

# Efecto del helio sobre los parámetros de los respiradores en ventilación mecánica: estudio *in vitro* con el respirador Servoi

J. López-Herce Cid<sup>a</sup>, J. Urbano Villaescusa<sup>a</sup>, E. Cidoncha Escobar<sup>a</sup>, J. del Castillo Peral<sup>a</sup>, M.<sup>a</sup>J. Santiago Lozano<sup>a</sup>, S. Mencía Bartolomé<sup>a</sup> y J.M.<sup>a</sup> Bellón Cano<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Sección de Cuidados Intensivos Pediátricos. <sup>b</sup>Servicio de Medicina Preventiva y Gestión de Calidad. Hospital General Universitario Gregorio Marañón. Madrid. España.

## Objetivo

Analizar las modificaciones de los parámetros en el respirador Servoi con distintas concentraciones de heliox.

## Material y métodos

Estudio experimental en el que se utilizó un respirador Servoi (Maquet) en modalidades de volumen control (VC), presión control (PC) y volumen controlado regulado por presión (VCRP) conectado a un pulmón de artificial. El heliox se administró mediante una bombona con el 70 % de helio y el 30 % de oxígeno conectada a la entrada de aire del respirador. Se programó el respirador en VC con volúmenes corrientes de 30, 50, 100, 250 y 500 ml, en PC con presión de 20 y 30 cmH<sub>2</sub>O, y en VCRP con volumen corriente de 150 ml. En cada modalidad se programó una FiO<sub>2</sub> de 21, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 % y se comparó el volumen corriente inspirado, el espirado y la presión inspiratoria pico medidas por el respirador y por un espirómetro colocado entre la tubuladura y el pulmón de prueba y conectado a un monitor Datex\_S5.

## Resultados

En modalidad de VC y VCRP el aumento de la concentración de helio produjo una disminución progresiva del pico de presión necesario para administrar el volumen programado y una disminución en el volumen corriente medido por el espirómetro y el volumen espirado medido por el respirador. En modalidad de PC el heliox produjo un aumento progresivo del volumen corriente inspirado con incremento en las diferencias entre el volumen corriente inspirado y el espirado.

## Conclusiones

La administración de heliox en el respirador Servoi produce una disminución de las presiones inspiratorias en las modalidades de VC y VCRP y un aumento del volumen co-

rriente inspirado en la modalidad de PC. En todas las modalidades produce una falsa disminución en el volumen corriente espirado medido por el respirador y el espirómetro. Es necesario tener en cuenta estas alteraciones si se utiliza heliox con este respirador.

## Palabras clave:

*Heliox. Helio. Ventilación mecánica. Cuidados intensivos. Niños.*

## THE EFFECT OF HELIUM ON VENTILATOR PARAMETERS: IN VITRO STUDY WITH A SERVOI VENTILATOR

### Objective

To analyze the changes in respiratory parameters in a Servoi ventilator with heliox.

### Material and methods

In vitro study with a Servoi (Maquet) ventilator in volume controlled (VC), pressure controlled (PC) and volume control regulated by pressure (VCRP) modes connected to an artificial lung. A heliox tank with a fixed concentration of helium 70 % and oxygen 30 % was connected to the air inlet of the ventilator.

The ventilator was set in VC mode with tidal volumes of 30, 50, 100, 250 and 500 ml; in PC mode with pressure of 20 and 30 cmH<sub>2</sub>O and in VCRP mode with tidal volume of 150 ml. In each case FiO<sub>2</sub> of 21, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 100 % was used. The FiO<sub>2</sub>, inspired and expired tidal volume and inspiratory pressure measured by the ventilator and a pitot spirometer (Datex\_S5) were compared.

### Results

In VC and VCRP modes the increase in helium produced a progressive decrease in the pressure needed to adminis-

**Correspondencia:** Dr. J. López-Herce Cid.  
Sección de Cuidados Intensivos Pediátricos.  
Hospital General Universitario Gregorio Marañón.  
Dr. Castelo 47. 28009 Madrid. España.  
Correo electrónico: pielvi@ya.com

Recibido en junio de 2007.

Aceptado para su publicación en diciembre de 2007.

trate the set volume. Heliox also produced a decrease in the tidal volume measured by the spirometer and the tidal expired volume measured by the respirator. In PC mode, heliox produced a progressive increase in the inspired tidal volume, increasing the differences between inspired and expired tidal volumes.

### Conclusions

Heliox used with Servoi ventilator produces a decrease in inspiratory pressures in VC and VCPR modes, and an increase in inspiratory tidal volume in PC mode. In all modes heliox reduced the expired tidal volume measured by the ventilator and the spirometer. These changes should be borne in mind if heliox is used with this ventilator.

### Key words:

*Heliox. Helium. Mechanical ventilation. Intensive care. Children.*

## INTRODUCCIÓN

El helio es un gas con una densidad siete veces menor que el nitrógeno, que favorece el flujo laminar y disminuye la resistencia de las vías aéreas<sup>1,2</sup>. El helio mezclado con oxígeno (hélio) se está utilizando desde hace más de 70 años en la práctica clínica en pacientes con insuficiencia respiratoria secundaria a obstrucción alta o baja de la vía aérea<sup>3-9</sup>. Aunque el hélio puede administrarse tanto en respiración espontánea como en ventilación mecánica y ventilación de alta frecuencia<sup>9-12</sup>, la mayoría de los estudios se han realizado con pacientes en respiración espontánea<sup>3-9</sup>.

Los respiradores están calibrados para funcionar con aire y oxígeno. Como el helio tiene diferente densidad que el aire, cuando se usa en ventilación mecánica se pueden alterar los volúmenes y presiones administrados y medidos por el respirador. El efecto de la sustitución del aire por helio varía según el tipo de respirador utilizado, ya que el sistema de mezcla de aire, la administración del flujo y la medición de los volúmenes son muy diferentes de un respirador a otro. Por eso, es importante conocer los efectos específicos del helio sobre cada uno de los respiradores<sup>13-17</sup>.

Aunque algunos trabajos han estudiado los efectos del helio sobre el funcionamiento de varios respiradores<sup>13-17</sup>, sólo uno ha analizado su efecto en el respirador Servoi<sup>17</sup>, que es uno de los más empleados actualmente, y lo ha hecho utilizando parámetros de adultos. El objetivo de nuestro estudio ha sido analizar las variaciones producidas al añadir distintas concentraciones de helio sobre la FiO<sub>2</sub>, y los volúmenes y presiones medidos por el respirador Servoi, utilizando distintas modalidades y parámetros pediátricos y compararlos con los medidos por un espirómetro colocado en la vía respiratoria.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizó un respirador Servoi (Maquet) conectado a un pulmón de artificial (pulmón de ensayo, Test Lung 190,

Maquet) mediante una tubuladura pediátrica de 15 mm de diámetro (Intersurgical). Entre la tubuladura y el pulmón artificial se colocó un espirómetro conectado a un monitor Datex\_S5 (fig. 1). Este espirómetro utiliza el principio de Pitot. El espirómetro mide la presión continuamente antes y después de un estrechamiento que crea resistencia al flujo e induce un flujo turbulento. En la inspiración el flujo turbulento permite utilizar el principio de Bernoulli para medir el volumen corriente, mientras que en la espiración el flujo es laminar y se utiliza la ley de Poiseuille<sup>16</sup>. El monitor también mide la FiO<sub>2</sub> mediante un oxímetro paramagnético.

Se administró una mezcla de helio y oxígeno (hélio) mediante una bombona que contenía el 70% de helio y el 30% de oxígeno (Praxair®) conectada a la entrada de aire del respirador. La entrada de oxígeno se conectó a la fuente oxígeno central del hospital.

El respirador se programó en tres modalidades: modalidad de volumen control (VC) con volúmenes corrientes de 30, 50, 100, 250 y 500 ml; modalidad de presión control (PC) con presiones de 20 y 30 cmH<sub>2</sub>O, y modalidad de volumen controlado regulado por presión (VCRP) con volumen corriente de 150 ml. En cada modalidad y con cada volumen y presión se programaron concentraciones de oxígeno (FiO<sub>2</sub>) de 21, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100%.

En cada caso se comparó la FiO<sub>2</sub> programada (FiO<sub>2</sub>P) con la teórica (FiO<sub>2</sub>T) (cálculo de la mezcla de oxígeno con hélio), y la FiO<sub>2</sub> medida por el respirador (FiO<sub>2</sub>R) y el espirómetro (FiO<sub>2</sub>E). También se comparó el volumen corriente inspirado (VCI), el espirado (VCE) y la presión inspiratoria pico medidas por el respirador y por el espirómetro. Para asegurar la fiabilidad de las medidas todas se repitieron en dos ocasiones diferentes dejando un intervalo de al menos 5 min de estabilización con cada medida.

Se realizó estudio estadístico de los resultados con el programa SPSS versión 12.0. La comparación entre las distintas medidas se realizó mediante las pruebas de chi al cuadrado y la de Wilcoxon según las medidas siguieran o no una distribución normal.

## RESULTADOS

### Influencia de la administración de hélio sobre la medición de la FiO<sub>2</sub>

El respirador administra la mezcla de gases programada mezclando aire (FiO<sub>2</sub>, 21%) y oxígeno (FiO<sub>2</sub>, 100%). Al sustituir el aire por hélio (FiO<sub>2</sub>, 30%) se produce una diferencia entre la FiO<sub>2</sub> programada en el respirador con la FiO<sub>2</sub> administrada. Si se administra FiO<sub>2</sub> del 100% la FiO<sub>2</sub> programada coincidirá con la real, pero si se disminuye la FiO<sub>2</sub> y, por tanto, aumenta la concentración de hélio se producirán FiO<sub>2</sub> diferentes de las programadas. Al llegar a una FiO<sub>2</sub> del 21% en realidad se está progra-

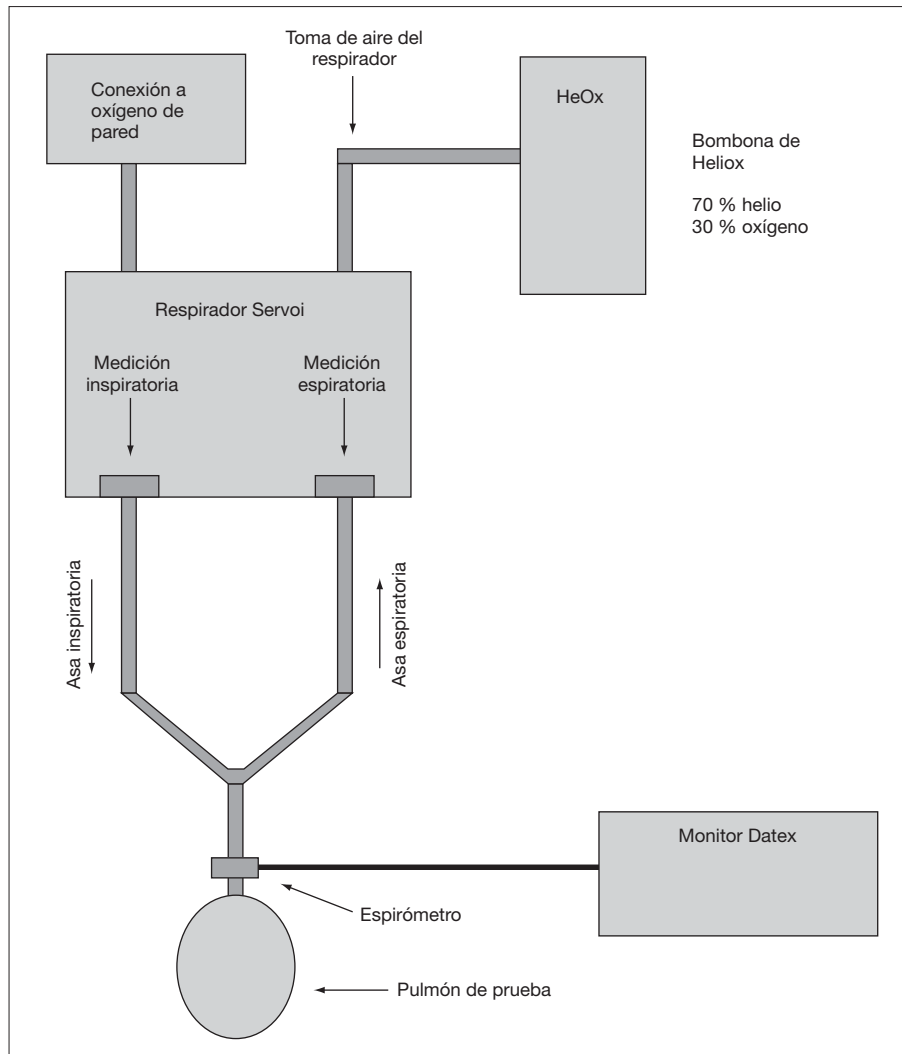


Figura 1. Esquema del sistema utilizado.

TABLA 1. Comparación entre la FiO<sub>2</sub> teórica administrada, la medida por el respirador Servoi y la medida por el espirómetro del monitor Datex

FiO <sub>2</sub> programada		FiO <sub>2</sub> teórica		FiO <sub>2</sub> medida por el respirador		FiO <sub>2</sub> medida por el monitor Datex	
Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
100	0	100	0	100	0	100	0
90	0	91	0	93,1	0,8	92,5	0,5
80	0	82,2	0	85,2	0,7	84,5	0,5
70	0	73,4	0	77,1	0,8	75,7	0,4
60	0	64,5	0	68,3	0,9	66,1	0,3
50	0	55,7	0	60	0,7	57,2	0,4
40	0	46,8	0	50,2	1	47,3	0,5
30	0	38	0	40,7	0,7	38	0,5
21	0	30	0	31	0	29,1	0,3

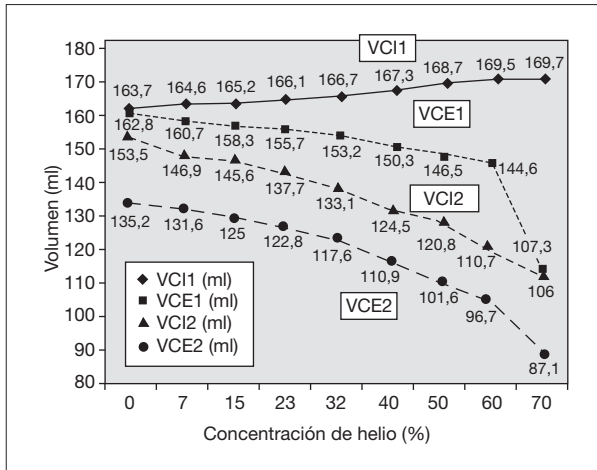
Número de medidas: 72.

No existieron diferencias significativas entre la FiO<sub>2</sub> teórica administrada (cálculo de la mezcla de oxígeno + heliox), la FiO<sub>2</sub> medida por el respirador y la medida por el monitor Datex con ninguna de las FiO<sub>2</sub> utilizadas.

mando una FiO<sub>2</sub> del 30%, que es la concentración del oxígeno en la bombona de heliox (tabla 1). El respirador, además de administrar la mezcla programada, mide la FiO<sub>2</sub> administrada mediante un oxímetro. La FiO<sub>2</sub> administrada también fue medida por el oxímetro del monitor Datex\_S5. En el estudio se calculó la FiO<sub>2</sub> teórica administrada (mezcla de oxígeno + heliox) y se comparó con la FiO<sub>2</sub> medida por el respirador Servoi y con el monitor Datex para valorar si la utilización de heliox en vez de aire alteraba estas mediciones. Con ninguna de las concentraciones de heliox se observó una diferencia significativa entre la FiO<sub>2</sub> teórica administrada y la medida por el respirador y el monitor Datex (tabla 1).

### Influencia de la administración de heliox sobre la medición de los volúmenes

a) Modalidades programadas por volumen: VC y VCRP. Cuando se comparó el volumen corriente inspirado y el espirado medidos por el respirador se observó que al ir aumentando la concentración de heliox, el volumen co-



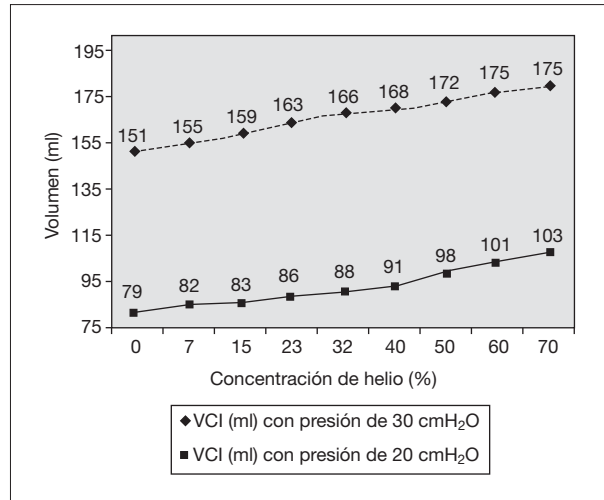
**Figura 2.** Volumen corriente inspirado (VCI1) y espirado (VCE1) medidos por el respirador y por el monitor Datex (VCI2, VCE2). Evolución con las diferentes concentraciones de helio. Al aumentar la concentración de helio se produce una mayor diferencia entre el volumen corriente inspirado y espirado. Las diferencias entre los volúmenes inspirados y espirados fueron estadísticamente significativas. VCI1-VCE1:  $p = 0,012$ ; VCI1-VCI2:  $p = 0,012$ ; VCI1-VCE2:  $p = 0,043$ ; VCE1-VCE2:  $p = 0,025$ ; VCI2-VCE1:  $p = 0,866$ .

riente espirado fue disminuyendo progresivamente, con diferencias significativas con todas las concentraciones de helio (fig. 2). El espirómetro del monitor Datex midió volúmenes significativamente menores que el respirador. Se encontraron diferencias significativas tanto al analizar todas las medidas conjuntamente (fig. 2) como al estudiar cada uno de los volúmenes corrientes por separado. Las diferencias fueron mayores cuanto mayor era la concentración de helio y el volumen corriente programado. Las diferencias se observaron con todos los volúmenes corrientes utilizados (datos no mostrados). No se encontró ninguna fórmula para poder predecir el cambio del volumen corriente espirado con relación al volumen corriente programado y la concentración de helio utilizada.

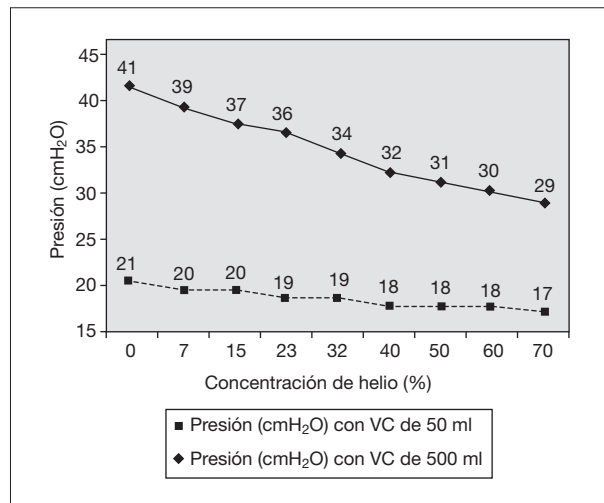
b) Modalidad de presión controlada. En esta modalidad no existieron diferencias entre la presión programada y la medida por el respirador. Manteniendo una presión programada constante el volumen corriente medido por el respirador y el monitor Datex fue aumentando progresivamente al aumentar la concentración de helio (fig. 3).

### Influencia del helio sobre la medición de las presiones

En las modalidades de VC y VCRP, manteniendo el mismo volumen corriente programado la presión inspiratoria necesaria para introducir este volumen fue disminuyendo al



**Figura 3.** Evolución del volumen corriente inspirado (VCI) en modalidad de presión controlada con picos de 20 y 30 cmH<sub>2</sub>O. Al ir aumentando la concentración de helio, el volumen corriente aumenta progresivamente.

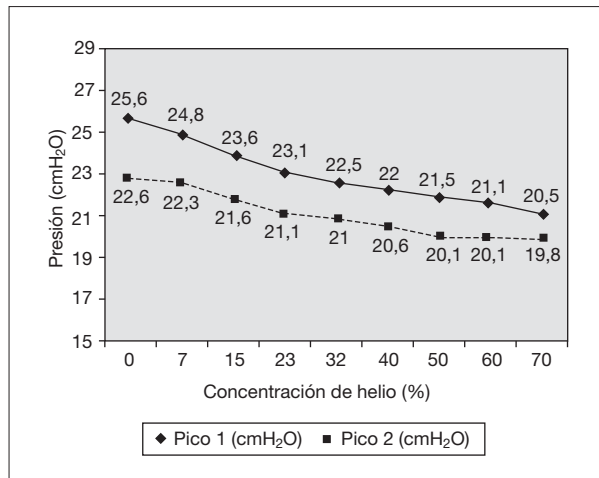


**Figura 4.** Evolución de los picos de presión del respirador con un volumen corriente de 50 ml y 500 ml con relación a la concentración de helio. Al ir aumentando la concentración de helio se produce una disminución progresiva del pico de presión.

ir aumentando la concentración de helio. Esto ocurrió con cada uno de los volúmenes corrientes programados. La disminución de la presión fue mayor cuanto mayor era el volumen corriente programado (fig. 4). No existieron diferencias significativas entre la presión medida por el respirador y la medida por el espirómetro del monitor Datex (fig. 5).

### DISCUSIÓN

El helio se ha utilizado en pacientes sometidos a ventilación mecánica debido a que disminuye la resistencia a



**Figura 5.** Evolución de los picos de presión en el respirador (pico 1) y en el espirómetro del monitor Datex (pico 2) en las modalidades de volumen controlado y volumen controlado regulado por presión. Las presiones disminuyen progresivamente al ir aumentando la concentración de helio. VCE: volumen corriente espirado; VCI: volumen corriente inspirado.

la entrada de aire y, por tanto, permite administrar un mayor flujo con la misma presión<sup>11,13</sup>. En pacientes sometidos a ventilación mecánica la indicación fundamental son los pacientes que presentan obstrucción de la vía aérea baja<sup>4,5,11,13</sup>.

Cuatro estudios han analizado los efectos del helio sobre el funcionamiento de los respiradores<sup>13-17</sup>. Tassaux et al<sup>14</sup> analizaron el efecto de una mezcla helioX 78:22 sobre el funcionamiento de siete respiradores; Veolar y Galileo (Hamilton), Evita 2 y 4 (Dräger), Servo 900C y Servo 300 (Siemens) y Puritan Bennet 7200.

La FiO<sub>2</sub> varió el 5% o menos con todos los respiradores excepto en el Puritan Bennet en que fue superior. El volumen administrado fue mayor que el programado en todos los respiradores excepto en el Puritan Bennet, que fue menor, y en el servo 300, en el que no existieron diferencias entre el volumen programado y el administrado. En modalidad de presión controlada, el volumen administrado se mantuvo constante en todos los respiradores excepto en el Puritan Bennet, en el que no midió bien en esta modalidad<sup>14</sup>.

Berkenbosch et al<sup>15</sup> analizaron el funcionamiento del Bird VIP, Bird VIP gold, Servo 900C y Servo 300. Estos autores encontraron que el consumo de helioX fue mayor en modalidad de presión que en volumen debido al mayor flujo de aire que se utiliza en modalidades de presión. El Servo300 fue el respirador que consumió menos helio y en el que la FiO<sub>2</sub> y el volumen corriente administrados fueron más parecidos a los programados.

Oppenheim-Eden et al<sup>16</sup> estudiaron cinco respiradores (Servo 900, Servo 300, Puritan Bennet 7200, Evita 4 y Bear

1000) programados en modalidad de volumen y utilizaron el mismo espirómetro Datex que en nuestro estudio. El volumen corriente inspirado en el servo 300 fue independiente de la concentración de helioX administrada, mientras que en el Servo 900, Evita y Bear 1000 el volumen corriente administrado aumentó progresivamente al incrementarse la concentración de helioX. El respirador Puritan Bennet 7200 no funcionó bien con helioX.

Estos autores encontraron que el espirómetro Datex infraestimaba el VC administrado, pero que el VC verdadero podía ser estimado con fiabilidad a partir de la densidad relativa del aire y el helioX, aplicando una fórmula ( $VC_{real} = 1,06 \times VC_{inspirado} + 7,6$ )<sup>16</sup>. En nuestro estudio, al igual que lo encontrado por estos autores, el volumen corriente medido por el espirómetro infraestimó el volumen corriente administrado por el respirador. Sin embargo, la fórmula propuesta por estos autores para calcular el volumen corriente verdadero no funcionó en nuestro modelo pediátrico (datos no mostrados). Por tanto, no recomendamos utilizar el espirómetro de Datex para calcular el volumen corriente cuando se administra helioX en ventilación mecánica en niños.

Por último, Brown y Wilms<sup>17</sup> estudiaron el funcionamiento del Inspiration y el Servoi en modalidades de VC con volúmenes corrientes de 500, 750 y 1.000 ml y en presión controlada con presiones de 15, 20 y 30 cmH<sub>2</sub>O. Con el Servoi el volumen corriente administrado fue ligeramente menor que el programado, y esta diferencia se mantuvo constante con todas las concentraciones de helioX. Sin embargo, el volumen corriente espirado fue significativamente más bajo que el inspirado y el programado y la diferencia aumentó al incrementarse la concentración de helioX. Con una concentración de helio del 70% el volumen corriente espirado fue el 37,6% menor que el inspirado y la alarma de volumen minuto bajo se disparó continuamente. Al utilizar helio en presión controlada la presión medida varió 1 cmH<sub>2</sub>O con respecto a la programada. La medición de la FiO<sub>2</sub> se mantuvo estable<sup>17</sup>.

Estos resultados coinciden con los encontrados en nuestro estudio. En modalidades de volumen el respirador Servoi administra el volumen corriente y la FiO<sub>2</sub> programados. Esto se explica porque en el respirador Servoi los módulos de aire y oxígeno tienen sensores de temperatura y presión independientes y no tiene una cámara de mezcla. En la inspiración el aumento de flujo producido por el helio, ya que tiene menor densidad, produce un aumento de presión en el sensor inspiratorio haciendo que termine la entrada de aire y, por tanto, evitando que el volumen sea mayor que el programado. Por el contrario, en la salida espiratoria este respirador tiene un transductor ultrasónico calibrado para la densidad del aire. Al añadir helio y cambiar la densidad de la mezcla, el sensor espiratorio funciona mal midiendo volúmenes inferiores a los administrados y, a elevadas concentraciones de helio, puede dar alarma continua de volumen minuto bajo<sup>17</sup>.

Por tanto, el respirador Servoi puede utilizarse con heliox con relativa seguridad ya que no administrará un volumen corriente ni una  $FiO_2$  significativamente diferente de la programada. Esto disminuye el riesgo de volutrauma que puede ocurrir con otros respiradores. Sin embargo, el mal funcionamiento del sensor espiratorio puede hacer saltar continuamente las alarmas de volumen minuto bajo y reduce la monitorización, con la posibilidad de no detectar la hipoventilación del paciente o las fugas en el circuito. Aunque lo ideal es calibrar el respirador a la mezcla de gases utilizada, eso no es posible en la práctica clínica. Para monitorizar mejor al paciente deberían utilizarse espirómetros en la vía aérea que midan con fiabilidad la  $FiO_2$  y el volumen con diferentes tipos de gases. El espirómetro Datex utilizado en nuestro estudio sirve para medir la concentración de  $FiO_2$  administrada, pero no es útil para medir el volumen corriente cuando se administra heliox en ventilación mecánica.

Concluimos que la administración de heliox en el respirador Servoi produce una disminución de las presiones inspiratorias en las modalidades de CT y VCRP, manteniéndose el volumen corriente programado. En la modalidad de presión controlada las presiones se mantienen constantes y se produce un aumento del volumen corriente inspirado. En todas las modalidades se produce una falsa disminución en el volumen corriente espirado medido por el respirador y el espirómetro. Es necesario tener en cuenta estas alteraciones si se utiliza heliox con este respirador.

## BIBLIOGRAFÍA

- Hess DR, Fink JB, Venkataraman ST, Kim IK, Myers TR, Tano BD. The history and physics of heliox. *Respir Care*. 2006;51:608-12.
- Rodríguez Núñez A, Martínón Sánchez JM, Martínón Torres F. Gases medicinales: oxígeno y heliox. *An Pediatr (Barc)*. 2003;59:74-81.
- Iglesias Fernández C, López-Herce Cid J, Mencía Bartolomé S, Santiago Lozano M<sup>ª</sup>J, Moral Torrero R, Carrillo Álvarez A. Eficacia del tratamiento con heliox en niños con insuficiencia respiratoria. *An Pediatr (Barc)*. 2007;66:240-7.
- Myers TR. Use of heliox in children. *Respir Care*. 2006;51:619-31.
- Gupta VK, Cheifetz IM. Heliox administration in the pediatric intensive care unit: An evidence-based review. *Pediatr Crit Care Med*. 2005;6:204-11.
- Martinón Torres F, Rodríguez Núñez A, Martínón Sánchez JM. Heliox therapy in infants with acute bronchiolitis. *Pediatrics*. 2002;109:68-73.
- Cambonie G, Milesi C, Fournier-Favre S, Counil F, Jaber S, Picaud JC, et al. Clinical effects of heliox administration for acute bronchiolitis in young infants. *Chest*. 2006;129:676-82.
- Liet JM, Millote B, Tucci M, Laflamme S, Hutchison J, Creery D, et al; Canadian Critical Care Trials Group. Noninvasive therapy with helium-oxygen for severe bronchiolitis. *J Pediatr*. 2005;147:812-7.
- Fink JB. Opportunities and risks of using heliox in your clinical practice. *Respir Care*. 2006;51:651-60.
- Williams J, Stewart K, Tobias JD, Berkenbosch JW. Therapeutic benefits of helium-oxygen delivery to infants via nasal cannula. *Pediatr Emerg Care*. 2004;20:574-8.
- Abd-Allah SA, Rogers MS, Terry M, Gross M, Perkin RM. Helium-oxygen therapy for pediatric acute severe asthma requiring mechanical ventilation. *Pediatr Crit Care Med*. 2003;4:353-7.
- Winters JW, Willing MA, Sanfilippo D. Heliox improves ventilation during high-frequency oscillatory ventilation in pediatric patients. *Pediatr Crit Care Med*. 2000;1:33-7.
- Venkataraman ST. Heliox during mechanical ventilation. *Respir Care*. 2006;51:632-9.
- Tassaux D, Joliet Ph, Thouret JM, Roeseler J, Dorne R, Chevrolet JC. Calibration of seven ICU ventilators for mechanical ventilation with Helium-oxygen mixtures. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999;160:22-32.
- Berkenbosch JW, Grueber RE, Osuama D, McKibben AW. Effect of helium-oxygen (heliox) gas mixtures on the function of four pediatric ventilators. *Crit Care Med*. 2003;31:2052-8.
- Opppenheim-Eden A, Cohen Y, Weissman C, Pizov R. The effect of helium on ventilator performance: Study of five ventilators and a bedside pitot tube spirometer. *Chest*. 2001;120:582-8.
- Brown MK, Willms DC. A Laboratory evaluation of 2 mechanical ventilators in the presence of helium-oxygen mixtures. *Respir Care*. 2005;50:354-60.