



Maniobras de reclutamiento alveolar para ayudar a mejorar la función pulmonar durante la anestesia general

Christopher Young, MD

Profesor de Anestesiología, sección de Medicina Intensiva, Centro Médico de la Universidad de Duke

Introducción

Antes de la cirugía, la transición de pasar a un paciente de pie a supino, junto con la inducción de la anestesia general, puede reducir notablemente la función pulmonar debido a la generación progresiva de atelectasias. Los cambios en la distribución de la presión abdominal, la compliance de la pared torácica y el bloqueo neuromuscular producen reducciones aditivas y perjudiciales en el pulmón en reposo, volumen al final de la espiración, conocido como capacidad residual funcional (CRF). A consecuencia de estos cambios, el pulmón tiene un volumen menor, que funciona en un segmento más plano y menos distensible de su curva de presión frente a volumen. Como se muestra en la figura 1, para mantener el mismo volumen corriente incremental (véanse los cambios de volumen de la zona pulmonar normal en la figura 1), el pulmón requiere presiones mayores.

Este desplazamiento hacia abajo en la curva de compliance pulmonar se ve magnificado por factores como la obesidad, la posición de Trendelenburg y la insuflación de la cavidad abdominal.

Atelectasias durante la anestesia

El 90 % de los pacientes sometidos a anestesia general desarrollan hipoxemia debido a las progresivas atelectasias. Los primeros estudios concluyeron que el uso de un volumen corriente (VT) de 12 a 15 ml/kg de peso corporal fue efectivo para reducir las atelectasias y restaurar la compliance para el intercambio normal de gases pulmonares en el quirófano.¹ Más recientemente se han reconocido los efectos adversos de la ventilación con VT alto tanto en pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) como en aquellos con pulmones sanos sometidos a anestesia y cirugía.² A consecuencia de ello, la recomendación actual de ventilación protectora pulmonar en quirófano incluye el uso de la ventilación con un VT inferior, definido como 6 a 8 ml/kg de peso corporal previsto (PBW).

Si bien la ventilación con VT reducido disminuye el riesgo de lesión alveolar debida a hiperinsuflación (esto es, volutrauma o barotrauma) todavía existe el riesgo de lesión pulmonar por el colapso cíclico y la reapertura de unidades pulmonares infrainsufladas, un proceso denominado atelectrauma. Los conceptos de stress pulmonar y strain volumétrico son útiles para comprender la función de las atelectasias, el VT y la CRF en la mediación de la lesión pulmonar y la prevención del atelectrauma.

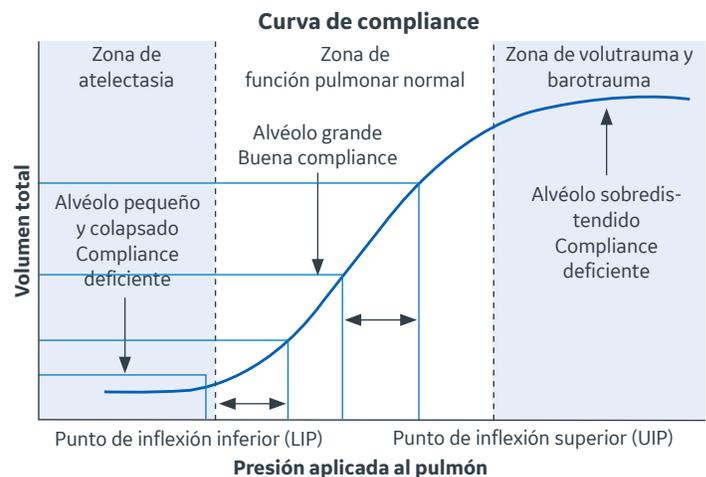


Figura 1. Curva de compliance pulmonar. La representación gráfica de la presión frente al volumen del pulmón durante la insuflación incremental produce la curva de compliance. La forma sigmoidea muestra que la compliance pulmonar es mejor en la zona media de un pulmón de funcionamiento normal. Las atelectasias y la sobredistensión se asocian con un aplanamiento de la curva, lo que indica que se requiere una mayor presión para producir el mismo volumen corriente. Se muestran dos volúmenes corrientes iguales. El volumen corriente proporcionado en la zona de buena compliance requiere menos presión que el mismo volumen proporcionado en la zona de atelectasia. Ventilar el pulmón cuando se reduce la compliance puede provocar lesiones.

Efectos mecánicos de las atelectasias

El stress y strain son términos utilizados en la ingeniería de materiales para calificar las fuerzas dinámicas que actúan sobre un material. Estos conceptos se pueden utilizar para describir las fuerzas que actúan sobre el pulmón durante la ventilación mecánica con presión positiva. El stress se define como fuerza por área; cuando se insufla un VT en concreto al pulmón, el estrés asociado a ese VT aumentará a medida que se reduce el área del pulmón, como ocurre con las atelectasias. El strain se define como el cambio en la longitud de un material dividido por su longitud original, por ejemplo, cuando un muelle se estira más allá de su longitud de reposo. El strain volumétrico se refiere al volumen más que a la longitud y es útil para describir las fuerzas que actúan sobre un alvéolo durante la ventilación mecánica. Por lo tanto, el strain volumétrico de todo el pulmón se puede expresar como el cambio de volumen pulmonar (VT) dividido por su volumen original al final de la espiración (figura 2). El volumen pulmonar al final de la espiración (EELV) es el mismo que la CRF durante la ventilación con presión positiva. La reducción de la CRF (y EELV) observada durante la anestesia general y amplificada por la obesidad, el posicionamiento y la insuflación abdominal en el quirófano da como resultado un aumento del strain volumétrico durante la ventilación mecánica.³ El strain excesivo provoca daño alveolar que da como resultado una respuesta inflamatoria sistémica aumentada y contribuye a las complicaciones pulmonares postoperatorias. Cuando la CRF se reduce notablemente, incluso la ventilación con VT bajo puede volverse potencialmente dañina. Por esta razón, la protección pulmonar efectiva requiere no solo el uso de ventilación con VT bajo, sino también la restauración de la CRF normal para reducir el stress y strain pulmonar.

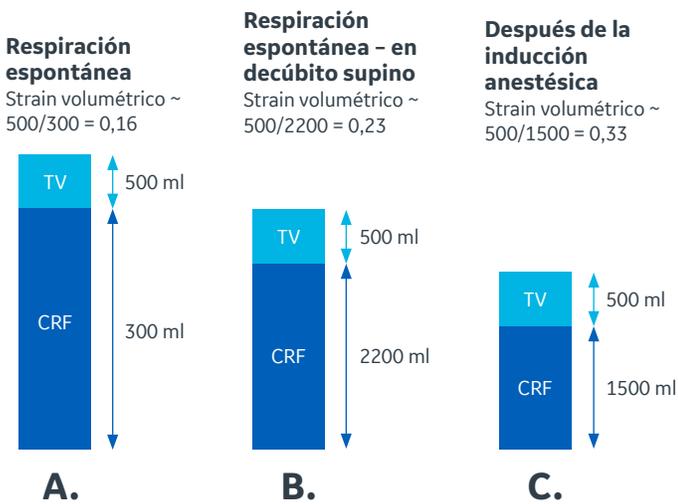


Figura 2. Efecto de la capacidad residual funcional (CRF) reducida en el strain pulmonar. El panel A muestra un strain volumétrico normal del 16 % durante la respiración espontánea. La reducción de la CRF debido a la posición supina aumenta el strain al 23 % (panel B). La inducción de la anestesia reduce aún más la CRF y aumenta el strain al 33 % (panel C). La restauración de la CRF con MRA y PEEP puede reducir el strain volumétrico pulmonar.

Alteración del intercambio gaseoso por atelectasias

Los alvéolos colapsados provocan una derivación del flujo sanguíneo, llamado shunt pulmonar, a través de los pulmones. Estas unidades pulmonares no pueden contribuir a la ventilación, lo que provoca una alteración en la eliminación del CO_2 y que la sangre débilmente oxigenada regrese directamente a la circulación sistémica, creando hipercapnia e hipoxemia, que es refractaria al aumento de la fracción de oxígeno inspirado (FiO_2). A medida que se desarrollan más atelectasias, aumenta la cantidad de sangre que se desvía directamente a la circulación sistémica, lo que empeora aún más la hipercapnia y la hipoxemia.⁴

Driving pressure

La presión de distensión o driving pressure es la presión que se proporciona a los pulmones durante una respiración mecánica. Es la diferencia entre la presión plateau y la presión al final de la espiración (figura 3).

Se puede medir usando ventilación controlada por volumen con pausa inspiratoria. Durante la pausa, el flujo es cero, y la presión plateau medida (Pplat) se correlacionará con mayor precisión con la presión alveolar que con la presión pico de las vías respiratorias. La Pplat se puede estimar usando la presión pico con modos de presión de la ventilación mecánica controlada. La driving pressure se puede monitorizar de forma continua durante la anestesia y proporciona un objetivo para la protección pulmonar. A medida que se reduce la compliance de los pulmones debido a la pérdida de volumen, se requieren presiones más altas para producir el mismo volumen corriente. A consecuencia de ello, aumentan el stress pulmonar y strain volumétrico. La reducción del VT puede ayudar, pero a costa de una mayor hipoxemia y/o hipercapnia. El aumento de la driving pressure se asocia con mayores tasas de mortalidad en pacientes con SDRA.⁵ Se ha demostrado que los niveles superiores a 14 o 15 cmH_2O están asociados de forma significativa con el desarrollo de complicaciones postoperatorias tras la anestesia general.⁶ Incluso pequeños cambios en la driving pressure pueden tener una repercusión considerable en los resultados clínicos. Un metaanálisis de 17 ensayos controlados aleatorios de ventilación protectora pulmonar mostró una asociación independiente entre las complicaciones pulmonares postoperatorias y el aumento de la driving pressure o aumentos de la driving pressure asociados con cambios en la presión positiva al final de la espiración (PEEP).⁷ Cada aumento de 1 cmH_2O en la driving pressure aumentó las probabilidades de desarrollar una complicación pulmonar postoperatoria un 16 %.

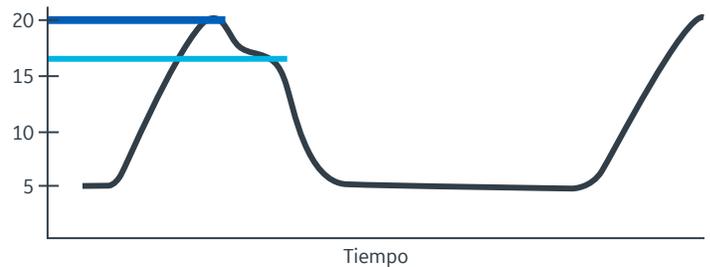


Figura 3. Driving pressure. La driving pressure se determina por la diferencia entre la presión plateau y la presión al final de la espiración. En este ejemplo se muestra una única respiración controlada por volumen. La presión plateau de 16 cmH_2O se puede determinar durante una pausa al final de la inspiración. La PEEP es de 5 cmH_2O , lo que da una driving pressure de 11 cmH_2O . Hay que tener en cuenta que la presión inspiratoria pico, que está influenciada por el flujo de gas y la resistencia de las vías respiratorias, sobrestima la driving pressure.

Presión de apertura y MRA

Un alvéolo colapsado puede volver a su estado de funcionamiento normal aplicando suficiente presión positiva. La presión de apertura de un alvéolo o vía respiratoria terminal es la cantidad de presión positiva que resulta en su reapertura. La cantidad de presión requerida para reclutar una unidad colapsada varía de un alvéolo a otro. Cuando se aplican niveles apropiados de presión positiva, se logra la presión de apertura y se mantiene brevemente, se obtiene el reclutamiento alveolar. Durante la anestesia general, la mayoría de los alvéolos colapsados pueden abrirse con una maniobra de reclutamiento alveolar (MRA) de 40 cmH₂O durante 7 a 10 segundos.⁸ Puede ser necesario aplicar niveles más altos a las personas con un IMC más elevado.⁹

Las maniobras de reclutamiento se pueden realizar de varias maneras. Durante la anestesia, la válvula de limitación de presión ajustable (APL) puede cambiarse al modo de bolsa y se puede aplicar manualmente una MRA. Sin embargo, este método NO se recomienda por varias razones. En primer lugar, cambiar la APL de bolsa a ventilador puede resultar en una liberación transitoria de presión que provoque el desreclutamiento de los alvéolos recién abiertos. Y, lo que es más importante, la MRA de "apretar la bolsa" se ha asociado con mayores tasas de complicaciones pulmonares postoperatorias.⁹ Se prefieren los métodos que utilizan cambios graduales en los ajustes del ventilador. Se puede aumentar el volumen y/o la presión proporcionados mecánicamente cada 3 a 6 respiraciones hasta que se logre la presión de apertura deseada. Después de proporcionar varias respiraciones con la presión objetivo, se puede reanudar la ventilación con el VT bajo de referencia.

Se ha demostrado la seguridad del reclutamiento gradual de pacientes quirúrgicos en múltiples estudios.¹⁰ La complicación más común de una MRA es la necesidad transitoria de soporte vasopresor. Las tasas de efectos hemodinámicos significativos y barotrauma no parecen aumentar cuando las MRA se realizan adecuadamente en el quirófano.

El "pulmón abierto"

Las MRA por sí solas no mantienen la insuflación de los alvéolos que son propensos al colapso. Una vez que se vuelve a abrir un alvéolo colapsado con una MRA, se requiere suficiente PEEP para mantenerlo en el estado de "pulmón abierto".¹¹ La cantidad de PEEP necesaria para mantener el pulmón abierto una vez que los alvéolos se restauran a su estado funcional varía de una persona a otra y también puede cambiar durante un procedimiento quirúrgico debido a cambios dinámicos en la presión abdominal y la compliance de la pared torácica asociados con cambios en la posición, la colocación del retractor y la insuflación abdominal. Un método habitual para determinar el nivel correcto de la PEEP es realizar una MRA y luego una titulación de PEEP mediante un descenso gradual. La PEEP que produce la driving pressure más baja durante la ventilación controlada por volumen (o el mejor volumen corriente para una presión determinada en ventilación controlada por presión) corresponde a la mejor compliance del pulmón y equilibra el volumen corriente entre la hiper e hipoinsuflación del pulmón. Luego se realiza una segunda MRA y la PEEP se establece en 1 a 2 cmH₂O por encima de ese nivel identificado (figura 4). Se ha demostrado que se necesita una PEEP media de 8 a 10 cmH₂O para minimizar la driving pressure durante la cirugía abdominal en personas con índice de masa corporal (IMC) normal.¹²

Se ha demostrado que la PEEP individualizada, determinada al minimizar la driving pressure durante los procedimientos abdominales abiertos, disminuye las atelectasias intraoperatorias, mejora la oxigenación durante y después de la cirugía y reduce notablemente las complicaciones pulmonares postoperatorias.¹³ Los estudios de pacientes con IMC normales sometidos a procedimientos laparoscópicos han determinado que la PEEP óptima es de 10 a 14 cmH₂O, y se necesitan 2 a 4 cmH₂O más durante la posición de Trendelenburg y la insuflación abdominal.¹⁴ Se ha determinado que se necesitan mayores niveles de PEEP individualizada, hasta 26 cmH₂O, para mantener la CRF, mejorar la oxigenación y reducir la driving pressure en personas con un IMC más alto que se sometan a una cirugía abdominal abierta.¹⁵ El reclutamiento pulmonar que restaura la CRF perdida y reduce los efectos nocivos de la CRF perdida requiere el uso tanto de MRA como de PEEP.

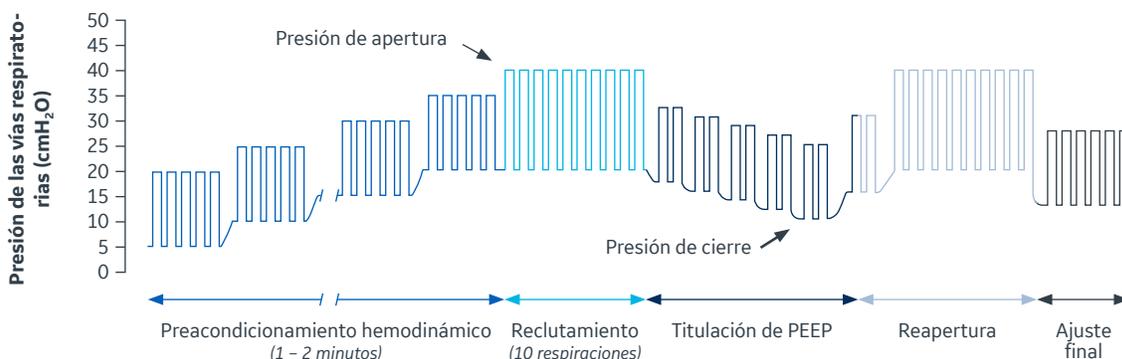


Figura 4. Estrategia de maniobras de reclutamiento alveolar (MRA). Las MRA se realizan en ventilación controlada por presión con una driving pressure (Pplat - PEEP) de 15 cmH₂O. Cada rectángulo representa un volumen corriente. La PEEP aumenta en incrementos de 5 cmH₂O durante la fase de preacondicionamiento hemodinámico. Luego, la PEEP y la driving pressure aumentan a 20 cmH₂O para alcanzar la presión de apertura de los pulmones. Después de 10 respiraciones se logra un estado con el pulmón completamente abierto. La titulación de la PEEP comienza reduciendo la driving pressure a 15 cmH₂O, y luego reduciendo la PEEP en pasos de 2 cmH₂O, a partir de 20 cmH₂O hasta encontrar la presión de cierre. Cuando se realizan maniobras de reclutamiento posteriores, se ventila al paciente con un VT bajo, pero con la PEEP establecida que permite mantener el pulmón abierto.

Consenso del panel de expertos

Un panel de expertos internacionales en ventilación mecánica intraoperatoria publicó recientemente unas declaraciones de consenso sobre las MRA.¹⁶ Se seleccionaron 33 estudios de MRA en quirófano utilizando el método GRADE y se analizaron con las guías Delphi. El panel concluyó que:

- Las MRA deben realizarse después de una desconexión del circuito y siempre que la saturación de hemoglobina del paciente sea de manera continua $\leq 94\%$.
- Se debe evaluar el cambio en la compliance del sistema respiratorio y la driving pressure después de una MRA y repetir la MRA con una pausa inspiratoria mayor o una presión más alta si se determina que el reclutamiento es ineficaz.
- Las MRA deben realizarse utilizando la presión inspiratoria pico efectiva más baja y el tiempo efectivo más corto o el menor número de respiraciones.

Conclusión

Restaurar el volumen pulmonar se reconoce cada vez más como la base para aplicar ventilación mecánica de forma segura en quirófano. Los pulmones sanos pueden estar expuestos a stress y strain importantes durante la ventilación mecánica sistemática en quirófano debido a las reducciones en la CRF. La obesidad, la posición en prono y la insuflación abdominal se encuentran entre los factores que pueden comprometer aún más el volumen pulmonar al final de la espiración. Se puede lograr la restauración de la CRF o EELV de manera segura con la aplicación individualizada de presión positiva al final de la espiración (PEEP) junto con maniobras de reclutamiento (MR). Los alvéolos colapsados y las vías respiratorias terminales pueden volver de forma segura a su estado normal de insuflación de “pulmón abierto”, lo que reduce la driving pressure del ventilador. Además, cada vez hay más evidencia de que la mejora intraoperatoria de la función respiratoria a consecuencia de las estrategias “pulmón abierto” puede reducir las complicaciones pulmonares postoperatorias. Extender esta gestión de pulmón abierto al entorno postoperatorio inmediato también puede reportar beneficios en los resultados.¹⁷

Referencias

1. Bendixen, H. H., Whyte, H., y Laver, M. B. (1963). Impaired oxygenation in surgical patients during general anesthesia with controlled ventilation: a concept of atelectasis. *New England Journal of Medicine*, 269(19), 991-996.
2. Futier, E., Constantin, J. M., Paugam-Burtz, C., Pascal, J., Eurin, M., Neuschwander, A., ... y Jaber, S. (2013). A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *New England Journal of Medicine*, 369(5), 428-437.
3. Brunner, J. X., y Wysocki, M. (2012). Is there an optimal breath pattern to minimize stress and strain during mechanical ventilation? En *Applied Physiology in Intensive Care Medicine* 1 (págs. 25-29). Springer, Berlín, Heidelberg.
4. Hedenstierna, G., y Rothen, H. U. (2000). Atelectasis formation during anesthesia: causes and measures to prevent it. *Journal of clinical monitoring and computing*, 16(5), 329-335.
5. Guérin, C., Papazian, L., Reignier, J., Ayzac, L., Loundou, A., y Forel, J. M. (2016). Effect of driving pressure on mortality in ARDS patients during lung protective mechanical ventilation in two randomized controlled trials. *Critical Care*, 20(1), 1-9.
6. Ladha, K., Melo, M. F. V., McLean, D. J., Wanderer, J. P., Grabitz, S. D., Kurth, T., y Eikermann, M. (2015). Intraoperative protective mechanical ventilation and risk of postoperative respiratory complications: hospital-based registry study. *Bmj*, 351.
7. Neto, A. S., Hemmes, S. N., Barbas, C. S., Beiderlinden, M., Fernandez-Bustamante, A., Futier, E., ... e Investigadores de la Red PROVE. (2016). Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: a meta-analysis of individual patient data. *The Lancet Respiratory Medicine*, 4(4), 272-280.
8. H. U. Rothen, P. Neumann, J. E. Berglund, J. Valtysson, A. Magnusson y G. Hedenstierna. Dynamics of re-expansion of atelectasis during general anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia* 82 (4): 551-6 (1999).
9. Ball, L., Hemmes, S. N. T., Neto, A. S., Bluth, T., Canet, J., Hiesmayr, M., ... y Pelosi, P. (2018). Intraoperative ventilation settings and their associations with postoperative pulmonary complications in obese patients. *British Journal of Anaesthesia*, 121(4), 899-908.
10. Tusman, G. y Belda, J. F. (2010). Treatment of anesthesia-induced lung collapse with lung recruitment maneuvers. *Current anaesthesia & critical care*, 21(5-6), 244-249.
11. Lachmann, B. (1992). Open up the lung and keep the lung open. *Intensive care medicine*, 18(6), 319-321.
12. Ferrando, C., Suarez-Sipmann, F., Tusman, G., León, I., Romero, E., Gracia, E., ... y Belda, J. F. (2017). Open lung approach versus standard protective strategies: Effects on driving pressure and ventilatory efficiency during anesthesia-A pilot, randomized controlled trial. *PLoS one*, 12(5), e0177399.
13. Zhang, C., Xu, F., Li, W., Tong, X., Xia, R., Wang, W., ... y Shi, X. (2021). Driving Pressure-Guided Individualized Positive End-Expiratory Pressure in Abdominal Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Anesthesia & Analgesia*, 133(5), 1197-1205.
14. Pereira, S. M., Tucci, M. R., Morais, C. C., Simões, C. M., Tonelotto, B. F., Pompeo, M. S., ... y Amato, M. B. (2018). Individual positive end-expiratory pressure settings optimize intraoperative mechanical ventilation and reduce postoperative atelectasis. *Anesthesiology*, 129(6), 1070-1081.
15. Simon, P., Girrbach, F., Petroff, D., Schiawe, N., Hempel, G., Lange, M., ... y Wrigge, H. (2021). Individualized versus Fixed Positive End-expiratory Pressure for Intraoperative Mechanical Ventilation in Obese Patients: A Secondary Analysis. *Anesthesiology*, 134(6), 887-900.
16. Young, C. C., Harris, E. M., Vacchiano, C., Bodnar, S., Bukowy, B., Elliott, R. R. D., ... y Sprung, J. (2019). Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations. *British Journal of Anaesthesia*, 123(6), 898-913.
17. Futier, E., Constantin, J. M., Pelosi, P., Chanques, G., Massone, A., Petit, A., ... y Jaber, S. (2011). Noninvasive ventilation and alveolar recruitment maneuver improve respiratory function during and after intubation of morbidly obese patients: a randomized controlled study. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 114(6), 1354-1363.

© 2022 General Electric Company.

GE y el monograma de GE son marcas comerciales de General Electric Company. GE Healthcare, una división de GE. GE Medical Systems, Inc. comercializa sus productos como GE Healthcare. Queda prohibida la reproducción de cualquier tipo sin permiso previo por escrito de GE. Las opiniones, creencias y puntos de vista expresados en este artículo son únicamente las del autor y no reflejan necesariamente las opiniones, creencias y puntos de vista de GE Healthcare. El autor es un asesor pagado de GE Healthcare y ha sido retribuido por la creación de este artículo. El uso de este material se limita a agentes y empleados de GE Healthcare u otras partes autorizadas expresamente por GE. El uso sin licencia está estrictamente prohibido. Este material puede contener conceptos y definiciones clínicas. Este documento no infiere ni incluye declaraciones de diagnóstico. Todos los diagnósticos clínicos deben ser realizados por un profesional sanitario cualificado.

Junio de 2022
JB01596ES

