

# Presión media de la vía aérea con aplicación de presión positiva al final de la espiración estática versus dinámica

Marco Antonio León-Gutiérrez,\* Jorge Alberto Castañón-González,\* Eugenio E. Lázaro-Castillo,\*\*  
Jorge Alfredo Pech-Quijano,\*\* Octavio Iván Abraján-Hernández\*\*

## Resumen

**Introducción:** la presión positiva al final de la espiración (PEEP) incrementa la presión media de la vía aérea (Paw) en pacientes con ventilación mecánica. Con el objetivo de comparar la presión media de la vía aérea que se obtiene en un mismo paciente con ventilación mecánica controlada por presión al aplicar presión positiva al final de la espiración estática (PEEPe) y al aplicar presión positiva al final de la espiración dinámica (PEEPd), se realizó un estudio prospectivo, longitudinal, experimental, comparativo y de grupos relacionados.

**Material y métodos:** se incluyeron pacientes con ventilación mecánica controlada por presión con  $\text{SaO}_2 > 90\%$  y  $\text{FiO}_2 < 50\%$ , con PEEPe de 4 cm de  $\text{H}_2\text{O}$  y relación inspiración-espiración de 1:2. Después de 15 minutos se midió la presión media de la vía aérea (fase 1). Posteriormente se modificó la relación inspiración-espiración a 2:1 por 15 minutos, con el fin de generar PEEPd (fase 2). Una vez registrada la presión media de la vía aérea, en la fase 3 se regresó de nuevo a la relación inspiración-espiración 1:2, sustituyendo la PEEPd obtenida en la fase 2 por PEEPe para mantener la misma presión positiva al final de la espiración total (PEEPt) de la fase 2 ( $\text{PEEPt} = \text{PEEPe} + \text{PEEPd}$ ). Concluidos los 15 minutos de estabilización, se registró de nuevo la presión media de la vía aérea y la PEEPt. Se utilizaron las pruebas de Friedman y Wilcoxon, considerando una  $p < 0.05$  como estadísticamente significativa.

**Resultados:** se estudiaron 38 pacientes. La PEEPt fue de 4, 8 y 8 cm de  $\text{H}_2\text{O}$ , y las medianas de la presión media de la vía aérea fueron de 8.7, 13.8 y 11.4 cm de  $\text{H}_2\text{O}$  en las fases 1, 2 y 3 respectivamente ( $p < 0.05$ ).

**Conclusiones:** en un mismo paciente con ventilación mecánica controlada por presión y con los mismos niveles de PEEPt, la presión media de la vía aérea es mayor al utilizar PEEPd que PEEPe.

**Palabras clave:** presión media de la vía aérea, presión positiva al final de la espiración, relación inspiración-espiración.

## Summary

**Background:** Positive end-expiratory pressure increases mean airway pressure (Paw) in patients with mechanical ventilation. We conducted a prospective clinical trial to compare mean airway pressure (Paw) generated with static PEEP (sPEEP) vs. dynamic PEEP (dPEEP) at the same level of total PEEP (tPEEP) in the same patient with pressure-controlled mechanical ventilation (PC).

**Methods:** Consecutive patients in PC with  $\text{SaO}_2 > 90\%$ ,  $\text{FiO}_2 < 50\%$ , sPEEP of 4 cm  $\text{H}_2\text{O}$  and inspiration-expiration ratio (I:E ratio) 1:2 were included in the study. After a basal period of time of 15 min, Paw was registered (phase one of the study protocol). In phase 2 with the ventilator settings constant, only the I:E ratio was switched to 2:1 to generate dPEEP, and after 15 min Paw and total PEEP (tPEEP) were registered ( $\text{tPEEP} = \text{sPEEP} + \text{dPEEP}$ ). In phase 3, the I:E ratio was switched back to 1:2 substituting the dPEEP generated in the second phase of the study by sPEEP to maintain the same level of tPEEP of phase 2. After 15 min, Paw was again registered. Friedman and Wilcoxon's test were used,  $p$  value  $< 0.05$  was considered statistically significant.

**Results:** Thirty eight patients were admitted to the study protocol, tPEEP was 4, 8 and 8 cm  $\text{H}_2\text{O}$  and median of the Paw 8.7, 13.8, and 11.4 cm  $\text{H}_2\text{O}$ , respectively, with a  $p$  value  $< 0.05$  in the first, second and third phases of the study.

**Conclusions:** During pressure control ventilation, mean airway pressure is affected by the level of total PEEP and its composition. Paw is higher when dynamic PEEP participates in the composition of total PEEP.

**Key words:** mean airway pressure, positive end-expiratory pressure, inspiration-expiration ratio.

\* Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

\*\* Unidad de Cuidados Intensivos y Medicina Crítica, Hospital de Especialidades, Centro Médico Nacional Siglo XXI, IMSS.

### Solicitud de sobretiros:

Jorge Alberto Castañón-González,  
Apartado postal 132 CAP Interlomas, 52786 Huixquilucan, Estado de México, México. E-mail: jorgec@prodigy.net.mx

Recibido para publicación: 14-11-2005

Aceptado para publicación: 31-01-2006

## Introducción

De las diferentes presiones de la vía aérea que se pueden monitorear durante la ventilación mecánica, la presión media de la vía aérea tiene especial relevancia debido a que refleja indirectamente la presión media alveolar cuando la resistencia durante la inspiración y la espiración es igual.<sup>1</sup>

La importancia cardiovascular de la presión media de la vía aérea consiste en la interrelación entre la distensión pulmonar y

el incremento asociado de la presión intrapleur, que afecta el llenado de los vasos sistémicos de capacitancia durante la inflación pasiva y en ocasiones durante la respiración espontánea.

La distensibilidad de la pared pulmonar es un factor importante de la presión pleural, ya que la sobredistensión alveolar produce alteraciones hemodinámicas deletéreas para el paciente.<sup>1-4</sup> Esto sucede al aplicar niveles suficientemente altos de presión positiva al final de la espiración<sup>1,2,5,6</sup> que incrementen la presión media de la vía aérea a valores capaces de disminuir la precarga del ventrículo izquierdo por aumento de la presión pleural y de la aurícula derecha, e impidan un adecuado llenado de las cavidades cardíacas derechas. Como resultado de esta disminución del gasto cardíaco, se compromete el flujo sanguíneo esplácnico e incrementa la presión intraabdominal.

La manipulación con fines terapéuticos de ciertas variables durante la ventilación mecánica aumenta la presión media de la vía aérea:

- Aplicación de presión positiva al final de la espiración *estática* (PEEPe), por aumento en la capacidad funcional residual.
- Aumento en el volumen corriente por incremento de la presión elástica requerida, y que a la vez está determinado por la distensibilidad del sistema respiratorio.
- Incremento en la frecuencia respiratoria con un volumen corriente constante, al producir hiperinflación dinámica por acortamiento del tiempo espiratorio.
- Disminución del flujo inspiratorio con un volumen corriente y frecuencia respiratoria constantes, al prolongar el tiempo inspiratorio y acortar el espiratorio. Aunque esto no tiene un comportamiento constante, puede condicionar hiperinflación dinámica.
- Prolongación de la pausa inspiratoria, que puede generar presión positiva al final de la espiración dinámica o auto-PEEP.<sup>7-9</sup>
- Modificación de la relación inspiración-espiración normal de 1:2 a 1:1, 2:1, 3:1 y 4:1, al incrementar el tiempo inspiratorio y disminuir en consecuencia el tiempo espiratorio.

En la modalidad ventilatoria controlada por presión, este cambio en la relación inspiración-espiración se logra al modificar exclusivamente el tiempo inspiratorio en segundos; en la modalidad controlada por volumen se efectúa al aumentar el volumen corriente, la frecuencia respiratoria y la pausa inspiratoria o al disminuir el flujo pico.<sup>3,4,8-10</sup>

La presión positiva al final de la espiración *dinámica* (PEEPd) o auto-PEEP que se genera en forma inadvertida como consecuencia de maniobras realizadas en el ventilador, produce elevación de la presión media de la vía aérea con riesgo de hiperinflación dinámica, y en forma secundaria, incremento de la presión transalveolar (diferencia entre la presión alveolar y pleural), del trabajo respiratorio y disminución subsecuente de la oxigenación y la distensibilidad pulmonar.<sup>6,11-14</sup>

Como estrategia del apoyo mecánico ventilatorio, se puede generar PEEPd para incrementar la presión media de la vía aérea siempre y cuando sea pueda llevar a cabo monitoreo hemodinámico, de la mecánica pulmonar y de los gases sanguíneos, para no producir hiperinflación dinámica y así mejorar la oxigenación y la distensibilidad pulmonar sin incremento importante de la presión transalveolar.<sup>14,15</sup>

Sin embargo, en ventilación mecánica controlada por presión nuestro grupo de trabajo ha demostrado disminución de las presiones de la vía aérea y mejoría del índice de oxigenación,<sup>16</sup> pero hasta el momento no se conoce el impacto que ejerce sobre la presión media de la vía aérea un mismo nivel de presión positiva al final de la espiración total (PEEPt) cuando ésta es determinada por PEEPe + PEEPd *versus* la generada sólo por PEEPe, por lo que decidimos realizar un estudio clínico comparativo.

## Material y métodos

Previo aprobación del protocolo por el Comité de Ética e Investigación del hospital donde se llevó a cabo el estudio, se realizó un estudio longitudinal, prospectivo, experimental, comparativo y de grupos relacionados, donde se incluyeron pacientes con ventilación mecánica controlada por presión y que fueron reanimados en la Unidad de Cuidados Intensivos. Todos tenían instalado un catéter arterial, mantenían una  $\text{PaO}_2 > 60$  mm Hg,  $\text{SaO}_2 > 90$  %, presión arterial media  $> 60$  mm Hg y  $\text{FiO}_2 < 50$  %. Se excluyeron mujeres embarazadas y pacientes con choque de cualquier etiología. Se utilizaron ventiladores Servo 900C con programa Servowindows, SIEMENS ELEMA, Sweden, con una pantalla para el despliegue visual de las curvas de flujo y presión de la vía aérea.

El procedimiento consistió de tres fases:

- *Fase 1 o basal:* al paciente con ventilación mecánica controlada por presión, se le aplicó en el ventilador un volumen corriente de 8 mL/kg de peso, una frecuencia respiratoria de 12 minutos, una PEEPe de 4 cm de  $\text{H}_2\text{O}$ , con una relación inspiración-espiración de 1:2 y una  $\text{FiO}_2$  de 40 %. Estos parámetros se mantuvieron durante 15 minutos, al término de los cuales se registraron gases en sangre arterial y venosa central, presiones de la vía aérea (pico, meseta y media), PEEPe, PEEPd y PEEPt.
  - *Fase 2:* se cambió la relación inspiración-espiración a 2:1, y se mantuvo al resto de los parámetros ventilatorios constantes durante 15 minutos. Se determinó PEEPt y PEEPd, aplicando la pausa espiratoria del ventilador durante cinco segundos para de esta forma cuantificar la PEEPt a la cual se le restó la PEEPe preestablecida en el ventilador para obtener la PEEPd. Posteriormente se registró el resto de las variables en estudio.
- Antes de iniciar la fase 3, y con la finalidad de que los pacientes presentaran la misma fase basal y pudieran ser compara-

**Cuadro I.** Valores de la mecánica pulmonar e índice de oxigenación y su diferencia estadística en las tres fases de estudio

Parámetro	Fase 1 o basal (PEEPe)	Fase 2 (PEEPe + PEEPd)	Fase 3 (PEEPe)	P*
Rel I:E	1:2	2:1	1:2	
PEEPt (cm H <sub>2</sub> O)	4	8	8	S
PIP (cm H <sub>2</sub> O)	18	16	22	S
Ppl (cm H <sub>2</sub> O)	18	16	22	S
Paw (cm H <sub>2</sub> O)	9	14	11	S
C dyn (ml/cm H <sub>2</sub> O)	43	56	42	S
$\Delta P$ (cm H <sub>2</sub> O)	14	10	14	S
Vt (ml)	576	518	613	S
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	304	320	326	S

\* Prueba de Friedman

S = significativa (< 0.05), Rel I:E = relación inspiración-espiración, PEEPt = (PEEPe + PEEPd) presión positiva al final de la espiración total, PEEPe = presión positiva al final de la espiración estática, PEEPd = presión positiva al final de la espiración dinámica, PIP = presión inspiratoria pico, Ppl = presión meseta, Paw = presión media de la vía aérea, C dyn = distensibilidad dinámica pulmonar,  $\Delta P$  = delta P (Ppl – PEEPt), Vt = volumen corriente, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> = índice de oxigenación o índice de Kirby

bles, los parámetros del ventilador fueron regresados a los mismos de la fase 1, al cambiar la relación inspiración-espiración de 2:1 a 1:2 durante 15 minutos.

- *Fase 3:* se predeterminó la PEEPt en el ventilador agregando a la PEEPe utilizada en la fase 1 (4 cm de H<sub>2</sub>O), los cm de H<sub>2</sub>O de PEEPd generada en la fase 2 pero como PEEPe. Estos parámetros ventilatorios se mantuvieron durante 15 minutos para posteriormente tomar nuevamente el registro de las variables del estudio.

La determinación de gases se efectuó en un analizador de gases marca CIBA Corning modelo 288, Bay Technical Associates, Inc. Bay St. Louis MS.

Para el análisis estadístico se utilizaron las pruebas de Friedman y Wilcoxon para búsqueda de diferencias entre medianas de grupos dependientes, considerando todo valor de  $p < 0.05$  como estadísticamente significativo.

## Resultados

Ingresaron al estudio 38 pacientes: 26 hombres (68 %), con edad promedio de 45 años (17 a 76) y 12 mujeres (32 %), con edad promedio de 55 años (23 a 78). Veinticinco se encontraban en periodo posoperatorio: 11 de cirugía neurológica por neoplasias cerebrales, nueve de clipaje de aneurisma cerebral debido a hemorragia subaracnoidea, dos de resección de malformación arteriovenosa, dos de exploración quirúrgica de vasos ilíacos y femorales, uno de cirugía de cuello; cuatro pacientes estaban hospitalizados por sepsis abdominal, tres por pan-

creatitis aguda grave, dos por diabetes mellitus complicada, uno por linfoma complicado, uno por sepsis grave, uno por síndrome de Fournier y uno por absceso hepático piógeno.

Las diferencias entre las medianas de la mecánica pulmonar y del índice de oxigenación de los pacientes en estudio durante las tres fases se muestran en el cuadro I, y las diferencias por pares de fases (1 *versus* 2, 1 *versus* 3 y 2 *versus* 3) en el cuadro II, donde se destaca que las diferencias entre los valores fueron estadísticamente significativas tomando en cuenta que PEEPt en la fase 1 fue de 4 cm de H<sub>2</sub>O, y en las fases 2 y 3 fue de 8 cm de H<sub>2</sub>O en cada una.

Los valores del taller de gases arteriovenosos, incluidos los cortocircuitos intrapulmonares (Qs/Q<sub>t</sub>), el porcentaje de extracción de oxígeno (E O<sub>2</sub> %) y la diferencia arteriovenosa de oxígeno (Da-vO<sub>2</sub>), se encontraron sin diferencias estadísticamente significativas.

## Discusión

Es de suma importancia mencionar que el comportamiento de la presión media de la vía aérea en ventilación mecánica controlada por presión fue diferente cuando se utilizó PEEPd y se comparó con PEEPe a un mismo nivel de PEEPt, ya que existió incremento mayor y estadísticamente significativo en la presión media de la vía aérea e índice de oxigenación cuando se aplicó PEEPd. Estos resultados son similares a lo encontrado por Boros<sup>17</sup> en pacientes con síndrome de insuficiencia respiratoria aguda, en quienes consideró que la PEEPd es un determinante para el intercambio gaseoso debido al incremento de

**Cuadro II.** Valores de la mecánica pulmonar y del índice de oxigenación por pares de fases y su diferencia estadística

Parámetro	Fase 1 vs. 2	p*	Fase 1 vs. 3	p*	Fase 2 vs. 3	p*
Rel I:E	1:2 / 2:1	-	1:2	-	2:1 / 1:2	
PEEPt (cm H <sub>2</sub> O)	4 / 8	S	4 / 8	S	8 / 8	NS
PIP (cm H <sub>2</sub> O)	18 / 16	NS	18 / 22	S	16 / 22	S
Ppl (cm H <sub>2</sub> O)	18 / 16	NS	18 / 22	S	16 / 22	S
Paw (cm H <sub>2</sub> O)	9 / 14	S	9 / 11	S	14 / 11	S
C dyn (ml/ cm H <sub>2</sub> O)	43 / 56	S	43 / 42	NS	56 / 42	S
Δ P (cm H <sub>2</sub> O)	14 / 10	S	14 / 14	NS	10 / 14	S
Vt (ml)	576 / 518	S	576 / 613	S	518 / 613	S
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	304 / 326	S	304 / 320	S	326 / 320	NS

\*Prueba de Wilcoxon

NS = no significativa, S = significativa (< 0.05), Rel I:E = relación inspiración-espирación, PEEPt = presión positiva al final de la espiración total, PIP = presión inspiratoria pico, Ppl = presión meseta, Paw = presión media de la vía aérea, C dyn = distensibilidad dinámica pulmonar, Δ P = delta P (Ppl – PEEPt), Vt = volumen corriente, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> = Índice de oxigenación ó Índice de Kirby

la presión media de la vía aérea, conclusión que también apoyan Gallagher y Banner,<sup>6</sup> quienes además encontraron mejor eliminación de bióxido de carbono con PEEP<sub>e</sub>, dato que en el presente estudio no se demostró ya que la presión parcial de bióxido de carbono arterial se comportó en forma similar con la aplicación de la dos formas de presión positiva al final de la espiración (p = 0.09).

El mecanismo mediante el cual la elevación de la presión media de la vía aérea mejora la oxigenación arterial continúa en controversia, ya que algunos investigadores consideran que se produce por redistribución del líquido intersticial pulmonar, del flujo sanguíneo, por “reclutamiento alveolar” o por una mezcla de éstos.<sup>18,19</sup> El incremento de la presión media de la vía aérea entre 25 y 35 cm de H<sub>2</sub>O también puede disminuir el gasto cardíaco y la disponibilidad de oxígeno a los tejidos corporales.<sup>20,21</sup>

En algunos estudios experimentales en donde la aplicación de PEEP<sub>e</sub><sup>1,2,5,6,17</sup> fue el método utilizado para mejorar la oxigenación arterial, se encontró que mejora el intercambio gaseoso con incremento de la presión media de la vía aérea, debido a que mantiene distendidos los alvéolos. Resultados similares informaron Boros<sup>17</sup> y Gallagher,<sup>6</sup> quienes además hallaron que el incremento de la presión media de la vía aérea determinó una mejoría en la oxigenación de neonatos con síndrome de insuficiencia respiratoria aguda; concluyeron que utilizar PEEP<sub>e</sub> evita el colapso alveolar. Stewart<sup>22</sup> demostró que el incremento de la presión media de la vía aérea mediante la aplicación de PEEP<sub>e</sub> efectivamente aumenta la presión parcial de oxígeno arterial, pero con cierta repercusión hemodinámica.

Cheney y Burnham<sup>23</sup> demostraron que el empleo de PEEP<sub>e</sub> para incrementar la presión media de la vía aérea asociado a volumen corriente bajo, mejoró el intercambio gaseoso pul-

monar cuando se comparó con la presión media de la vía aérea aumentada debido a incremento del volumen corriente. Finalmente, debemos mencionar que desde los experimentos clásicos de Cournand<sup>24</sup> se conocen los efectos hemodinámicos del incremento de la presión media de la vía aérea, lo cual fue corroborado por Cole<sup>25</sup> con aplicación de una relación inversa (4:1), y recientemente con el uso de métodos invasivos se conoce el comportamiento hemodinámico debido al aumento de la presión media de la vía aérea en el paciente con daño pulmonar agudo.<sup>3,4,26-29</sup>

Las presiones pico y meseta de la vía aérea mostraron disminución importante con la generación de PEEP<sub>d</sub> cuando se compararon con las encontradas con PEEP<sub>e</sub> (p = 0.0001), con incremento en la distensibilidad dinámica pulmonar y disminución de la delta P, lo que desde el punto de vista clínico disminuye la probabilidad de barotrauma y biotrauma.<sup>29-35</sup>

El volumen corriente espirado disminuyó respecto al basal cuando se utilizó PEEP<sub>d</sub> y también cuando se comparó con el obtenido por PEEP<sub>e</sub> (p = 0.01), sin generarse hiperinflación dinámica ya que no hubo disminución de la distensibilidad y sólo en dos pacientes hubo aumento del volumen corriente con PEEP<sub>d</sub> sin diferencia en la distensibilidad pulmonar, lo cual también fue reportado por Marini<sup>1,2</sup> cuando utilizó ventilación con relación inspiración-espирación inversa.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la presión media de vía aérea es mayor con PEEP<sub>d</sub> que con PEEP<sub>e</sub>. La mejoría en la oxigenación se debe al aumento en las unidades alveolares funcionales por “reclutamiento alveolar”, por lo que consideramos que este mecanismo es el que ocasiona la disminución de la delta P y aumento en la distensibilidad pulmonar cuando se utiliza PEEP<sub>d</sub>, sin generar hiperinflación dinámica.

## Conclusiones

Los resultados muestran incremento de la presión media de la vía aérea, de la distensibilidad dinámica y del índice de oxigenación, con disminución de la presión pico, meseta, del volumen corriente espirado y de la delta P cuando se utiliza PEEPd y se comparan con PEEPe a un mismo nivel de PEEPt en un mismo paciente en ventilación mecánica controlada por presión.

El incremento de la presión media de la vía aérea produce “reclutamiento alveolar”, lo que se traduce en mejoría en la oxigenación en los pacientes con ventilación mecánica, por lo que el empleo de PEEPe o PEEPd para incrementar la presión media de la vía aérea debe ser evaluada por el médico tratante e individualizarse en cada paciente, para determinar cuál es la más útil de acuerdo con las condiciones clínicas.

Es necesario incrementar la presión media de la vía aérea mediante la presión positiva al final de la espiración, ya que mejora la oxigenación en todos los pacientes con ventilación mecánica, principalmente en aquellos con daño pulmonar y síndrome de insuficiencia respiratoria aguda. Al incrementarla por medio de PEEPd se debe evaluar el impacto de ésta sobre la condición hemodinámica, con frecuencia comprometida en el paciente grave, por lo que es necesario el monitoreo de los valores de estas variables en todos los pacientes graves que se encuentran con ventilación mecánica invasiva.

## Referencias

1. Marini JJ, Ravenscraft SA. Mean airway pressure: physiologic determinants and clinical importance. Part 1: Physiologic determinants and measurements. *Crit Care Med* 1992;20:1461-1472.
2. Marini JJ, Ravenscraft SA. Mean airway pressure: physiologic determinants and clinical importance. Part 2: Clinical implications. *Crit Care Med* 1992;20:1604-1616.
3. Gurevitch MJ, Van Dyke J, Young ES, et al. Improved oxygenation and lower peak airway pressure in severe adult respiratory distress syndrome: treatment with inverse ratio ventilation. *Chest* 1986;89: 211-213.
4. Abraham E, Yoshihara G. Cardiorespiratory effects of pressure controlled, inverse ratio ventilation in severe respiratory failure. *Chest* 1989;96:1356-1359.
5. Fuhrman BP, Smith-Wright DL, Venkataraman S, et al. Proximal mean airway pressure: a good estimator of mean alveolar pressure during continuous positive pressure breathing. *Crit Care Med* 1989;17:666-670.
6. Gallagher TJ, Banner MJ. Mean airway pressure as a determinant of oxygenation. *Crit Care Med* 1980;8:244.
7. Slutsky AS. Mechanical ventilation. *Chest* 1993;104:1833-1859.
8. Peruzzi WT. The Current status of PEEP. *Resp Care* 1996;41:273-284.
9. Marcy TW. Inverse ratio ventilation. In: Tobin MJ, ed. *Principles and Practice of Mechanical Ventilation*. New York: McGraw-Hill;1994. pp 319-332.
10. Berman LS, Downs JB, Van Eeden H. Inspiratory/expiratory ratio: is mean airway pressure the difference? *Crit Care Med* 1981;9:775-777.
11. Kacmarek RM, Hes D. Pressure-controlled inverse ratio ventilation: panacea or autoPEEP? *Respir Care* 1990;35:945-948.
12. Ravenscraft SA, Burke WC, Marini JJ. Volume cycled decelerating flow: an alternative form of mechanical ventilation. *Chest* 1992; 101:1342-1351.
13. Marini JJ. Dynamic hyperinflation. In: *Physiological Basis of Ventilatory Support*. New York: Marcel Dekker;1998. pp. 453-485.
14. Marcy TW, Burke WC, Adams AB, et al. Mean alveolar pressure is higher during ventilation with constant pressure than with constant flow or sinusoidal flow wave forms. *Am Rev Resp Dis* 1990;141(4, pt2):A239.
15. Gottfried SB, Reissman H, Ranieri VM. A simple method for the measurement of intrinsic positive end-expiratory pressure during controlled and assisted modes of mechanical ventilation. *Crit Care Med* 1992;5:621-629.
16. Castañón-González JA, León-Gutiérrez MA, Gallegos-Pérez H, Pech-Quijano J, Matínez-Gutiérrez M, Olvera-Chávez A. Mecánica pulmonar, índice de oxigenación y ventilación alveolar en pacientes con dos modalidades de ventilación mecánica controlada. Un estudio comparativo de tipo cruzado. *Cir Ciruj* 2003;71:374-378.
17. Boros SJ. Variations in inspiratory:expiratory ratio and airway pressure waveform during mechanical ventilation. The significance of mean airway pressure. *J Pediatr* 1979;94:114-117.
18. Castañón-González JA, Vázquez-de Anda G, Martínez-Gutiérrez MA, León-Gutiérrez MA, Lachmann B, Gallegos-Pérez H, et al. Procedimiento de reclutamiento alveolar en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda y asistencia mecánica ventilatoria: correlación entre la mecánica pulmonar, el índice de oxigenación y tomografía computada de tórax. *Cir Ciruj* 1998;66:189-195.
19. Fessler HE, Brower RG. Protocols for lung protective ventilation. *Crit Care Med* 2005;33:S223-227.
20. MacIntyre NR. Current issues in mechanical ventilation for respiratory failure. *Chest* 2005;128:S561-567.
21. Malarkhan N, Snook NJ, Lumb AB. New aspects of ventilation in acute lung injury. *Anaesthesia* 2003;58:647-667.
22. Stewart AR, Finner NN, Peters KL. Effects of alterations of inspiratory and expiratory pressure and inspiratory/expiratory ratios on mean airway pressure, blood gases and intracranial pressure. *Pediatrics* 1981;67:474-481.
23. Cheney FW, Burnham SC. Effect of ventilatory pattern on oxygenation in pulmonary edema. *J Appl Physiol* 1971;31:909-912.
24. Cournand A, Motley HL, Werko L, et al. Physiologic studies of effects of intermittent positive pressure breathing on cardiac output in man. *Am J Physiol* 1948;152:162-174.
25. Cole AGH, Weller SF, Sykes MK. Inverse ratio ventilation compared with PEEP in adult respiratory failure. *Intensive Care Med* 1984; 10:227-232.
26. Hickling KG, Henderson SJ, Jackson R. Low mortality associated with low volume, pressure ventilation with permissive hypercapnia in severe adult respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* 1990;16:372-377.
27. Crotti S, Pelosi P, Mascheroni D, et al. The effect of extrinsic PEEP on lung inflation and regional compliance in mechanically ventilated patients: a CT scan study. *Intensive Care Med* 1995;21:5135.
28. Tharatt RS, Allen RP, Albertson TE. Pressure controlled inverse ratio in severe adult respiratory failure. *Chest* 1988;94:755-762.
29. Suter PM, Francois L. Positive end-expiratory pressure in acute respiratory failure: pathophysiology and practical guidelines. In: *Physiological Basis of Ventilatory Support*, New York: Marcel Dekker;1998. pp. 873-885.
30. Marcy TW, Marini JJ. Inverse ratio ventilation in ARDS: rationale and implementation. *Chest* 1990;100:494-504.

31. Patel H, Yang KL. Variability of intrinsic positive end-expiratory pressure in patients receiving mechanical ventilation. *Crit Care Med* 1995;23:1074-1079.
32. Haake R, Schlichting R, Ulstad DR, et al. Barotrauma: pathophysiology, risk factors and prevention. *Chest* 1987;91:608-613.
33. Cole AGH, Weller SF, Sykes MK. Inverse ratio ventilation compared with PEEP in adult respiratory failure. *Intensive Care Med* 1984; 10:227-232.
34. Kacmarek RM, Kirmse M, Nishimura M, et al. The effects of applied vs auto-PEEP on local lung unit pressure and volume in a for-unit lung model. *Chest* 1995;108:1073-1079.
35. Shapiro R, Kacmarek RM. Monitoring of the mechanically ventilated patient. In: *Physiological Basis of Ventilatory Support*. New York: Marcel Dekker;1998. pp. 709-771.

