

Reclutamiento alveolar y decúbito prono para el manejo del síndrome de insuficiencia respiratoria

Raúl Carrillo Esper,* Vladimir Contreras Domínguez**

RESUMEN

El espectro de cambios inflamatorios en los pulmones incluye el síndrome de insuficiencia respiratoria aguda (SIRA) como la manifestación más grave; sin embargo, otras enfermedades con estrecha relación son la lesión pulmonar aguda y la lesión pulmonar inducida por ventilador. La consecuencia final de esos cambios es el cierre o colapso progresivo de unidades alveolares que se manifiesta como hipoxemia, desaturación y disminución del volumen pulmonar en la radiografía y tomografía computada de tórax. Las modalidades de ventilación mecánica en enfermos con SIRA incluyen protección pulmonar con bajos volúmenes corrientes relacionada con presión positiva al final de la espiración, con la finalidad de mantener abiertos los alvéolos pulmonares colapsados, y técnicas de reclutamiento alveolar mediante el incremento temporal y sostenido de la presión en la vía aérea. Las maniobras de reclutamiento alveolar utilizadas son: niveles elevados y continuos de presión positiva, suspiros intermitentes y posición en decúbito prono. En todas ellas el uso de presión positiva al final de la espiración es un requisito fundamental para mantener el beneficio de la maniobra y prevenir la lesión pulmonar inducida por ventilador como resultado de atelectrauma.

Palabras clave: síndrome de insuficiencia respiratoria aguda (SIRA), lesión pulmonar aguda, lesión pulmonar inducida por ventilador, colapso alveolar, reclutamiento alveolar.

ABSTRACT

The pulmonary changes during inflammation include acute respiratory distress syndrome (ARDS) as the most severe manifestation. Other entities associated are acute pulmonary injury and ventilator-induced injury. The final consequence of these inflammatory changes is the progressive alveolar collapse that is manifested as hypoxia, hemoglobin desaturation of oxygen and reduction of the pulmonary volumes in the x-rays and computed tomography. The mechanical ventilatory strategies in the ARDS include pulmonary protection strategy with low tidal volume (5 mL/kg) and high positive end expiratory pressure (PEEP) in order to maintain open (recruited) the pulmonary alveoli previously collapsed. The recruitment maneuvers are also other useful techniques. They provide a high and sustained airway pressure. The most commonly used techniques include: high and sustained positive pressure, intermittent sighs and prone position. PEEP is an important contributor in all of these maneuvers to maintain the beneficial effect of the alveolar recruitment maneuver and prevent the mechanical ventilation complications, including atelectrauma.

Key words: acute respiratory distress syndrome (ARDS), acute pulmonary injury, ventilator-induced lung injury, alveolar collapse, alveolar recruitment.

* Academia Mexicana de Cirugía. Profesor titular de postgrado de medicina del enfermo en estado crítico. Jefe de la unidad de terapia intensiva.

** Médico residente de la especialidad de medicina del enfermo en estado crítico.
Hospital Central Sur de Alta Especialidad, Petróleos Mexicanos.

Correspondencia: Dr. Raúl Carrillo Esper. Unidad de terapia intensiva, Hospital Central Sur de Alta Especialidad, Petróleos Mexicanos. Periférico Sur 4091 Col. Fuentes del Pedregal, CP 14140. Tel.: 56451684 ext. 51155. E-mail: seconcapcma@mail.medinet.net.mx; vlad1803@prodigy.net.mx

Recibido: julio, 2004. Aceptado: julio, 2004.

La versión completa de este artículo también está disponible en internet: www.revistasmedicasmexicanas.com.mx

El síndrome de insuficiencia respiratoria aguda es una enfermedad frecuente en las unidades de cuidados intensivos. El espectro de cambios inflamatorios en los pulmones incluye el SIRA como la manifestación más grave; sin embargo, otras afecciones con estrecha relación incluyen la lesión pulmonar aguda y la lesión pulmonar inducida por ventilador.¹

El síndrome de insuficiencia respiratoria aguda se distingue por disnea, hipoxemia progresiva grave, disminución de la distensibilidad pulmonar e infiltrados pulmonares difusos en forma bilateral en la radiografía simple de tórax. Un requisito adicional para el diagnóstico es la presión de oclusión de la arteria pulmonar menor a 18 mmHg. La diferenciación entre

la lesión pulmonar aguda y el síndrome de insuficiencia respiratoria aguda es el índice de oxigenación ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) menor a 300 y 200, respectivamente. En la fisiopatología del padecimiento existe consolidación alveolar que se distingue por acumulación de líquido, proteínas y células inflamatorias que altera la permeabilidad con un rápido recambio hídrico hacia el espacio intersticial, a pesar de una presión de oclusión de la arteria pulmonar normal, lo que genera el cierre o colapso de un creciente número de unidades alveolares y, en consecuencia, el incremento del cortocircuito intrapulmonar e hipoxemia grave.¹

El síndrome de insuficiencia respiratoria aguda puede ser resultado de un proceso sistémico que inicia por pancreatitis, quemaduras, infección o cualquier factor desencadenante de inflamación (SIRA secundario); no obstante, la lesión pulmonar directa también puede desencadenarlo (SIRA primario).

La lesión pulmonar inducida por ventilador es una complicación asociada con la técnica de ventilación empleada y es consecuencia de la aplicación repetitiva de estrés excesivo al fibroesqueleto y vasculatura pulmonar, a la vía aérea terminal y al tejido yuxtalveolar. El estrés aplicado al tejido pulmonar puede evaluarse en la clínica con la presión transpulmonar (diferencia entre la presión estática de la vía aérea o *plateau* y la presión pleural estimada con un balón esofágico). Sin embargo, esta presión tiene amplias variaciones bajo la influencia de la gravedad, irregularidades de la pared torácica, presión intraabdominal, peso del mediastino y las presiones vasculares de llenado, por lo que sólo se obtiene un estimado del estrés sin que las maniobras reflejen los cambios reales en diferentes regiones del parénquima pulmonar.¹

La consecuencia final de los cambios es el cierre o colapso progresivo de unidades alveolares. Las técnicas de ventilación mecánica en pacientes con síndrome de insuficiencia respiratoria aguda incluyen la protección pulmonar, que utiliza bajos volúmenes corrientes (6 mL/kg), en asociación con presión positiva al final de la inspiración, con la finalidad de mantener abiertos los alvéolos colapsados (también llamadas estrategias de apertura pulmonar).² El reclutamiento alveolar es una técnica que se emplea para abrir las unidades alveolares colapsadas mediante el incremento temporal y sostenido de la presión en la vía aérea. En los

pacientes con SIRA y lesión pulmonar aguda se describen tres diferentes compartimentos:³

- Áreas pulmonares normales susceptibles a barotrauma con el uso de ventilación inadecuada.
- Espacios aéreos con exudado que no pueden reclutarse.
- Áreas colapsadas por infiltrado intersticial que potencialmente pueden reclutarse.

De acuerdo con lo anterior, las maniobras de reclutamiento alveolar permiten la apertura de unidades colapsadas; sin embargo, al disminuir la presión de la vía aérea muchas de las unidades se colapsarán de nuevo y occasionarán atelectroma y más lesión pulmonar. Para prevenir el cierre de unidades alveolares se requiere la aplicación de presión positiva al final de la inspiración (PPFE). Las ventajas de la PPFE incluyen:⁴

- Incrementa la capacidad residual funcional.
- Recluta unidades alveolares adicionales y mejora la distensibilidad pulmonar.
- Reduce los cortocircuitos pulmonares.
- Permite disminuir la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2).
- Puede disminuir la precarga en la insuficiencia cardiaca congestiva.

Los efectos de la presión positiva al final de la inspiración deben monitorizarse de manera continua, ya que algunos de los efectos secundarios incluyen disminución del retorno venoso por incremento en la presión media de la vía aérea, alteración de la perfusión a áreas pulmonares sobredistendidas (incremento del espacio muerto), incremento en la resistencia vascular pulmonar y disfunción cardiaca derecha, barotrauma y alteraciones en el flujo sanguíneo renal, que son causa frecuente de deterioro hemodinámico en pacientes críticamente enfermos con afección cardiovascular y en los que tienen déficit de volumen intravascular.

ESTUDIOS DE IMAGEN

La radiografía simple de tórax es una herramienta útil en la evaluación de los pacientes con enfermedades pulmonares, pero en los casos de SIRA no discrimina

las áreas de colapso alveolar ni la magnitud de los mismos. Los hallazgos característicos son infiltrados parenquimatosos difusos; sin embargo, al correlacionarla con la tomografía computada se encuentra que los infiltrados tienen distribución heterogénea con predominio en las regiones pulmonares dependientes en relación con un patrón gravitacional (figura 1). La distribución depende de:⁵

- Causa del SIRA (primario/pulmonar o secundario/extrapulmonar).
- Parámetros de ventilación mecánica.
- Posición del paciente.
- Tiempo. Incrementa la fibrosis pulmonar que distorsiona el intersticio y la vasculatura.

TÉCNICAS DE RECLUTAMIENTO ALVEOLAR

Amato y colaboradores describieron la relación de las curvas de presión-volumen y su correlación tomográfica durante la ventilación mecánica en pacientes con SIRA y encontraron que los pulmones de los pacientes ventilados con presión positiva al final de la espiración de 2 cmH₂O por arriba del punto de inflexión inferior continuaban con opacidades alveolares en las áreas dependientes que disminuyeron con la presurización en la curva de presión-volumen.⁶ Las opacidades pulmonares fueron diferentes a la misma presión en la rama inspiratoria de la curva presión-volumen, por lo que durante la inspiración ocurre reclutamiento alveolar, pero durante la espiración los

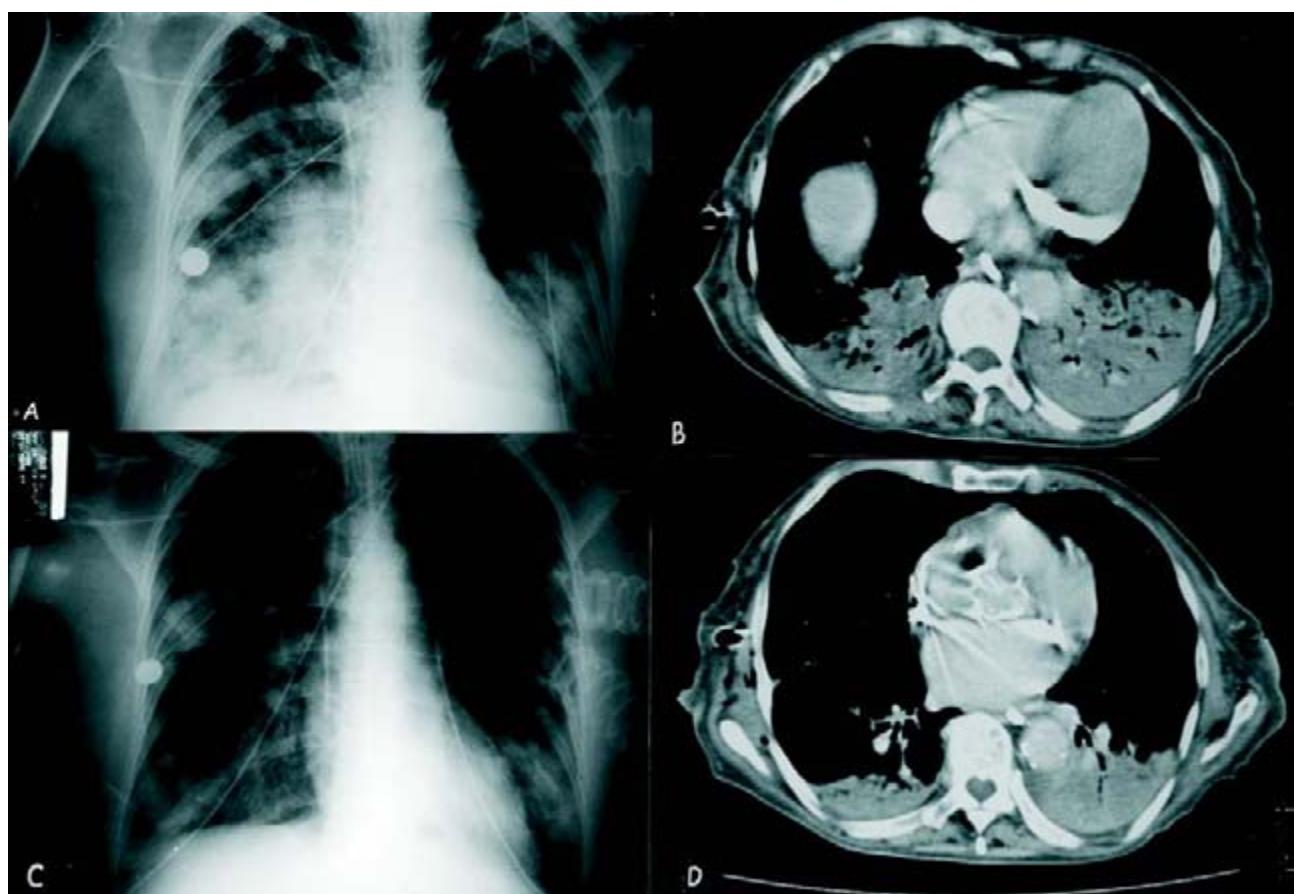


Figura 1. Estudios de imagen. **A:** Radiografía simple de tórax en proyección posteroanterior con infiltrado bibasal correspondiente a colapso alveolar. **B:** Tomografía axial computada de tórax con colapso alveolar en región basal. **C:** Radiografía simple de tórax en proyección posteroanterior después de maniobra de reclutamiento alveolar y técnica de ventilación mecánica con protección pulmonar, se observa aumento del volumen pulmonar y disminución del infiltrado pulmonar. **D:** Tomografía axial computada posterior a maniobra de reclutamiento alveolar con disminución del colapso alveolar basal e incremento en el volumen pulmonar.

alvéolos tienden a colapsarse (desreclutamiento) y finalmente según la presión inspiratoria máxima alcanzada se obtienen diferentes volúmenes pulmonares con la misma presión durante la espiración (teoría de los sobres en la curva de presión-volumen).^{7,8} Esos hallazgos son la base para el uso de maniobras de reclutamiento alveolar en asociación con una técnica de protección pulmonar como la alternativa más eficiente para el manejo ventilatorio de pacientes ingresados a la unidad de cuidados intensivos por síndrome de insuficiencia respiratoria aguda, con lo que se ha obtenido incremento en la supervivencia del 62% a los 28 días.⁶

Las técnicas de reclutamiento alveolar estudiadas hasta el momento son variables, pero todas se distinguen por el empleo de presión elevada de la vía aérea con asociación de la presión positiva al final de la espiración. El éxito de las maniobras depende de la combinación de la PPFE, de la ventilación en control de presión aplicada y del tiempo, del mecanismo de lesión (lesión primaria o secundaria, también llamada extrapulmonar) y de la posición del paciente. Las técnicas o maniobras de reclutamiento alveolar utilizadas incluyen:⁵

- Niveles elevados de presión positiva continua (CPAP).
- Suspiros intermitentes.
- Posición en decúbito prono.

Niveles elevados de presión positiva continua

Amato y colaboradores⁶ emplearon presión positiva continua de 40 cmH₂O con presión positiva al final de la espiración de 2 cmH₂O por arriba del punto de inflexión inferior en la curva de presión-volumen durante 40 segundos en pacientes con SIRA y encontraron incremento en el índice de oxigenación. Para prevenir el desreclutamiento se mantuvo una PPFE elevada, que en su estudio correspondió, en promedio, a 16 cmH₂O.^{7,8} Dicha maniobra se aplica en forma repetitiva para reclutar más unidades alveolares. En la figura 2 se muestran los gráficos de las curvas presión-volumen de un paciente con ventilación mecánica y colapso alveolar, donde se observa incremento de volumen durante el uso de la maniobra de reclutamiento alveolar.

Grasso y su equipo⁹ estudiaron pacientes ventilados con técnica de protección pulmonar y emplearon como maniobra de reclutamiento alveolar presión positiva continua de 40 cmH₂O durante 40 segundos. Los

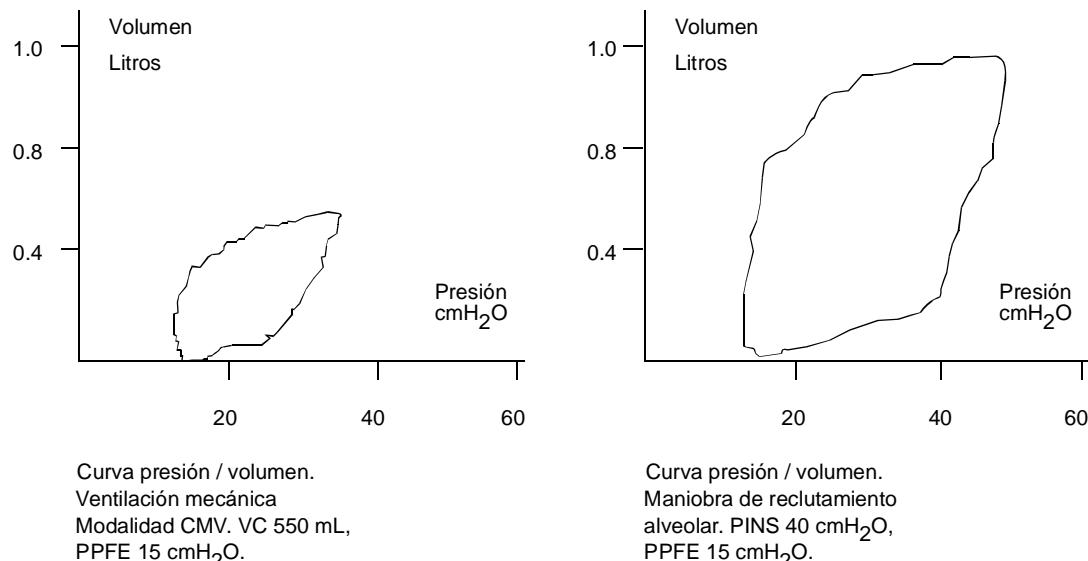


Figura 2. Curvas de presión-volumen durante la maniobra de reclutamiento alveolar. **Izquierda:** curva presión-volumen prerreclutamiento en ventilación mecánica en modalidad CMV, VC 550 mL, PPFE 15 cmH₂O, donde se observan volúmenes pulmonares pequeños. **Derecha:** curva presión-volumen durante la maniobra de reclutamiento alveolar con presión positiva continua en la vía aérea. Se observa incremento del volumen en relación con el aumento de la presión intraalveolar. Se aplica PPFE para mantener el reclutamiento alveolar. CMV: ventilación mandatoria; VC: volumen corriente; PPFE: presión positiva al final de la espiración; PINS: presión inspiratoria.

pacientes respondedores fueron los que tuvieron incremento en el índice de oxigenación del 50% posterior a la maniobra. El grupo respondedor tuvo mayor distensibilidad pulmonar y menor distensibilidad de la pared torácica, además de menor tiempo de ventilación mecánica y alteraciones hemodinámicas que el grupo no respondedor.

Suspiros intermitentes

En el estudio de Pelosi y colaboradores¹⁰ a los pacientes con síndrome de insuficiencia respiratoria aguda se les ventiló con la técnica de protección pulmonar durante dos horas, seguido de una hora con la misma maniobra de protección pulmonar y tres suspiros continuos por minuto con presión meseta (presión *plateau*) de 45 cmH₂O y luego una hora de ventilación con protección pulmonar sin suspiros. Se observó mejoría del índice de oxigenación y del volumen pulmonar al final de la espiración; sin embargo, los valores regresaron al basal después de 30 minutos sin el empleo de suspiros. En la mayor parte de los casos el desreclutamiento alveolar es el responsable de la disminución del índice de oxigenación, por lo que se requiere la práctica de esas maniobras en forma repetida.

Barbas y su equipo¹¹ utilizaron presión positiva al final de la espiración de 2 cmH₂O arriba del punto de inflexión inferior y volumen corriente de 6 mL/kg en dos grupos de pacientes con SIRA. El primer grupo recibió tres ciclos de ventilación con control de presión de 40 cmH₂O durante seis segundos cada tres horas y cuando fuera necesario, el segundo grupo obtuvo tres ciclos de ventilación con control de presión de 40, 50 y 60 cmH₂O durante seis segundos cada tres horas. El último grupo tuvo mayor incremento en el índice de oxigenación sin repercusiones hemodinámicas en comparación con el primero.

Posición en decúbito prono

La posición en decúbito prono no es en sí misma una maniobra de reclutamiento alveolar, sino que permite una distribución homogénea del gradiente gravitacional de inflación alveolar con distribución hacia las áreas dependientes del pulmón. Es una estrategia que se utiliza para mejorar la oxigenación y la capacidad residual funcional pulmonar sin afectar el sistema respiratorio, la distensibilidad pulmonar ni la de la pared

torácica en pacientes con SIRA grave. Esto mediante los cambios en la presión hidrostática pulmonar, el flujo vascular pulmonar, el peso del corazón y la morfología de la pared torácica. La mejoría en la oxigenación se atribuye al incremento del volumen pulmonar y a la redistribución de la perfusión pulmonar y favorece el reclutamiento de las regiones dorsales con una distribución más homogénea de la ventilación y la perfusión (cuadro 1).¹²

Cuadro 1. Mecanismos implicados en la mejoría de la oxigenación durante el decúbito prono

1. Incremento del volumen pulmonar.
1. Redistribución de la perfusión pulmonar.
2. Favorece el reclutamiento de las regiones dorsales.
3. Distribución homogénea de la ventilación y perfusión.

Durante la respiración espontánea y en la posición supina la ventilación es preferente en las áreas dependientes o ventrales; sin embargo, durante la ventilación mecánica las variaciones en la presión pleural y el nivel de presión positiva empleada condicionan una distribución preferencial de la ventilación en las regiones no dependientes o dorsales con distribución ventral del aire. En la posición de decúbito prono la distribución del aire es mayor en las áreas no dependientes o dorsales que en las regiones ventrales. Esto ocurre porque la caja torácica tiene mayor distensibilidad en el área ventral y en el decúbito prono las regiones espinal y dorsal de la caja torácica disminuyen los movimientos torácicos no dependientes y desplazan la ventilación hacia las regiones ventrales.^{13,14,15}

El decúbito prono altera también la posición del diafragma y cambia la capacidad residual funcional. Los cambios en las presiones pleurales asociados con variaciones en la presión intraabdominal originan áreas de atelectasias; cuando se adopta el decúbito prono las presiones pleurales son más uniformes. Éste es un factor que contribuye a la mejoría de la oxigenación observada en ese grupo de pacientes.¹⁴⁻¹⁸

En resumen, el decúbito prono incrementa la capacidad residual funcional con reducción del cierre del espacio aéreo al final de la espiración, la orientación dorsoventral de la vía aérea favorece el drenaje de secreciones pulmonares, la relación de la ventilación regional y la relación ventilación-perfusión son más

uniformes, la oxigenación mejora por la anatomía del diafragma, por los cambios mecánicos posturales en la caja torácica y por el acoplamiento pulmonar con menor distorsión inducida por el mediastino, el corazón y el diafragma. Los efectos de las maniobras de reclutamiento alveolar son mayores y sostenidos durante el decúbito prono; asimismo dicha posición disminuye la frecuencia de lesión pulmonar inducida por ventilador.¹⁹

Las indicaciones para el uso del decúbito prono incluyen:^{20,21}

- Lesión pulmonar aguda.
- SIRA.
- Consolidación o colapso basal bilateral.
- Drenaje postural de secreciones.
- Pacientes con índice de oxigenación < 300 o que requieren concentraciones progresivas de oxígeno o niveles de PPFE para mantener oxemias aceptables.

Las contraindicaciones relativas en las que deberá valorarse el riesgo-beneficio de la maniobra son:²²

- Inestabilidad hemodinámica aguda o choque.
- Paro cardiaco reciente, operación cardíaca o esternotomía.
- Peso > 90 kg o circunferencia > 50 pulgadas.
- Dolor o agitación.
- Traqueostomía en las últimas 24 horas.
- Fístula broncopleural.
- Distensión abdominal importante, isquemia intestinal, estoma abdominal u operación abdominal reciente.
- Embarazo en el segundo y tercer trimestre.
- Traumatismo craneoencefálico agudo, hipertensión intracranal y crisis convulsivas.
- Hipertensión intraocular, operación oftalmológica reciente.
- Traumatismo de columna cervical, inestabilidad de la columna vertebral, osteoporosis.
- Politraumatismo, fractura pélvica aguda, fijación pélvica externa, fracturas costales o de esternón y tracción.
- Asma aguda, enfermedad pulmonar obstructiva crónica o absceso pulmonar.
- Hemoptisis aguda o hemorragia pulmonar aguda.

- Anormalidades anatómicas de la pared torácica, xifoescoliosis o artritis avanzada.
- Lesión extensa de los tejidos blandos abdominal e inguinal.
- Traumatismo facial o posterior a la operación maxilofacial.

Para el adecuado manejo del paciente en la posición de decúbito prono se requiere la participación activa de un grupo con experiencia en esa maniobra. El manejo de la vía aérea, así como catéteres y sondas son un factor determinante, puesto que son la causa más frecuente de complicaciones potencialmente fatales. La comunicación con los familiares del enfermo es esencial para disminuir la ansiedad generada y establecer mejor coordinación con ellos. Es necesario un control gasométrico basal con el índice de oxigenación previo al cambio de posición para catalogar al enfermo como respondedor o no respondedor, así como la evaluación de la eficacia de la maniobra en la oxigenación. A un paciente se le considera respondedor cuando la PaO₂ incrementa más de 10 mmHg o el índice de oxigenación incrementa más de 20 mmHg. A pesar de que la mayoría de los pacientes respondedores tendrá rápida mejoría de la oxigenación con el decúbito prono hay un grupo de pacientes que tendrá esta mejoría en forma gradual, por lo que si no hay mejoría rápida y no hay mayor deterioro de las condiciones del enfermo, deberá esperarse de 3 a 6 horas para permitir el beneficio de la maniobra. Los pacientes no respondedores en seis horas o que manifiesten grave deterioro de sus condiciones deben regresarse a la posición supina, con la premisa de que la falta de respuesta en el primer intento no excluye la posibilidad de respuesta en un segundo (figura 3).²¹⁻²⁵

Si el paciente desencadena inestabilidad hemodinámica durante la maniobra y ésta persiste en la posición prona debe regresársele a la posición supina, con la finalidad de prevenir complicaciones graves. Los sitios de apoyo en la posición prona son esencialmente la cara, el tórax superior y la pelvis, por lo que es importante la vigilancia estrecha de los globos oculares, los pabellones auriculares y los genitales. Durante la maniobra de cambio de posición se requiere la presencia de un especialista en el manejo de la vía aérea, quien además será el líder del equipo involucrado y respon-

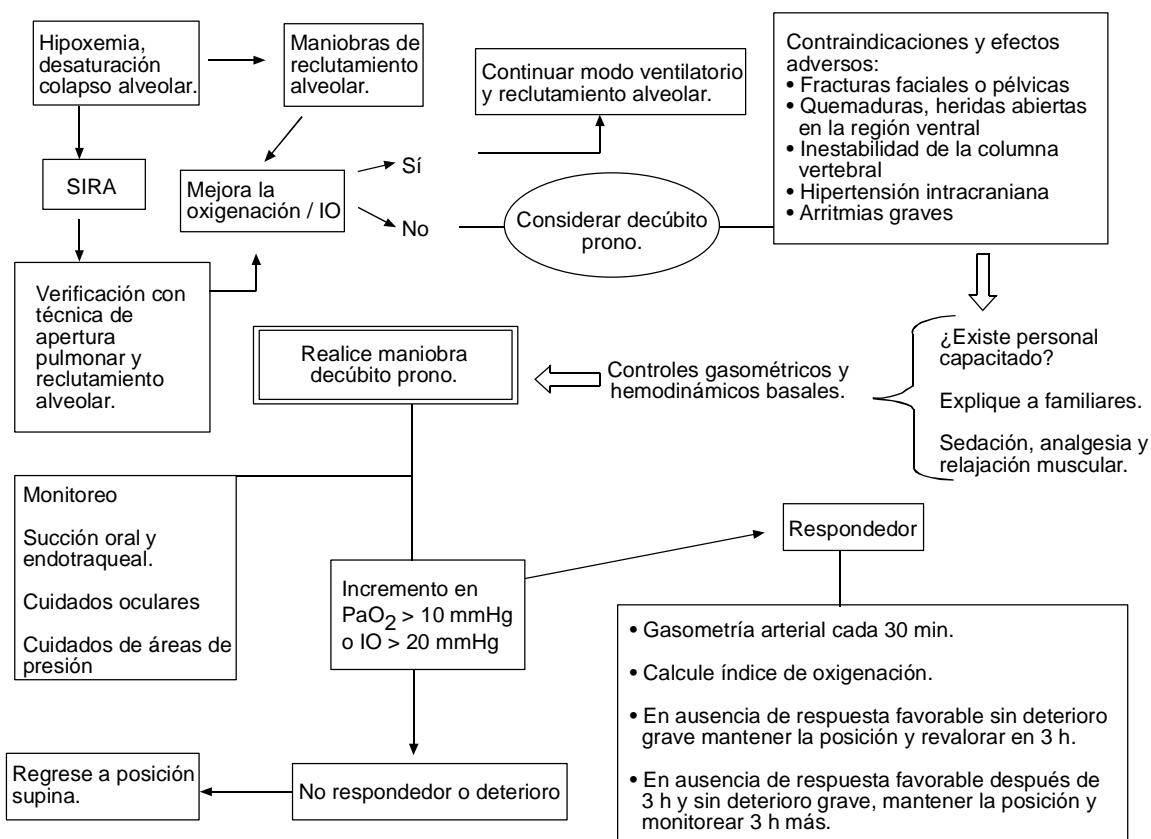


Figura 3. Algoritmo de evaluación para el uso del decúbito prono. IO: índice de oxigenación.



Figura 4. Posición de decúbito prono.

sable de la manipulación de la cabeza y vía aérea del paciente.²⁶⁻³⁰

El decúbito prono predispone a complicaciones que se limitan con una adecuada preparación del paciente y seguimiento estrecho. Entre las complicaciones se encuentran: desplazamiento de la cánula endotraqueal o extubación accidental durante la maniobra de rotación o bien durante la aspiración de secreciones, dificultad en el cuidado de los ojos, la cavidad oral y la cara, desplazamiento, compresión o dificultad para el manejo y colocación de líneas vasculares, presión en las mejillas, la región pectoral, los genitales, las rodillas y el área pélvica, reflujo gástrico, intolerancia a la alimentación enteral, traslocación bacteriana, rigidez y sobredistensión articular, compresión nerviosa y contracturas musculares.²¹ En la figura 4 se muestra la posición correcta del decúbito prono.

Con frecuencia, la oxigenación disminuye en los primeros minutos que el enfermo se coloca en la posición prona, debe interpretarse como falta de respuesta a la maniobra. Este fenómeno es secundario a la movilización de secreciones abundantes en la vía aérea y a cambios en el flujo sanguíneo, ocasionados por la sobredistensión de unidades alveolares que lo desplazan hacia áreas alveolares colapsadas o mal ventiladas. Por lo regular, esa caída en la oxigenación regresa a su valor basal o mejora en pocos minutos.²¹

CONCLUSIÓN

El cierre progresivo de unidades alveolares o colapso alveolar es consecuencia de cambios en las variables fisiológicas normales del mecanismo de ventilación. Es común que los enfermos bajo procedimientos anestésicos y ventilación mecánica manifiesten colapso alveolar y requieran maniobras de reclutamiento alveolar frecuentes para mantener el adecuado intercambio gaseoso. La presión positiva al final de la espiración es fundamental para preservar el beneficio de la maniobra de reclutamiento alveolar y disminuir el mecanismo de lesión pulmonar inducido por ventilación.

REFERENCIAS

1. Marini JJ, Gattinoni L. Ventilatory management of acute respiratory distress syndrome: a consensus of two. Crit Care Med 2004;32:250-5.
2. Hess DR, Bigatello LM. Lung recruitment: the role of recruitment maneuvers. Respir Care 2002;47:308-17.
3. Habashi NM, et al. New directions in ventilatory management. In: Franco KL, Putman JB, editors. Advanced therapy in thoracic surgery. 1998;pp:24-35.
4. Tusman G, Böhm SH, Vázquez de Anda GF, et al. Alveolar recruitment strategy improves arterial oxygenation during general anesthesia. Br J Anaesth 1999;82:8-13.
5. Valente BS. Lung recruitment maneuvers in acute respiratory distress syndrome and facilitating resolution. Crit Care Med 2003;31:S265-71.
6. Amato MBP, Barbas CSV, Medeiros DM, et al. Effect of prospective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 1998;338:347-54.
7. Pelosi P, Goldner M, McKibben A, et al. Recruitment and derecruitment during acute respiratory failure: an experimental study. Am J Respir Crit Care Med 2001;164:122-30.
8. Crotti S, Mascheroni D, Caironi P, et al. Recruitment and desrecruitment during acute respiratory failure: a clinical study. Am J Respir Crit Care Med 2001;164:131-40.
9. Grasso S, Mascia L, Del Turco M, et al. Effects of recruitment maneuvers in patients with acute respiratory distress syndrome ventilated with protective ventilatory strategy. Anesthesiology 2002;96:795-802.
10. Pelosi P, Cadringher P, Bottino N, et al. Sigh in acute distress respiratory syndrome. Am J Respir Crit Care Med 1999;159:872-80.
11. Barbas CSV, Silva E, Garrido A, et al. Recruitment maneuvers with different pressure control levels in ARDS patients. Am J Respir Crit Care 2001;163:A163.
12. Pelosi P, Caironi P, Taccone P, et al. Pathophysiology of prone position in the healthy lung and in ALI/ARDS. Minerva Anestesiolog 2001;67:238-47.
13. Mure M, Lindahl SGE. Prone position improves gas exchange—but how? Acta Anaesthesiol Scand 2001;45:150-9.
14. Brazzi L, Ravagnan I, Pelosi P, et al. Prone position in anaesthesia and intensive care. Care Crit III 1999;15:5-10.
15. Mutoh T, Guest RJ, Lamm WJE, et al. Prone position alters the effect of volume overload on regional pleural pressures and improves hypoxemia in pigs *in vivo*. Am J Respir Crit Care Med 1992;146:300-6.
16. Ranieri VM, Brienza N, Santostasi S, et al. Impairment of lung and chest wall mechanics in patients with acute respiratory distress syndrome: role of abdominal distension. Am J Respir Crit Care Med 1997;156:1082-91.
17. Pelosi P, Croci M, Calappi E, et al. The prone positioning during general anesthesia minimally affects respiratory mechanics while improving functional residual capacity and increasing oxygen tension. Anesth Analg 1995;80:955-60.
18. Rothen HU, Sporre B, Engberg G, et al. Airway closure, atelectasis and gas exchange during general anesthesia. Br J Anaesth 1998;81:681-6.
19. Messerole E, Peine P, Wittkopp S, et al. The pragmatics of prone positioning. Am J Respir Crit Care Med 2002;165:1359-63.
20. Rowe C. Development of clinical guidelines for prone positioning in critically ill adults. Nurs Crit Care 2004;9:50-57.
21. Chatte G, Sab J, Dubois J, et al. Prone position in mechanically ventilated patients with severe acute respiratory failure. Am

- J Respir Crit Care Med 1997;155:473-8.
- 22. Gattinoni L, Tognoni G, Brazzi L, et al. Ventilation in the prone position. *Lancet* 1997;350:815-20.
 - 23. Jolliet P, Bulpe P, Chevrolet J, et al. Effects of the prone position on gas exchange and haemodynamics in severe acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med* 1998;26:1977-85.
 - 24. Canter C. Nursing mechanically ventilated patients in the prone position. *Care Crit III* 1989;3:3-4.
 - 25. Trottier S. Prone position in acute respiratory distress syndrome: turning over an old idea. *Crit Care Med* 1998;26:1934-5.
 - 26. Blanch L, Mancebo J, Pérez M, et al. Short-term effects of prone position in critically ill patients with acute distress respiratory syndrome. *Intensive Care Med* 1997;23:1033-9.
 - 27. Gosheron M, Leaver G, Forester A, et al. Prone lying—a nursing perspective. *Care Critically* 1998;14:89-92.
 - 28. Pelosi P, Masheroni TD, et al. Effects of the prone position on respiratory mechanics and gas exchange during acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;157:387-93.
 - 29. Ball C. Use of the prone position in the management of acute respiratory distress syndrome. *Intensive Crit Care Nurs* 1999;15:192-203.
 - 30. Carrillo Esper R, Hernández Rayón A. Posición prona para el manejo del paciente con SIRA. *Rev Fac Med UNAM* 2003;46:6-11.