia de utilizar una óptima humidificación durante la VM, así como también el daño que causa el gas seco a nivel celular; pero no hay estudios enfocados a valorar el efecto de la humidificación sobre la mecánica pulmonar.<sup>2</sup>

El presente trabajo evalúa el efecto de la humedad sobre la mecánica pulmonar (capacidad residual funcional, distensibilidad y resistencia de las vías aéreas [RAW]) en un modelo experimental canino sometido a VM.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/neumologia>

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Animales de experimentación

Se utilizaron 10 perros mestizos sanos, adultos, sin importar el sexo, con un peso entre 15 y 20 kg. Todos los animales fueron tratados de acuerdo con las Especificaciones Técnicas para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999<sup>8</sup> y Guide for the Care and Use of Laboratory Animals de Estados Unidos.<sup>9</sup>

### Grupos de estudio

Los animales fueron divididos en dos grupos de estudio y ventilados durante 24 horas.

Grupo I (n = 5): administración de oxígeno seco.

Grupo II (n = 5): administración de oxígeno con cámara de humedad.

## MODELO EXPERIMENTAL

### Animales de experimentación

Todos los animales fueron sometidos a un ayuno por 12 horas. Posteriormente, tras la cateterización de una vena periférica mediante un angiocatéter, se les realizó inducción anestésica consistente en propofol (*Diprivan, Milán Italia*) 6 mg/kg IV. A continuación, los animales fueron colocados sobre la mesa de cirugía en posición decúbito dorsal e intubados con una sonda endotraqueal (*Baxter, California, USA*), conectada a un ventilador Engstrom Carestation General Electric (Madison, WI 53707-7550, EUA) en modalidad ventilatoria: Ventilación controlada por presión con volumen garantizado (VCP-VG), el cual tenía adaptado un vaporizador para isoflurano (*Isotec 3 Ohmeda*) (Laboratorios PISA, Guadalajara, Jalisco, México), la anestesia de los animales se mantuvo durante 24 horas. Durante todo el procedimiento quirúrgico, se utilizó una concentración de 1.5% del gas anestésico. Los signos vitales fueron vigilados con un monitor para electrocardiografía (Datascopie Passport). Además, recibieron un aporte de líquidos intravenosos a razón de 10 mL/kg/h de solución Hartman (Laboratorios PISA S.A. de C.V. Guadalajara, Jalisco, México).

Para el grupo II se utilizó un humidificador o cámara de humedad MR850 (Fisher and Paykel Panmure, Auckland, New Zeland), a una temperatura de 37 °C. En los dos grupos, las secreciones de la vía aérea se aspiraron cuando fue considerado necesario. Se utilizó  $FiO_2$  0.3 y en otras ocasiones, la necesaria para conseguir una saturación de oxígeno > 90%; cuando fue superior a 0.3, se intentó regresar a estas cifras lo antes posible, siempre

que la condición del animal lo permitiera. La PEEP se mantuvo durante la ventilación 4 cm de  $H_2O$ . El volumen corriente fue de 10 mL/kg y la presión parcial arterial de dióxido de carbono ( $PaCO_2$ ) entre 40-50 mmHg.

## EVALUACIÓN

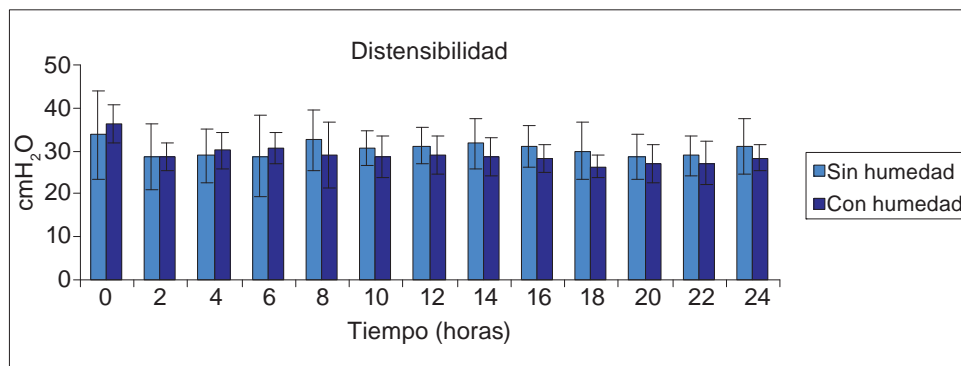
### Mecánica ventilatoria

El protocolo de medición de los parámetros de distensibilidad y RAW fue cada dos horas; la FRC se determinó al inicio del estudio a las 12 y 24 horas. Después de la última determinación se realizó la eutanasia de los animales con sobredosis de pentobarbital sódico (Anestosal, Pfizer S.A. de C.V. México), Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999.

El cálculo de FRC estuvo basado en el método de nitrógeno eliminado mediante un cambio de paso en la concentración de oxígeno/aire suministrado a los animales por el ventilador. El valor de FRC fue calculado a través del uso de un sensor D-lite y un módulo de vías respiratorias con capacidades de gasto energético (E-COVX, E-CAiOVX, M-COVX, M-CAiOVX). Un procedimiento de FRC realiza dos mediciones. Cuando se inicia el procedimiento, el sistema captura una línea de base de concentración de  $N_2$  y después, cambia el ajuste  $O_2$  al ajuste  $O_2$  FRC. Luego de unas cuantas respiraciones, inicia el trazado de una curva en la gráfica. Una medición requiere aproximadamente 20 respiraciones. Tras finalizar la primera medición, se muestra el valor de FRC, se captura la concentración de  $N_2$  y el  $O_2$  vuelve a cambiar al ajuste  $O_2$  original. Se



Figura 1. Fotografía tomada de la pantalla del ventilador Engstrom Carestation que muestra una gráfica de volumen-tiempo, en la que se observa el trazo de la medición de la FRC.



**Figura 2.** Muestra de los promedios  $\pm$  DE. Representación de la evolución de la distensibilidad pulmonar durante el período de estudio (24 horas) en ambos grupos;  $p = \text{NS ANDEVA}$ . En las comparaciones por pares en el grupo I: la medición basal con la hora 4, 6, 8, 14 y 16; la hora 6 con la 20 y la 4 con la 24; para el grupo II, la hora 4 con 24 (ANDEVA MR  $p > 0.05$ ).

inicia la siguiente medición. Después de unas cuantas respiraciones, inicia el trazado de la segunda curva en la gráfica. Cuando finaliza la segunda medición, aparece el segundo valor de FRC. Las dos mediciones fueron promediadas (figura 1).

#### Análisis estadístico

Los datos fueron expresados como media  $\pm$  desviación estándar. El análisis de la varianza fue utilizado para analizar el nivel de significación, tanto entre los grupos (ANDEVA GML) como entre los diferentes tiempos de medida (ANDEVA con medidas repetidas MR). El análisis estadístico fue a través del programa estadístico SPSS versión 15.0 (SPSS Inc. Chicago, Illinois). Se consideró estadísticamente significativo un valor de  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS

Todos los animales sobrevivieron al tiempo de estudio, y sus constantes fisiológicas se mantuvieron durante todo el período dentro de parámetros de referencia.

#### Capacidad residual funcional

La FRC presentó disminución en ambos grupos de estudio a partir de las 12 horas *post* VM; pero en el grupo I, la disminución fue del 50% comparada con su basal; mientras que para el grupo II, sólo fue del 26%, aunque no hubo cambios significativos entre grupos, ni entre tiempos en ambos grupos.

#### Distensibilidad pulmonar

Ambos grupos de estudio presentaron disminución en la distensibilidad pulmonar a partir de las 2 horas *post* VM, manteniendo esta tendencia hasta el final del estudio; pero no hubo datos estadísticamente significativos entre grupos (ANDEVA GML  $p = \text{NS}$ ). Aunque en el grupo I, sí

hubo significación estadística en las comparaciones por pares de la medición basal con la hora 4, 6, 8, 14 y 16; la hora 6 con la hora 20 y la hora 4 con la 24 y para el grupo II, la hora 4 con 24 (ANDEVA MR  $p > 0.05$ ) (figura 2).

#### Resistencia de la vía aérea

En ambos grupos hubo incremento entre 2-3 cm H<sub>2</sub>O, en comparación con sus valores basales a partir de las 2 horas de haber iniciado la VM.

El grupo I presentó incremento en la resistencia a partir de las 2 horas *post* VM, conservando esta directriz hacia el final del estudio, presentando el valor más alto a las 14 y 22 horas. El grupo II, también presentó incremento a partir de las 2 horas *post* VM, alcanzando su nivel más alto a las 4 horas *post* VM; sin embargo, retornó a valores basales a partir de las 10 horas *post* ventilación, permaneciendo así hasta las 18 horas, incrementando nuevamente a partir de las 20 horas y persistiendo igual hasta el final. No hubo significancia entre grupos (ANDEVA GML  $p = \text{NS}$ ), ni en comparaciones por pares en ningún grupo (ANDEVA MR  $p = \text{NS}$ ).

## DISCUSIÓN

En el presente trabajo fueron estudiados los efectos de humedad en los gases inspirados sobre los cambios en la mecánica ventilatoria (FRC, distensibilidad y RAW), en un modelo canino sometido a VM durante 24 horas. La FRC refleja la cantidad de aire presente en los pulmones al final de una espiración normal, y se utiliza como un indicador del estado de reclutamiento y desreclutamiento causado por las manipulaciones de PEEP. Usualmente, las mediciones de la FRC no son realizadas a la cabecera del paciente por limitaciones técnicas; sin embargo, se dispone de un *software* específico incluido en ventiladores para cuidados intensivos.

Este estudio es el primero en utilizar el ventilador Engstrom Carestation General Electric (Madison, WI

53707-7550, EUA), tomando en cuenta la utilización de la cámara de humedad para realizar mediciones de FRC en un modelo animal. Este método ha sido previamente validado por Olegard *et ál.*,<sup>10</sup> quienes demostraron que con el método de nitrógeno eliminado mediante un cambio de paso en la concentración de oxígeno/aire, las mediciones son obtenidas con alta precisión. En este trabajo, en ambos grupos, se observó disminución de la FRC, siendo más evidente en el grupo de ventilación con gases secos en comparación con los pulmones de los animales que sí recibieron humidificación, sugiriendo que posiblemente en los dos grupos se produce un colapso pulmonar, el cual ocurre de manera más temprana en los perros sin humedad.

La disminución de la distensibilidad en el grupo I, concuerda con lo descrito por Fonkalsrud,<sup>1</sup> Marfatia,<sup>11</sup> y Rashad *et ál.*,<sup>12</sup> quienes estudiaron el efecto de la VM con y sin humidificación en conejos y perros, respectivamente, y observaron que la distensibilidad disminuye cuando se administra gas seco; al igual que Sothiaux,<sup>13</sup> quien también demostró cambios en la distensibilidad, resistencia y FRC, por uso de gas seco y sobrehumidificado.

En el perro existen peculiaridades en la manera de difundir el calor, que lo diferencian del hombre. El perro prácticamente no posee glándulas sudoríparas; suda y elimina el calor, sobre todo, a través del aparato respiratorio, la eliminación de calor en el perro se realiza por evaporación mediante el jadeo. Al someter al animal a anestesia general y someterlo a VM invasiva, esta capacidad se pierde, limitando la adecuada evaporación de la humedad, lo que provoca incremento en la humedad relativa de la VAS.

La disminución en la distensibilidad del grupo II, pudo ser originada por esta razón, ya que el exceso de humedad en el parénquima pulmonar al ocupar un espacio provoca la dilución del factor surfactante y disminuye la tensión superficial induciendo colapso alveolar y, por consiguiente, disminución en la distensibilidad.

Por otra parte, Froese *et ál.*,<sup>14</sup> demostraron que los efectos del gas anestésico y la posición del paciente (supina) producen cambios en la distensibilidad pulmonar, debido a que el diafragma puede desplazarse y ocupar más espacio en la cavidad torácica y afectar la expansión pulmonar. Esto coincide con la posición que mantuvieron los animales en este estudio.

En la actualidad, la administración prolongada de gases secos ocasiona pérdida de agua y temperatura necesaria para acondicionar el aire que llega a los alveolos. En perros, la falta de humedad provoca deshidratación del tracto respiratorio, disminución en la producción e incremento en la viscosidad del moco y, por consiguiente, la obstrucción total o parcial de la vía aérea, llegando a provocar cambios en el tipo de flujo

aéreo y atelectasias, que incrementan la resistencia de la vía aérea. El incremento en RAW observada en el grupo I, coincide con lo descrito por Cohen *et ál.*,<sup>15</sup> quienes señalaron que la aplicación de gases secos y fríos pueden producir lesiones del tracto respiratorio que afectan la movilidad del epitelio traqueobronquial y de las secreciones, lo mismo que llega a producir obstrucción de la vía aérea, predisponiendo al incremento en la RAW; igual que Tabka *et ál.*,<sup>16</sup> quienes al estudiar los efectos del aire frío en niños sanos al exponerse a temperaturas frías y ambientes secos, demostraron que al realizar ejercicio sufren de broncoconstricción.

El incremento de la RAW en el grupo II, pudo estar originado por el aumento de la viscosidad del moco por sobrehumidificación y, por tal motivo, afectar la función ciliar, produciendo obstrucción de la vía aérea y con ello aumento en la resistencia.<sup>17</sup>

## CONCLUSIÓN

No se presentaron diferencias significativas en el grupo con humedad del gas inhalado, comparado con el grupo de los gases secos en la FRC y resistencias.

## REFERENCIAS

1. Fonkalsrud EW, Sánchez M, Higashijima I, Arima E. *A comparative study of the effects of dry vs. humidified ventilation on canine lungs.* Surgery 1975;78:373-380.
2. Goldsmith A, Shannon A. *Humidification devices.* Anaesthesia & Intensive Care Med 2009;10:465-467.
3. Branson RD, Chatburn RL. *Humidification of inspired gases during mechanical ventilation.* Respir Care 1993;38:461-468.
4. Gorayb SB, Braz JR, Martins RH, Módolo NS, Nakamura G. *Inhaled gases humidification and heating during artificial ventilation with low flow and minimal fresh gases flow.* Rev Bras Anestesiología 2004;54:20-36.
5. Mercke U. *The influence of varying air humidity on mucociliary activity.* Acta Otolaryngol 1975;79:133-139.
6. Dorsch JA, Dorsch SE. *Anesthesia ventilators.* In: Dorsch JA, Dorsch SE, editors. *Understanding anesthesia equipment.* The Circle System. 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1999:309-353.
7. Woodson GE, Robbins KT. *Nasal obstruction and pulmonary function: the role of humidification.* Otolaryngol Head Neck Surg 1985;93:505-511.
8. Estados Unidos Mexicanos. AFIA. *Especificaciones Técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999.* Diario Oficial de la Federación, 6 diciembre 1999.
9. National Institutes of Health USA. *Guía para el cuidado y uso de los animales de laboratorio.* Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health USA. Edición Mexicana Auspiciada por la Academia Nacional de Medicina. México, D.F. 2002.



10. Olegard C, Söndergaard S, Houltz E, Lundin S, Stenqvist O. *Estimation of functional residual capacity at the bedside using standard monitoring equipment: a modified nitrogen washout/washin technique requiring a small change of the inspired oxygen fraction.* *Anesth Analg* 2005;101:206-212.
11. Marfatia S, Donahoe PK, Hendren WH. *Effect of dry and humidified gases on the respiratory epithelium in rabbits.* *J Pediatr Surg* 1975;10:583-592.
12. Rashad K, Wilson K, Hurt HH Jr, et ál. *Effect of humidification of anesthetic gases on static compliance.* *Anesth Analg* 1967;46:127-133.
13. Sottiaux TM. *Consequences of under and over-humidification.* *Respir Care Clin N Am* 2006;12:233-252.
14. Froese AB, Bryan AC. *Effects of anesthesia and paralysis on diaphragmatic mechanics in man.* *Anesthesiology* 1974;41:242-255.
15. 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;16:277-279.
16. Tabka Z, Ben JA, Vergeret J, Guenard H. *Effect of dry warm air on respiratory water loss in children with exercise-induced asthma.* *Chest* 1988;94:81-86.
17. Modell JH, Giammona ST, Davis JH. *Effect of chronic exposure to ultrasonic aerosols in the lung.* *Anesthesiology* 1967;28:680-688.

✉ **Correspondencia:**

Dra. Claudia Hernández Jiménez,  
Departamento de Cirugía Experimental,  
Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias  
Ismael Cosío Villegas.  
Calzada de Tlalpan 4502, colonia Sección XVI.  
México, D.F., 14080  
Teléfono 54 87 17 00 extensión 5180  
Correo electrónico: claudia\_herjim@yahoo.com

Los autores declaran no tener conflictos de interés