

## Evaluación ultrasonográfica del reclutamiento alveolar

Raúl Carrillo Esper,\* Rafael Tapia Velasco,† Eduardo Garrido Aguirre,‡  
Jorge Arturo Nava López,§ Rosalinda Neri Maldonado,§ Oscar Iván Flores Rivera§

### RESUMEN

En enfermos con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) la ventilación mecánica es la principal maniobra para implementar las maniobras de reclutamiento alveolar y presión positiva al final de la espiración (PPFE), lo que mantiene la oxigenación y eliminación de bióxido de carbono. Con base a la importancia de las medidas de apertura pulmonar se hace prioritario el monitoreo y seguimiento de la aereación pulmonar. El ultrasonido es una técnica de gran utilidad en la Unidad de Terapia Intensiva, en especial para la evaluación pulmonar. En pacientes con SDRA la inflamación y la pérdida de volumen pulmonar inducen colapso de unidades alveolares y atelectasias, en especial en las zonas dependientes. La evaluación ultrasonográfica es una excelente herramienta a la cabecera del enfermo para evaluar el incremento del volumen pulmonar y las zonas de colapso durante las maniobras de reclutamiento y PPFE. El objetivo de este trabajo es revisar los conceptos actuales relacionados con la evaluación ultrasonográfica de las maniobras de reclutamiento pulmonar y PPFE.

**Palabras clave:** Ultrasonido, maniobras de reclutamiento, PPFE, SDRA.

### SUMMARY

*In the acute respiratory distress syndrome (ARDS) mechanical ventilation remains the main method to implement recruitment maneuvers and positive end expiratory pressure (PEEP) and delivering oxygen and eliminating carbon dioxide. Considering the clinical importance of mechanical ventilation based on the open-lung strategy, special attention should be paid to assessment of the degree of lung aeration. Ultrasound (US) is widely applied for the diagnosis in Intensive Care Unit. US exam may also be useful for evaluation of lungs and diagnosis of their dysfunction. In patient with ARDS inflammation and loss of lung volume induce collapse and atelectatic areas in special in dependent zones. US is a useful tool to the bedside to evaluate the increase in lung volume and decreased areas of alveolar collapse during recruitment maneuvers and PEEP. The aim of this paper is to review current concepts related to the ultrasonographic assessment of alveolar recruitment maneuvers and PEEP.*

**Key words:** Ultrasound, recruitment maneuvers, PEEP, ARDS.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la ultrasonografía es muy importante en la evaluación de todo paciente en áreas críticas, debido a sus amplias ventajas, tales como la accesibilidad, portabilidad, bajo costo, inocuidad, y que es un estudio que se puede realizar en tiempo

real, y para monitoreo continuo a la cabecera del paciente. Recientemente surgen nuevas aplicaciones de la ultrasonografía en diversas patologías y escenarios, siendo propuestas de manera reciente en la evaluación del reclutamiento pulmonar, para evaluar la pérdida de aereación pulmonar en pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA).<sup>1,3</sup>

\* Academia Nacional de Medicina. Academia Mexicana de Cirugía. Jefe de la Unidad de Terapia Intensiva de la Fundación Clínica Médica Sur.

† Residente del Curso de Alta Especialidad de Ultrasonografía Avanzada en el Paciente Crítico.

§ Residente de Medicina del Enfermo en Estado Crítico. Fundación Clínica Médica Sur.

Es importante mencionar que existe poca literatura que describe el uso de la ultrasonografía en el reclutamiento pulmonar, siendo la patología más representativa para su uso el síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), y la cantidad de pacientes reclutados en dichos estudios no supera la cantidad de 30-40 pacientes, o hacen mención a reporte de casos.

En este artículo se describirán algunos conceptos en relación con el reclutamiento pulmonar en el SDRA, así como la evidencia científica que lo sustenta.

### ANTECEDENTES

El SDRA constituye una causa importante de insuficiencia respiratoria, con una mortalidad en rangos de 30-60%, de acuerdo con los estudios reportados. Representa hasta 15% de los pacientes ingresados a la UCI y hasta 20% de los pacientes que requieren ventilación mecánica por más de 24 horas.<sup>1,2</sup>

El concepto *baby lung* se refiere a la gran heterogeneidad de unidades alveolares que existen en el parénquima pulmonar en el SDRA, coexistiendo regiones pulmonares con unidades alveolares que están relativamente bien aireadas y participan en el intercambio gaseoso, con otras que se encuentran colapsadas, ya sea por inflamación o por aumento de presión intersticial y del peso del tejido pulmonar.<sup>3,4</sup>

De esta forma, en las regiones alveolares dependientes, en decúbito supino a nivel dorsal, existe menor aereación que en las no dependientes a nivel esternal, esto conduce a un llenado alveolar muy heterogéneo. El uso de volúmenes corrientes bajos favorece el colapso alveolar progresivo, por apertura y colapso cíclico, lo cual origina atelectrauma y aumenta la lesión pulmonar. La aplicación de presión positiva al final de la espiración (PPFE) estabiliza el alvéolo, al evitar la repetición continua de apertura y colapso de unidades alveolares.<sup>3,4</sup>

Por otro lado, ha sido demostrado que un nivel de PPFE excesiva, incrementa el daño pulmonar al distender unidades alveolares ya abiertas y dar lugar a la hiperinsuflación y efectos hemodinámicos adversos.<sup>4,5</sup>

Para lograr la apertura de unidades alveolares y evitar el colapso «abrir el pulmón y mantenerlo abierto» se emplean además de la PPFE, maniobras de reclutamiento alveolar (RA), cuya eficacia persiste actualmente en controversia. El objetivo de las maniobras de RA es producir un aumento de la

presión transpulmonar (PTP), sostenida para lograr expandir los alvéolos colapsados. Las maniobras de RA aumentan la liberación del agente tenso activo y restauran la estabilidad del alvéolo, reduciendo la lesión inducida por el colapso cíclico y la ventilación mecánica.<sup>5,6</sup>

El momento de apertura de unidades alveolares (RA) se ha correlacionado con la rama inspiratoria de la curva de presión-volumen, hasta el punto de inflexión superior de ésta. Se estima que es máximo con PTP de 20-25 cm de H<sub>2</sub>O y se establece que cuantas más unidades alveolares reclute durante la inspiración, más permanecerá reclutado al final de la espiración. La PTP de apertura depende de la presión pleural, Ppl (PTP = Palv-Ppl) y, por tanto, debe ser mayor en casos de reducción de la *compliance* de la caja torácica. Una apertura significativa de la superficie pulmonar colapsada en un pulmón sano comienza a producirse con una presión inspiratoria (PI) cercana a 30 cm de H<sub>2</sub>O; no es uniforme para todo el pulmón, se requiere una presión mayor en las zonas declives o dependientes y no es completa hasta los 40 cm de H<sub>2</sub>O.<sup>4</sup>

En pacientes con SDRA se requieren presiones superiores (de hasta 60-70 cm de H<sub>2</sub>O), ya que en esos pacientes existe mayor disfunción del agente tensoactivo y edema alveolar.<sup>5,6</sup>

Una vez abiertas las unidades alveolares, la presión requerida para evitar el colapso es menor que la necesaria para abrirlo. La aplicación de PPFE tras el reclutamiento estabiliza las unidades pulmonares evitando el colapso y la reoclusión, por tanto, tras una reexpansión, debe emplearse PPFE para prevenir el colapso alveolar y la reaparición de atelectasias. La PPFE óptima es aquella que logra mantener los alvéolos abiertos sin sobredistender las áreas ventiladas evitando mayor lesión pulmonar.<sup>4,5</sup>

Es importante mencionar que los pacientes con SDRA pueden ser clasificados de acuerdo con la distribución inicial de la pérdida de aereación en:

- 1) Pérdida focal de la aereación que representan la mayor parte de pacientes con: 75% y cursan con pérdida de aereación predominante en regiones pulmonares dependientes.
- 2) Pérdida difusa de la aereación que representa aproximadamente: 25% de los pacientes y cursan con pérdida de aereación igualmente distribuida en todas las regiones pulmonares.<sup>7,9</sup>

Se han descrito también cuatro patrones ultrasonográficos en pacientes con SDRA:<sup>7-9</sup>

- B1: múltiples líneas B bien definidas o regularmente espaciadas 7 mm o > (pérdida moderada de aereación).  
 B2: múltiples coalescentes líneas B, espaciadas 3 mm o < (pérdida severa de aereación).  
 C: consolidación pulmonar.  
 N: patrón de aereación normal.

En los pacientes con pérdida focal de la aereación (mayor porcentaje) se debe determinar el equilibrio entre hiperinflación y reclutamiento alveolar, estableciendo un nivel óptimo de PPFE, utilizando para este fin, la mayor cantidad de herramientas disponibles, entre las cuales destacan: uso de curva de volumen presión cuasiestática, capacidad residual funcional, *compliance* estática, índice de estrés pulmonar, capnografía volumétrica, radiografía de tórax, tomografía computarizada, tomografía de impedancia eléctrica, entre otros, sin existir un estándar de oro hasta el momento actual.<sup>7,9</sup>

En resumen, los objetivos fundamentales al proporcionar ventilación mecánica y maniobras de RA, son:

- Volúmenes corrientes bajos.
- Mantener presiones transpulmonares bajas buscando mejorar la oxigenación.
- Evitar la retención grave de CO<sub>2</sub>.
- Permitir la apertura pulmonar, limitando el colapso y condensación pulmonar.
- Evitar de manera secundaria mayor lesión pulmonar.<sup>3</sup>

Derivado de las ventajas previamente referidas, acerca del uso de la ultrasonografía, recientemente se ha propuesto el uso de la ultrasonografía pulmonar como un método de utilidad para evaluar áreas de reclutamiento pulmonar, y podría ser una opción para evaluar cambios en la morfología pulmonar durante el uso de la PEEP a la cabecera del paciente.<sup>9,11</sup>

#### EVIDENCIA CIENTÍFICA

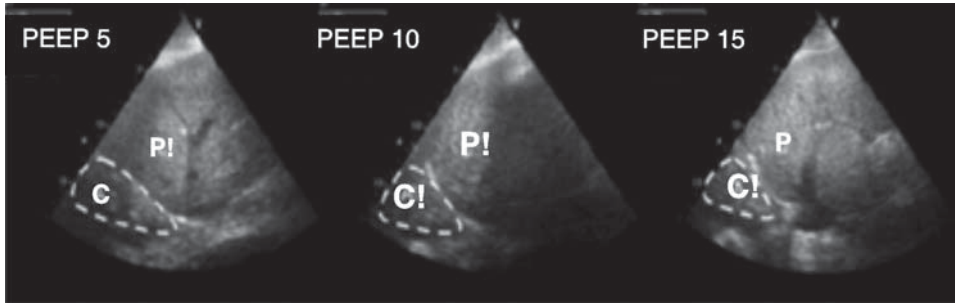
Konstantinos realizó un estudio prospectivo, observacional, aleatorizado y controlado, en donde incluyó a 15 pacientes con diagnóstico de SDRA en fase temprana, bajo ventilación mecánica, realizando estudio ultrasonográfico a todos los pacientes a fin de determinar áreas de colapso, a las cuales se les asignó un patrón, y se midió el área de colapso por planimetría en la región adyacente al diafragma,

en relación con los cambios mostrados en distintos niveles de la PEEP: 5, 10 y 15 cmH<sub>2</sub>O, los cuales fueron mantenidos por 20 minutos, realizando simultáneamente determinación de gases sanguíneos.

Todos los pacientes presentaron un aumento significativo de la PaO<sub>2</sub> y de la relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, y paralelamente disminución progresiva de las áreas no aereadas a medida que incrementaba la PEEP de 5-10 y 15 cm de H<sub>2</sub>O (27 ± 31 cm<sup>2</sup>, a 20 ± 24 cmH<sub>2</sub>O, a 11 ± 12 cmH<sub>2</sub>O, respectivamente) mostrando una significancia estadística (p < 0.001). A su vez, estos cambios fueron asociados con un incremento significativo en la PaO<sub>2</sub> (74 ± 15 mmHg, a 90 ± 19 mmHg, a 102 ± 26 mmHg, respectivamente, p < 0.001). Los autores concluyen que la ultrasonografía transtorácica puede detectar cambios en áreas pulmonares no aireadas, durante cambios en la PEEP de pacientes con SDRA. Y por lo tanto, el ultrasonido transtorácico puede ser considerado como una herramienta clínica de utilidad en el manejo de pacientes con SDRA (*Figura 1*).<sup>10</sup>

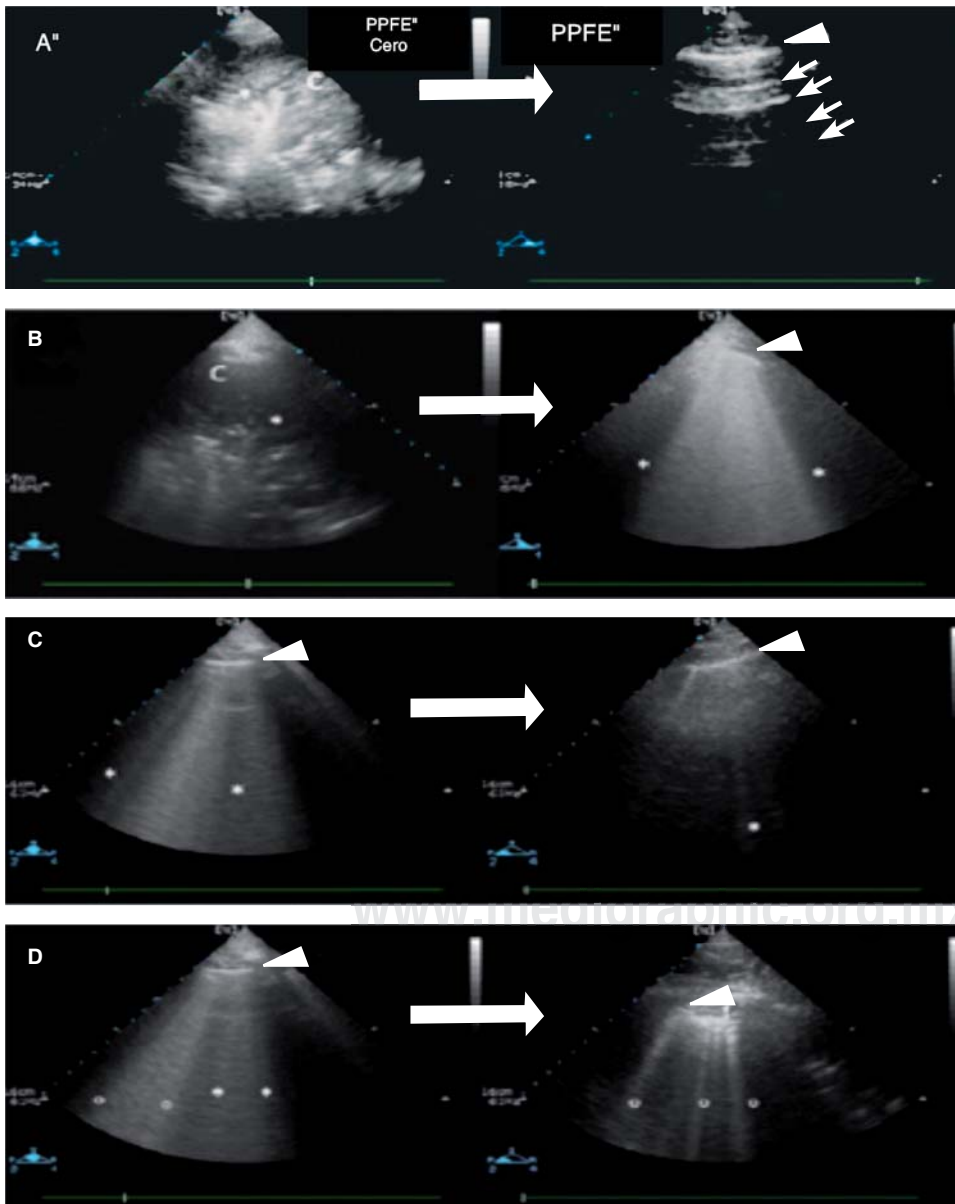
Bouhemad realizó un estudio prospectivo aleatorizado con el objetivo de comparar la curva de presión volumen cuasiestática, con el ultrasonido pulmonar para evaluar el reclutamiento alveolar con la PPFE en pacientes con SDRA. Se incluyeron 40 pacientes, a los cuales se les realizó curva de presión volumen con PPFE de 0 y 15 cmH<sub>2</sub>O, así mismo se les realizó también ultrasonografía pulmonar dividiendo al tórax en seis regiones de cada lado, 12 en total, y estableciendo uno de los cuatro patrones ultrasonográficos descritos en el SDRA, a los cuales se les asignaba un puntaje de acuerdo con los cambios mostrados, y otorgando un *score* final. Encontrando una correlación significativa entre la PPFE establecida por curva de presión volumen y el *score* de reaereación de + 8 puntos o >, con una PPFE que lograba reclutamiento pulmonar de 600 mL o >, con una p < 0.0001. Se encontró correlación significativa entre la PPFE establecida por curva de presión volumen y un *score* ultrasonográfico que logró reclutamiento pulmonar de + 4 puntos o < con un volumen de reclutamiento de 75-450 mL con una p < 0.05. Los autores concluyen que la PPFE que logra reclutamiento pulmonar puede ser adecuadamente estimada por ultrasonografía pulmonar a la cabecera del paciente (*Figura 2*).<sup>7</sup>

Patrones ultrasonográficos de aereación pulmonar:



**Figura 1.**

Disminución de la zona de colapso (área punteada) y ganancia de volumen pulmonar (P) posterior al reclutamiento alveolar e incremento progresivo de la presión positiva al final de la espiración.



**Figura 2.**

Modificación del patrón ultrasonográfico pulmonar en el SDRA con diferentes niveles de PPFE en donde se observa: **A)** evolución de patrón C a patrón N, **B)** evolución de patrón C a patrón B2, **C)** evolución de patrón B2 a patrón B1, lo que traduce diferentes patrones de ganancia de volumen pulmonar y **D)** evolución de patrón B1 a B2.

- B1: múltiples líneas B bien definidas o regularmente espaciadas 7 mm o > (pérdida moderada de aereación).
- B2: múltiples coalescentes líneas B, espaciadas 3 mm o < (pérdida severa de aereación).
- C: consolidación pulmonar.
- N: patrón de aereación normal.

Se examinan 12 áreas torácicas en total, seis en cada hemitórax, divididas por la línea axilar anterior y la línea axilar posterior, así como regiones superiores e inferiores.<sup>7</sup>

Bouhemad realizó un estudio prospectivo aleatorizado, con el objetivo de comparar la reaereación pulmonar en pacientes con neumonía asociada con la ventilación mecánica y tratados con antibióticos, evaluado mediante tomografía computada (TAC), ultrasonografía y radiografía de tórax, en pacientes con lesión pulmonar en los cuales por medio de la comparación observó la evolución de 30 pacientes con neumonía, realizando estos estudios del día 0-7 en que iniciaron terapia antimicrobiana y se compararon los resultados obtenidos con cada método diagnóstico. Se estableció un *score* de reaereación (descrito previamente) por ultrasonografía, y encontró correlación y resultados similares con la tomografía, dejando muy por debajo a la radiografía de tórax.<sup>9</sup>

Se consideró terapia antimicrobiana exitosa si:

- a) Disminuía clínicamente el índice de infección pulmonar.
- b) Si en la tomografía se observaba reaereación con regresión completa o parcial de las consolidaciones.
- c) Extubación en los primeros 4-7 días.

Los resultados mostraron correlación significativa entre un *score* ultrasonográfico de > 5 puntos, con reaereación de > 400 mL, mostrada por TAC y una terapia antimicrobiana exitosa, así mismo un *score* de < 10 puntos se correlacionó de manera significativa con una pérdida de aereación de > 400 mL evaluado por TAC y falla en la terapia antibiótica con una  $p < 0.0001$ .

Los autores concluyen que la reaereación pulmonar puede ser correctamente estimada con ultrasonografía pulmonar a la cabecera del paciente, en pacientes con neumonía asociada con la ventilación mecánica bajo tratamiento antibiótico, y también puede detectar la falla al tratamiento antibiótico.<sup>9</sup>

Es importante mencionar que existe una estrecha relación entre el SDRA, ventilación mecánica y función ventricular, debido a la afección de unidades alveolares, presiones positivas y su impacto sobre la circulación pulmonar.<sup>1,11</sup>

La presión meseta, la PPFE y los niveles de  $pCO_2$ , tienen un importante efecto fisiológico sobre el funcionamiento del ventrículo derecho (VD), los cuales pueden llevarlo a disfunción del VD, manifestándose en su expresión máxima como: *cor pulmonale* agudo.

El desarrollo de *cor pulmonale* agudo ocurre hasta en 25% de pacientes con SDRA, definiéndose ultrasonográficamente por la presencia de la dilatación del ventrículo derecho y movimiento paradójico del *septum*. Así mismo, se reporta una incidencia de *cor pulmonale* agudo de 10-15% con presiones meseta menores de 27  $cmH_2O$ , sin impacto sobre la mortalidad y una incidencia de 35% con presiones meseta de 27-35  $cmH_2O$ , con impacto sobre la mortalidad.

Derivado de este efecto sobre el funcionamiento del VD, recientes estudios buscan lograr un equilibrio entre reclutamiento pulmonar y sobredistensión pulmonar, siendo propuesta en esta estrategia de ventilación mecánica el término de: enfoque protector del ventrículo derecho, que incluye lo siguiente:

- Presión plateau menor de 27-28  $cmH_2O$ .
- Evitar PPFE intrínseca.
- Evitar hipercapnia.
- Nivel de PPFE bajo (individualizado).
- Uso de decúbito prono en pacientes con SDRA severo.<sup>1-11</sup>

En los estudios revisados se destaca la accesibilidad del ultrasonido para evaluar regiones de reclutamiento alveolar, como una herramienta útil para el monitoreo no invasivo y continuo a la cabecera del paciente, con una curva accesible de aprendizaje, y por otra parte se refiere la falta de evidencia para detectar áreas de sobredistensión alveolar, quedando aún pendiente determinar su utilidad para detectar áreas de hiperinsuflación pulmonar, y que al respecto existen estudios experimentales en relación con el impacto de la sobredistensión pulmonar y la pérdida del pulso pulmonar, así como del impacto de la sobredistensión en el ventrículo derecho y la validación de la velocidad del flujo máximo de la arteria pulmonar, y la desaceleración del flujo de la arteria pulmonar como marcadores precoces de disfunción del ventrículo derecho.<sup>12,13</sup>

Podemos concluir que en la actualidad no existe una herramienta de monitoreo de reclutamiento alveolar que siendo utilizada de manera única y aislada pueda ser considerada como el estándar de oro, ante lo cual es necesario el empleo de la mayor cantidad de herramientas disponibles para su monitoreo. Es aquí donde la ultrasonografía toma relevancia como una herramienta de utilidad para el monitoreo de reclutamiento alveolar con la ventaja sobre otros métodos de detectar el impacto de la ventilación mecánica y la presión positiva sobre el funcionamiento del ventrículo derecho, existiendo importantes áreas de oportunidad que requerirán de estudios adicionales que arrojen mayor evidencia científica.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Gardelli G, Feletti F, Gamberini E, Bonarelli S. Using sonography to assess lung recruitment in patients with acute respiratory distress syndrome. *Emerg Radiol.* 2009;16:219-221.
2. Algaba A. Maniobras de reclutamiento alveolar en el síndrome de distrés respiratorio agudo. *Medicina Intensiva.* 2013;37:355-362.
3. Carrillo-Esper R, Sánchez-Zúñiga M. Reclutamiento pulmonar. *Medicina Crítica.* 2008;31:S139-S143.
4. Rama-Maceiras P. Atelectasias perioperatorias y maniobras de reclutamiento alveolar. *Arch Bronconeumol.* 2010;46:317-324.
5. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med.* 2012;38:577-591.
6. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein D, Mathis G. Lung ultrasound in acute respiratory distress syndrome and acute lung injury. *Current Opinion in Critical Care.* 2008;14:70-74.
7. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med.* 2011;183:341-347.
8. Wierzejski W, Adamski J, Weigl W, Gereg A. Modern methods of assessment of lung aeration during mechanical ventilation. *Anaesthesiol Intensive Ther.* 2012;44:226-231.
9. Bouhemad B, Liu Z, Arbelot M. Ultrasound assessment of antibiotic-induced pulmonary reaeration in ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med.* 2010;38:84-92.
10. Konstantinos S, Stavros D, Elli-Sophia T, Konstantinos V, Panagiotis P, Ploutarchos P, et al. Lung sonography and recruitment in patients with early acute respiratory distress syndrome: a pilot study. *Critical Care.* 2011;15:R185.
11. Lu Q. How to assess positive end-expiratory pressure-induced alveolar recruitment? *Minerva Anesthesiol.* 2013;79:83-91.
12. Bouferrache K, Vieillard A. Acute respiratory distress syndrome, mechanical ventilation, and right ventricular function. *Current Opin Criti Care.* 2011;17:30-35.
13. Chiumello D, Froio S, Bouhemad B, Camporota L, Coppola S. Clinical review: lung imaging in acute respiratory distress syndrome patients-an update. *Critical Care.* 2013;17:243-253.

*Correspondencia:*  
Dr. Raúl Carrillo Esper  
Unidad de Terapia Intensiva.  
Fundación Clínica Médica Sur.  
E-mail: revistacma95@yahoo.com.mx