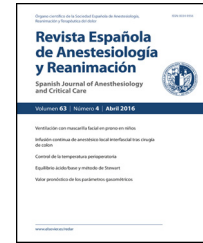




Revista Española de Anestesiología y Reanimación

www.elsevier.es/redar



REVISIÓN

Maniobras de reclutamiento en anestesia: ¿qué más excusas para no usarlas?

J. García-Fernández^{a,b,*}, A. Romero^a, A. Blanco^a, P. Gonzalez^c,
A. Abad-Gurumeta^{d,e,f} y S.D. Bergese^g

^a Servicio de Anestesiología, Cuidados Críticos y Dolor. Hospital Universitario Puerta de Hierro, Majadahonda, Madrid, España

^b Departamento de Cirugía, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma, Madrid, España

^c Department of Anesthesia and Perioperative Medicine, Akademiska University Hospital, Uppsala, Suecia

^d Servicio de Anestesiología, Cuidados Críticos y Dolor, Hospital Universitario Infanta Leonor, Madrid, España

^e La Revista Española de Anestesiología y Reanimación

^f Departamento de Farmacología, Facultad de Medicina. Universidad Complutense, Madrid, España

^g Neurosurgical Anesthesia, Departments of Anesthesiology and Neurological Surgery, The Ohio State University, Columbus, Ohio, Estados Unidos

Recibido el 28 de noviembre de 2017; aceptado el 5 de diciembre de 2017

PALABRAS CLAVE

Maniobras de reclutamiento;
Atelectasias;
Ventilación mecánica;
Anestesia general;
Ventilación de protección;
PEEP

Resumen Las maniobras de reclutamiento (MR) pulmonar tienen como finalidad reabrir las áreas de pulmón colapsadas. Las MR están presentes en la naturaleza como un mecanismo fisiológico para conseguir que un neonato abra sus pulmones por primera vez al nacer, y también las usamos, en la práctica clínica anestesiológica habitual, en la inducción o durante la anestesia general al desaturar un paciente. Sin embargo, existe en la práctica clínica mucha confusión en cuanto a su seguridad, el mejor modo de realizarlas, cuándo llevarlas a cabo, en qué pacientes están indicadas y en quiénes están totalmente contraindicadas. Existen importantes diferencias entre la MR en el paciente con síndrome de distrés respiratorio del adulto y en paciente sano durante una anestesia general. Se pretende, desde un punto de vista clínico y práctico, revisar el empleo de la MR, específicamente en anestesia.

© 2017 Sociedad Española de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jgarciafernandez@salud.madrid.org (J. García-Fernández).

<https://doi.org/10.1016/j.redar.2017.12.006>

0034-9356/© 2017 Sociedad Española de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Cómo citar este artículo: García-Fernández J, et al. Maniobras de reclutamiento en anestesia: ¿qué más excusas para no usarlas? Rev Esp Anesthesiol Reanim. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.redar.2017.12.006>

KEYWORDS

Recruitment manoeuvres;
Atelectasis;
Mechanical ventilation;
General anaesthesia;
Protective ventilation;
PEEP

Recruitment manoeuvres in anaesthesia: How many more excuses are there not to use them?

Abstract Pulmonary recruitment manoeuvres (RM) are intended to reopen collapsed lung areas. RMs are present in nature as a physiological mechanism to get a newborn to open their lungs for the first time at birth, and we also use them, in our usual anaesthesiological clinical practice, after induction or during general anaesthesia when a patient is desaturated. However, there is much confusion in clinical practice regarding their safety, the best way to perform them, when to do them, in which patients they are indicated, and in those where they are totally contraindicated. There are important differences between RM in the patient with adult respiratory distress syndrome, and in a healthy patient during general anaesthesia. Our intention is to review, from a clinical and practical point of view, the use of RM, specifically in anaesthesia.

© 2017 Sociedad Española de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Hace años se negaba la existencia de atelectasias significativas durante los procedimientos con anestesia general. Las técnicas de visualización de masa pulmonar con TAC primero, y más recientemente las técnicas de impedancia eléctrica y ecografía pulmonar, nos han permitido visualizar las atelectasias después de la inducción de una anestesia general, llegando a incidencias globales de hasta el 90% de los pacientes anestesiados¹⁻⁷. La diferencia entre unos y otros pacientes es el porcentaje de masa pulmonar colapsada. En muchas ocasiones puede que esta masa colapsada sea baja, menor del 3-4%, pero en poblaciones especialmente sensibles al colapso, como son los neonatos, niños menores de 3 años, pacientes obesos, mujeres embarazadas en el último trimestre, pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), etc., estos porcentajes pueden llegar a ser superiores al 25% de la masa pulmonar total cuando pierden su ventilación espontánea y se les conecta a la ventilación mecánica³⁻¹¹.

Una vez que se detectaron las atelectasias provocadas por la anestesia, se empezó a cuestionar la seguridad de las maniobras de reclutamiento (MR) en cuanto a la posible producción de barotrauma y neumotórax. Nuestras líneas de investigación en estos cuatro últimos años han mostrado, incluso en modelos neonatales, la seguridad de las MR en modo de presión control, con una presión de ciclado o delta de presión (*driving pressure*) constante, y mediante incrementos escalonados y progresivos de PEEP, en pulmones sanos¹²⁻¹⁵. En nuestros estudios de presión transpulmonar de apertura hemos mostrado que las presiones transpulmonares de sobredistensión y apertura máxima se alcanzan a los 30 cmH₂O, y sin embargo, si mantenemos la presión de ciclado constante, no aparece neumotórax hasta alcanzar los 60 cmH₂O de presión transpulmonar¹²⁻¹⁹. En los estudios realizados de presión alveolar, la producción de neumotórax no ha aparecido nunca por debajo de 75-90 cmH₂O¹²⁻¹⁹. El único estudio realizado hasta el momento, en cadáveres humanos con pulmones sanos, describía presiones alveolares de ruptura similares a las de nuestros estudios experimentales¹⁵.

Hoy sabemos que los niños no precisan presiones alveolares superiores a 30 cmH₂O, y los adultos de 40 cmH₂O, para ser reclutados completamente durante la anestesia, con lo que sigue existiendo un gran margen de seguridad (30-40 cmH₂O) entre las presiones de apertura pulmonar y las presiones para empezar a generar neumotórax, siempre que se respeten estas presiones máximas en el ventilador y se haga la MR en presión control, con múltiples escalones incrementados¹²⁻¹⁹. Nuestros hallazgos experimentales se confirman en la clínica, porque varios de los estudios comparativos clínicos realizados para ver la diferencia en la incidencia de neumotórax entre pacientes con SDRA, sometidos a técnicas de reclutamiento y sin técnicas de reclutamiento pulmonar, han mostrado la misma incidencia de neumotórax en los dos grupos²⁰. De hecho, no se conoce, hasta el momento, ningún estudio que haya mostrado una mayor incidencia de neumotórax en los grupos de pacientes con MR¹⁶⁻²⁰.

En relación con la seguridad hemodinámica, las MR han sido objeto de muchos estudios experimentales y clínicos¹⁶⁻²⁰. Hoy sabemos que se produce siempre un descenso inicial transitorio del gasto cardiaco durante unos segundos o unos pocos minutos (lo que dura la fase de máxima presurización), y que este gasto cardiaco se normaliza cuando cede la presión de apertura, a los pocos minutos de la maniobra. Esta repercusión hemodinámica se debe a una disminución de la precarga y al aumento simultáneo de la poscarga del ventrículo derecho durante la fase de presurización, lo que repercute en la presión de llenado del ventrículo izquierdo. Sin embargo, si se consigue reabrir toda el área de pulmón colapsada, a los 15-20 min el gasto cardiaco suele ser incluso mejor que el previo a la MR, por disminución de las resistencias vasculares pulmonares al revertir la vasoconstricción pulmonar hipóxica provocada por las atelectasias¹⁸⁻²⁵.

En relación con el impacto de las MR en los *outcomes* de morbimortalidad del paciente, el metaanálisis más completo hecho hasta el momento sobre MR en anestesia²⁶, que revisó 439 estudios sobre MR, concluye que todos los estudios han mostrado hasta el momento que las MR mejoran la oxigenación intraoperatoria, disminuyen la necesidad de

utilizar FiO_2 elevadas, recuperan a los enfermos de eventos hipoxémicos intraoperatorios y disminuyen las complicaciones pulmonares postoperatorias, por lo que concluyen que su uso debería implementarse de forma rutinaria después de toda inducción anestésica, seguidas del empleo de PEEP para evitar un nuevo colapso, salvo en los pacientes en los que estuvieran contraindicadas²⁶.

Recomendaciones para realizar maniobras de reclutamiento

Conocida la alta incidencia de colapso pulmonar provocada por la caída de capacidad residual funcional (CRF) que se produce durante la inducción de la anestesia general, Hartland et al.²⁶ recomiendan su empleo rutinario después de las inducciones anestésicas y antes de que el cirujano comience la intervención. Para que una maniobra terapéutica sea segura y eficaz debe adquirirse y mantenerse un nivel de capacitación y habilidad suficiente y constante en el tiempo. Sería algo semejante a la intubación endotraqueal. Requiere una curva de aprendizaje y luego de mantenimiento de la capacitación, ya que nadie recomendaría iniciarse en la intubación endotraqueal en pacientes con vía aérea difícil, y no se debe pasar mucho tiempo sin practicarla si no queremos bajar nuestro nivel de capacitación. Tampoco es recomendable realizar MR por primera vez solo ante pacientes hipoxémicos y desaturados tras la inducción anestésica, que serían los que más se beneficiarían, ya que estas maniobras también requieren unas habilidades mínimas para que sean seguras y eficaces.

En relación con la edad, los pacientes que más tienden al colapso pulmonar durante la anestesia, y por tanto los que más se pueden beneficiar de estas maniobras, son los rangos extremos de edad: cuanto más pequeño o más mayor sea un enfermo, mayor es la tendencia al colapso. Por el contrario, los pacientes entre los 6 y los 30 años son los que presentan una mayor diferencia entre su CRF y su volumen de cierre, y por tanto tienen una menor tendencia al colapso pulmonar^{2,5,10}.

En cuanto a los pacientes con patología pulmonar previa, en algunos las MR están contraindicadas: pacientes enfisematosos, pacientes asmáticos, pacientes con bullas pleurales y antecedentes de neumotórax espontáneos. En la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), aunque no están formalmente contraindicadas las MR, hay que hacer un balance clínico individualizado de los riesgos y beneficios que las MR pueden tener en estos enfermos^{2,3,5}.

En pacientes con insuficiencia cardíaca previa y fracciones de eyección bajas hay que tener en cuenta la repercusión hemodinámica de la MR por un lado, y por otro lado hay que saber que son los que más se pueden beneficiar de la reducción de resistencias pulmonares que conlleva la reversión de la vasoconstricción pulmonar hipóxica al revertir las atelectasias. En los pacientes con baja fracción de eyección lo más recomendable es hacer MR lo más cortas posible y utilizar niveles de PEEP máxima más bajos ($15 \text{ cmH}_2\text{O}$); en estos pacientes incluso es bueno dar o incrementar puntualmente el soporte inotrópico el tiempo que dure la MR^{21,25}.

Lo más importante a tener en cuenta antes de realizar una MR es que hace falta que se den unos mínimos requisitos iniciales antes de poder llevarla a cabo. El primero,

que el paciente esté en un plano anestésico suficientemente profundo como para estar seguros de que no va a toser en mitad de la maniobra. No se precisa la utilización de bloqueantes neuromusculares para las MR como al principio se recomendó, pero sí una profundidad anestésica mínima que nos permita realizarlas sin que el enfermo tosa. Esto se debe a que hay que evitar picos de presión transpulmonar en la zona de presurización máxima, y aunque trabajemos en presión control, no es bueno añadir presiones pleurales no controlables²⁷⁻³⁰.

El segundo requisito es que el enfermo debe estar hemodinámicamente estable antes de iniciar la MR. En función de la situación cardiovascular del enfermo y del estado de precarga o presión, en dependencia de su gasto cardíaco, y de la duración y de las presiones que alcancemos durante la MR, la repercusión hemodinámica puede ser mayor o menor. En general, si se realizan las únicas MR que actualmente se recomiendan en PCV —presión de ciclado o delta de presión constante e incrementos de PEEP en múltiples escalones—, la caída de presión arterial no suele ser mayor del 20% de la presión inicial, y se suele recuperar espontáneamente en pocos minutos después de la MR^{13,16-18}.

Hay que tener en cuenta que la información que genera la mayor o menor repercusión hemodinámica ante una MR es una información clínica muy valiosa, ya que si no existe repercusión hemodinámica alguna o incluso aumenta la presión arterial, hay que sospechar que el gasto cardíaco de ese enfermo no está en situación de precarga-presión dependencia, y, al contrario de lo que se puede pensar, es un enfermo en el que las cargas de volumen estarían desaconsejadas o contraindicadas. Por el contrario, una mayor repercusión hemodinámica de lo previsto de una MR nos puede estar informando de una situación de gasto cardíaco precarga-presión dependencia, y por tanto, que si se precisa subir el gasto cardíaco, este sería susceptible de incrementarse mediante una carga de volumen^{16-18,22,24}.

El tercer gran requisito que siempre hay que comprobar, como en cualquier otra técnica en medicina, es que no exista una contraindicación parcial o absoluta para la realización de MR²¹⁻²⁶ (tablas 1-3).

Tabla 1 Mejores indicaciones para maniobras de reclutamiento pulmonar

Atelectasias por anestesia en:

- Niños menores de 6 años
- Pacientes mayores de 30 años
- Pacientes obesos
- Mujeres embarazadas en el último trimestre del embarazo
- Cirugía laparoscópica
- Anestesia en posición de Trendelenburg
- Cirugía torácica
- Cirugía cardíaca
- Cirugía abdominal

Estos pacientes son los que más se benefician de la maniobras de reclutamiento en anestesia.

Tabla 2 Peores resultados de las maniobras de reclutamiento

| |
|---|
| Estados tardíos o la fase «fibrótica» de SDRA |
| En general, la patología primaria que impulsa el SDRA: la neumonía unilateral |
| SDRA con cambios marcadamente focales en las imágenes |
| SDRA con un nivel de referencia PEEP más alto |
| Pacientes con baja elasticidad de la pared torácica |
| Pacientes bajo anestesia general con pulmón sano entre 6 y 25 años |
| Pacientes con COPD con patrón mixto |

En estas situaciones clínicas, sin estar formalmente contraindicada la realización de una maniobra de reclutamiento, sin embargo no se han encontrado grandes beneficios clínicos.

Tabla 3 Contraindicaciones formales de las maniobras de reclutamiento pulmonar

1. Paciente con hipotensión grave no controlada
2. Traumatismo craneoencefálico
3. Hipertensión intracraneal
4. Cirugía de ojo abierto
5. Neumotórax no drenado
6. Broncoespasmo
7. Enfisema pulmonar
8. Bullas pulmonares

En estas situaciones clínicas, hasta que no se resuelvan o estabilicen, no se deben realizar maniobras de reclutamiento pulmonar.

¿Cuándo realizar una maniobra de reclutamiento en anestesia?

El momento ideal para su realización es cuando se ha terminado la inducción anestésica y antes de que el cirujano comience la cirugía, una vez comprobado que el paciente está hemodinámicamente estable. No se debe esperar más, ya que las atelectasias por anestesia se producen a los pocos minutos de perder la CRF tras la inducción anestésica^{1,2,8}. Por otro lado, es óptimo realizarla antes de que el cirujano comience la cirugía, especialmente si es cirugía abdominal, ya que los movimientos y los cambios de presión abdominal que el cirujano ejerce pueden artefactar la MR, junto con el cálculo posterior de la PEEP que debemos programar después de la MR^{25,30-35}.

Clásicamente se ha recomendado la repetición de la MR cada cierto tiempo durante la cirugía (20 min)³⁵. Teniendo en cuenta que hoy día sabemos que las MR en sí provocan una respuesta inflamatoria, aunque pequeña y limitada en el tiempo, no se recomienda repetir las MR en el tiempo de forma rutinaria, salvo que sea estrictamente necesario por algún problema de oxigenación posterior²⁶. La clave para no tener que repetir innecesariamente las MR es conseguir una correcta programación de la PEEP, de forma individualizada, tras la realización de la MR. Como Lachmann²⁷ nos enseñó ya en la década de los noventa, hay que abrir primero el pulmón colapsado y a continuación mantenerlo abierto con la PEEP mínima necesaria, programada de forma individual. Estas pautas de repetición de MR cada cierto tiempo, bajo anestesia general, se han recomendado siempre que se han

usado MR tipo CPAP³⁵. Las MR tipo CPAP tienen el inconveniente añadido de que no se pueden informar nunca de cuál es la PEEP mínima que cada enfermo necesita en ese momento; por tanto, no podemos individualizar la programación de la PEEP, lo que hace que todo el proceso deje de tener los beneficios esperados para el paciente trascurrido un cierto tiempo, y por eso recomiendan repetir las MR cada 20-40 min. Actualmente las MR tipo CPAP están totalmente denostadas y ya no se recomienda su empleo, ya que generan un mayor daño al pulmón^{26-28,35-37}.

Hay situaciones especiales que requieren la repetición de MR durante la cirugía. Este es el caso de la cirugía laparoscópica, en la que la relación CRF y volumen de cierre cambian antes y después de la insuflación del neumoperitoneo, lo que hace necesario repetir la MR después de la insuflación peritoneal para volver a reabrir el pulmón y, además, poder volver a calcular la nueva PEEP de estabilización de ese pulmón que puede haber cambiado tras los cambios de presión abdominal. También se ha hablado de no hacer MR antes de la insuflación del neumoperitoneo y esperar a que se haya insuflado para hacer la MR; sin embargo, esto conlleva una mayor área de colapso inicial del pulmón y una mayor dificultad para la reapertura, por lo que recomendamos hacer dos MR: una convencional después de la inducción anestésica, y la segunda una vez establecido el neumoperitoneo^{31,33}.

Otro caso es en la cirugía cardíaca con circulación extracorpórea, donde a la salida de bomba se hace preciso volver a reclutar los pulmones y recalcular la PEEP de salida de CEC. Se ha recomendado hacer esta MR cuando el tórax está ya cerrado y fuera de CEC. Sin embargo, parece más prudente hacerlo antes del completo destete de CEC, ya que se cuenta con el apoyo hemodinámico de la bomba para soportar la repercusión hemodinámica de la maniobra, y además se puede visualizar directamente si la sobredistensión pulmonar no genera ningún problema local en el campo (cirugía de by-pass coronario con arteria mamaria, por ejemplo)^{9,23}.

En cirugía torácica, sin embargo, se recomienda no realizar la MR tras la inducción anestésica y retrasar la MR hasta estar en ventilación unipulmonar, ya que son pulmones en los que muy frecuentemente la capacidad elástica puede estar disminuida, y si hacemos la MR antes de la ventilación unipulmonar puede que luego se tarde más tiempo en conseguir el colapso pulmonar completo en el pulmón no dependiente en la ventilación unipulmonar²⁷.

También se ha hablado de hacer una MR al finalizar la cirugía y antes de extubar al enfermo, que no debería ser necesario si se ha conseguido programar la PEEP óptima individualizada que haya mantenido al paciente durante toda la cirugía con un pulmón abierto. Además, al finalizar la cirugía el plano anestésico es menos profundo y la posibilidad de que el paciente tosa durante la MR es mayor. Lo que se hace imprescindible en el proceso de despertar y extubar al enfermo es no emplear FiO₂ superiores a 0,7 que faciliten aún más las atelectasias por reabsorción, mantener la PEEP/CPAP que el paciente necesitase hasta la extubación, semi-sentar al paciente 35-45° y aplicar ventilación no invasiva en los minutos siguientes a la extubación, hasta que el enfermo recupere el equilibrio respiratorio que tenía previamente^{25,30,37}.

Una indicación para tener que repetir una MR durante la cirugía sería una caída mantenida en la distensibilidad

dinámica del paciente (Cdyn) o un evento hipoxémico, descartadas otras causas. No es relevante una caída puntual de la Cdyn, sino que debe ser una caída clara y mantenida, en la línea de tendencias de la Cdyn. Esta situación, junto a una desaturación o caídas en la relación saturación/ FiO_2 (saturación de O_2 menor de 96% con FiO_2 del 35%), son signos que nos pueden alertar que el pulmón del paciente se está recolapsando y que requiere una nueva MR, así como una programación de PEEP probablemente superior a la que teníamos previamente programada^{32,34,36,37}.

¿Cómo realizar las maniobras de reclutamiento?

La mayoría de las MR se podrían clasificar en tres grandes grupos: las MR con pocos ciclos de ventilación a muy alta presión, que serían equiparables a las aperturas que se han venido haciendo, insuflando manualmente con la bolsa el pulmón; las MR de insuflación sostenida o CPAP, y finalmente las maniobras escalonadas o de múltiples escalones progresivos, en las que se mantiene fija una presión de ciclado o delta de presión y se va incrementando la PEEP paso a paso^{21,25,30}.

Las maniobras de pocos ciclos a alta presión o maniobras manuales con bolsa (*bagging*) están hoy día totalmente desaconsejadas y contraindicadas. Comportan un mayor daño pulmonar, pues generan grandes volúmenes corrientes y presiones de ciclado muy elevadas (50-60 cmH_2O), y al no mantener ningún nivel de PEEP/CPAP posterior en la fase espiratoria, están permitiendo nuevos colapsos alveolares y, por tanto, aumentan los fenómenos cíclicos de apertura y cierre que incrementan el daño pulmonar. Hoy día nadie las sigue recomendando^{21,23,30,37}.

Las maniobras de CPAP o insuflación sostenida, que fueron las que primero se recomendaron, con la famosa MR de 40 cmH_2O durante 40 segundos, tampoco son recomendadas. Esto se debe a que estudios anatomopatológicos han demostrado que son más lesivas estructuralmente para el pulmón que las maniobras escalonadas o de múltiples escalones progresivos. Además, también se ha visto que generan más repercusión hemodinámica en el paciente sano que las maniobras escalonadas. La tercera gran desventaja de estas MR con CPAP es que no ayudan ni sirven para una aproximación en el cálculo de la PEEP que cada enfermo necesita de forma individualizada después de la apertura, cosa que sí se puede hacer con las MR escalonadas. Por tanto, hay autores que recomiendan el cese de este tipo de MR^{29,38}.

Las únicas que se aconseja realizar actualmente son las MR escalonadas o de múltiples escalones consecutivos. Estas MR se deben realizar en presión control, dejar mantenida una presión de ciclado fija de 15 cmH_2O e ir incrementando la PEEP en escalones de 5 en 5 cmH_2O , hasta llegar a una presión máxima (35-40 cmH_2O en adultos y 30 cmH_2O en niños) y a una PEEP máxima preestablecida (15-20 cmH_2O en adultos y 15 cmH_2O en niños), permanecer en este escalón un tiempo suficiente para reabrir las atelectasias de la anestesia (5-10 rpm) y después reducir las presiones de forma también escalonada, hasta encontrar la PEEP que estabiliza ese pulmón (nivel de PEEP que haya conseguido la mejor Cdyn y la menor *driving pressure* para un volumen corriente establecido) (fig. 1)^{25,29-31}.

La reapertura pulmonar es un proceso dependiente exclusivamente de la presión transpulmonar máxima y del tiempo que esta presión máxima se aplique. Por tanto, no es un proceso dependiente del volumen corriente. Además, estas MR son seguras siempre y cuando no se sobrepasen los límites seguros de presión transpulmonar (55-60 cmH_2O) o 70-80 cmH_2O de presión alveolar, que se han estudiado hasta el momento. Por tanto las MR, por seguridad y por eficacia, solo se deben realizar usando modos de ventilación de presión control; nunca es recomendable usar modos de volumen¹⁶⁻²¹.

Realizar MR en volumen control aumenta las complicaciones, son menos eficientes, generan potencialmente más daño pulmonar y pueden exponer al enfermo a más riesgos. En volumen control, el que la presión *plateau* sea representativa de la presión, alveolar o no, depende de muchos factores, fundamentalmente de cómo se hayan programado el tiempo inspiratorio y la pausa inspiratoria. Por tanto, la presión *plateau* no siempre tiene por qué ser la verdadera presión alveolar. Además, en volumen control no se puede limitar de forma directa la presión *plateau* que se alcanza, sino solo la presión máxima o pico, que a su vez, para unas resistencias al flujo de aire fijas, también puede aumentar o disminuir, según se programe el tiempo inspiratorio y el tiempo de pausa. Por otra parte, según el ventilador con el que trabajemos, el usuario programa un límite de presión pico máximo de trabajo, y la gran mayoría actual, por seguridad, cortan el flujo inspiratorio 5 cmH_2O antes de alcanzar dicha presión. Además, según el tipo de ventilador que se use, cuando se activa el límite de presión pico máxima unos ventiladores interrumpen bruscamente el flujo inspiratorio, cortan el ciclo inspiratorio y liberan la presión, poniendo al enfermo en espiración, y en cambio otras máquinas mantienen esa presión pico máxima y mantienen el tiempo inspiratorio^{16,18,19,38,39}. Por toda esta serie de razones no es recomendable en absoluto usar modos de volumen control para reclutar los pulmones de un enfermo.

Hay que dejar claro que, hasta la fecha, la única MR que ha demostrado ser la más segura y más eficaz, incluso en niños, desde neonatos, hasta adultos, son las maniobras escalonadas en presión control, con presión de ciclado fija de 15 cmH_2O , y escalones progresivos de PEEP de 5 en 5 cmH_2O . En niños en la fase de apertura se llega hasta una presión máxima inspiratoria de 30 cmH_2O y de 15 cmH_2O de PEEP. En adultos, una presión máxima de 35-40 cmH_2O y una PEEP máxima de 15-20 cmH_2O ¹⁵⁻²⁰.

En relación con la frecuencia respiratoria, durante toda la maniobra se suele recomendar incrementarla hasta 20 rpm en adultos y 30 rpm en niños. Este incremento de la frecuencia respiratoria se hace para que la duración global de la MR sea más corta y para hacerla más eficiente, ya que el producto presión máxima por tiempo inspiratorio aumenta. Otro beneficio que se consigue al incrementar la frecuencia respiratoria es la hiperventilación moderada desde el principio, lo que compensará la posible hipoventilación durante la fase de máxima presurización. En neonatos y menores de un año podría aumentarse esta frecuencia respiratoria hasta 40 rpm sin riesgo de atrapamiento aéreo y sobredistensión dinámica, pero en general, para hacerlo más fácil, la recomendación general en niños es emplear 30 rpm. En adultos, sobre todo pacientes con espiración prolongada (EPOC),

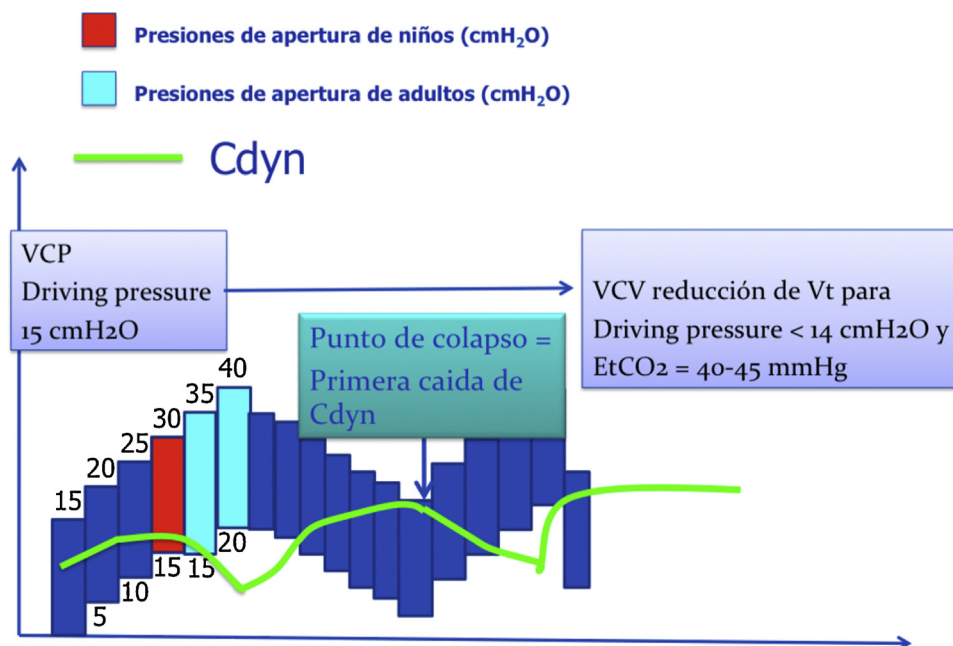


Figura 1 Maniobra de reclutamiento en escalones múltiples progresivos. Esta maniobra se realiza en modo de presión control, con un delta de presión o *driving pressure* fijo de 15 cmH₂O, e incrementos escalonados de PEEP de 5 en 5 cmH₂O. Los parámetros más usualmente utilizados son: frecuencia respiratoria de 20 rpm en adultos y 30 rpm en niños; la FiO₂ no se cambia salvo desaturación; la relación I:E no se cambia. El número de respiraciones en cada escalón es de 3 rpm, y en el punto máximo de apertura, 5-10 rpm. Una vez alcanzada la presión de apertura, se puede pasar a volumen control con un volumen corriente de 6 ml/kg o seguir en presión control con un delta de presión de 10 cmH₂O. Se procede a la reducción de la PEEP hasta hallar el punto con máxima compliancia dinámica y/o con menor *driving pressure*. Se realiza una segunda maniobra de apertura y se deja la PEEP mínima que haya conseguido la mejor Cdyn y el menor *driving pressure*.

20 rpm puede que esté al límite de crear atrapamiento aéreo y sobredistensión dinámica, lo que llevaría implícita la creación de una auto-PEEP que puede incrementar la que nosotros externamente pautamos, por lo que nunca se recomienda el empleo de frecuencias respiratorias aumentadas que lleguen a generar atrapamiento aéreo^{29,30,34-40}.

Se ha propuesto cambiar la relación I:E de 1:2 a 1:1 durante la MR. Esto se hace con la intención de aumentar el producto tiempo inspiratorio por presión máxima y hacer así más eficaz la maniobra. Además estas pautas, recomendadas inicialmente en cuidados críticos para pacientes con SDRA, se benefician de que los tiempos inspiratorios y espiratorios de los pacientes con SDRA son menores que los de un paciente adulto normal (concepto de *baby lung*); por tanto, es muy difícil que esta relación 1:1 pueda generar atrapamiento aéreo y auto-PEEP en pacientes con SDRA. Sin embargo, si aumentamos la frecuencia respiratoria y además acortamos el tiempo espiratorio al programar una relación I:E de 1:1, hay alto riesgo de provocar nosotros mismos auto-PEEP en un paciente adulto, por lo que se recomienda dejar la misma relación I:E que ese paciente tuviera antes de la MR en anestesia³³⁻⁴⁰.

En relación con la FiO₂ empleada durante la MR, también se ha recomendado en pacientes con SDRA aumentar la FiO₂ hasta el 100% durante la MR. Esto se debe a que en pacientes graves de SDRA hay más riesgo de desaturación durante la realización de la MR, y porque el empleo de FiO₂ del 100% hace más fiable el cálculo de la relación

PaO₂/FiO₂⁴¹. Sin embargo, en anestesia no es recomendable modificar la FiO₂ y mantenerla en la que previamente estaba programada, con la excepción de que el enfermo esté desaturado, en cuyo caso sí aumentaríamos la FiO₂ al 100% antes de la MR. Las razones para no cambiar la FiO₂ antes de la MR es que en anestesia es excepcional encontrar a un enfermo que se desature durante una MR, y además nos ayuda a detectar mejor y de forma no invasiva una mejora en la relación saturación/FiO₂, antes y después de la MR; finalmente, en la práctica clínica no se suele recomendar guiar el cálculo de la PEEP óptima mediante la medición de la PaO₂/FiO₂, sino mediante el punto de mejor compliancia dinámica y menor *driving pressure*^{18,19,30,33,39,41}.

Finalmente, existen diferentes aproximaciones con relación al número de respiraciones con que hay que mantener al enfermo en cada escalón de presión. Hay dos posturas: la de los que consideran que el tiempo en cada escalón es necesario para conseguir un «pre-acondicionamiento cardíaco de precarga» y que la MR tenga una menor repercusión hemodinámica, y la de los que consideran que cuanto más corta sea la MR, menor repercusión hemodinámica en anestesia, y por tanto recomiendan menos rpm en cada escalón previo. Lo que sí se considera es que hace falta un número mínimo de respiración/tiempo en el escalón de máxima presión, porque es ahí donde se consigue definitivamente la apertura de las áreas colapsadas. Como guía práctica para revertir las atelectasias durante la anestesia, en cada escalón de subida se debe permanecer entre

2 y 5 respiraciones, y en el escalón último, que es el de apertura, entre 5-10 respiraciones (15-30 segundos)^{1,6,16-18,24}.

Perspectivas de futuro: maniobras de reclutamiento con software automatizado

Actualmente los ventiladores de anestesia disponen de herramientas de monitorización de tendencias del colapso pulmonar y para realizar MR automatizadas, seguras y fáciles. Muchos de estos nuevos programas informáticos monitorizan la Cdyn tanto ventilación a ventilación como en tendencias, y algunos de ellos son capaces de comparar la evolución de la Cdyn con la PEEP programada. Algunos de estos programas informáticos, en función de la evolución de estos parámetros, alertan de una posible conveniencia de realizar una MR.

En cuanto uno se familiariza con estas herramientas automatizadas de reclutamiento, enseguida se percibe que se convierten en maniobras más seguras, ya que una vez que se programan los parámetros antes de iniciar la MR ya no puede haber el error humano de una mala programación mientras se ejecutan. Además, hoy se conocen bien los parámetros y sus rangos de programación, por lo que estos programas pueden facilitar de forma segura que se pueda generalizar el uso de estas maniobras.

El segundo avance que estas MR automatizadas presentan es que realizan un cálculo instantáneo del tiempo real que va a tardar la MR completa, y la variación de este tiempo en función de los diferentes ajustes que se hacen. Puede verse en tiempo real la variación de la duración de la MR al variar la frecuencia respiratoria o el número de respiraciones en cada escalón, o la presión máxima a alcanzar, lo que facilita el proceso de toma de decisiones durante la programación de la MR.

Hay que recordar que solo se deben recomendar los programas informáticos que presenten una herramienta específica para realizar la MR de múltiples escalones progresivos, en presión control y con *driving pressure* constante, no la MR de ciclos cortos a alta presión (*bagging*), ni tampoco las maniobras de CPAP.

La única limitación de estos software, por el momento, es que aún requieren nuestra colaboración y participación para el cálculo individualizado de la PEEP con la que hay que dejar al paciente después de la MR. Todos ellos preguntan por la PEEP final deseada después de la MR, pero aún no realizan el cálculo automatizado de la PEEP que obtenga la mejor Cdyn o la menor *driving pressure*. Esto se debe a que el cálculo de la Cdyn en la fase de despresurización es complejo. No es fácil, debido a que durante la fase de despresurización se produce la aparición del volumen compresible, lo que hace que a veces no sea claro detectar el punto de máxima Cdyn por los espirómetros, por lo que se requiere una toma de decisiones clínica para decidir cuál sería la PEEP adecuada para cada enfermo^{39,40}.

Qué podemos aprender de los neonatos

Las MR pulmonar son parte de nuestra propia fisiología respiratoria.

Los pulmones más colapsados que existen en este mundo son los que nunca han recibido aire: los del neonato en el

mismo momento del nacimiento, antes de la primera MR pulmonar, tienen un 100% de colapso pulmonar. Se ha medido la presión transpulmonar negativa que tienen que superar corderos neonatos para reabrir los pulmones por primera vez, y llegan a presiones de apertura transpulmonar de 55-60 cmH₂O. Después de reabrir los pulmones con esta MR con presiones tan elevadas (porque tienen que abrir los pulmones en tan solo 2-3 inspiraciones), se auto-programan una mínima PEEP fisiológica de 2-3 cmH₂O para mantener el pulmón abierto. Esta auto-PEEP la generan mediante el reflejo de cierre glótico junto con el reflejo de Hering- Breuer que les capacita para cerrar la glotis al final de la espiración y mantener la capacidad pulmonar al final de la espiración (EELV) por encima de la CRF, para así evitar la situación de re-colapso en fase espiratoria³⁹⁻⁴⁴.

El neonato al nacer es el perfecto modelo de colapso pulmonar. El neonato nos enseña que ante un pulmón colapsado no le queda más remedio que utilizar presiones transpulmonares inspiratorias máximas muy elevadas, durante un tiempo muy recortado para reabrir todo el pulmón, y a continuación, autoprogramarse una PEEP lo más baja posible (2-3 cmH₂O) pero que sea suficiente para mantener el pulmón completamente abierto durante la espiración^{39,44}.

Otra visión clínica de las MR pulmonar es que, de forma más o menos inconsciente, todos los anestesiólogos llevamos realizando durante toda nuestra práctica clínica MR pulmonar, incluso sin ser conscientes de ello. Cada vez que un paciente desatura tras la inducción e intubación anestésica o durante la cirugía, estamos acostumbrados a recuperar a esos enfermos, a ventilarlos manualmente con presiones inspiratorias que no medimos (*bagging*), y si lo hacemos, en la mayoría de los casos suelen superar los 60 cmH₂O. Este hecho nos dice que ante pacientes desaturados la práctica habitual de muchas guías es la desconexión del enfermo y la ventilación manual, incluso con presiones que ahora sabemos que pueden estar cerca de generar un barotrauma directo^{39,40,44}.

Las MR en presión control y con múltiples escalones son maniobras mucho más seguras que las maniobras manuales, porque el anestesiólogo conoce de antemano la presión máxima a alcanzar, y esto hace que se minimicen los riesgos de las MR en anestesia.

El colapso pulmonar es una realidad en nuestra práctica clínica durante las anestесias generales, y las MR son el único mecanismo para revertir esas atelectasias asociadas a la anestesia, seguidas de la programación individualizada de una PEEP mínima⁴⁰⁻⁴⁴.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés. El Dr. Abad. Gurumeta y el Dr. Bergese son editores de la REDAR, pero no han intervenido en el proceso editorial de este artículo.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a todos los miembros del servicio de anestesia su implicación en el cuidado ventilatorio de sus pacientes.

Bibliografía

1. Tusman G, Böhm SH, Warner DO, Sprung J. Atelectasis and perioperative pulmonary complications in high-risk patients. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2012;25:1–10.
2. Hedenstierna G. Effects of anaesthesia on ventilation/perfusion matching. *Eur J Anaesthesiol.* 2014;31:447–9.
3. Eichenberger A, Proietti S, Wicky S, Frascarolo P, Suter M, Spahn DR, et al. Morbid obesity and postoperative pulmonary atelectasis: An underestimated problem. *Anesth Analg.* 2002;95:1788–92.
4. Xue FS, Li BW, Zhang GS, Liao X, Zhang YM, Liu JH, et al. The influence of surgical sites on early postoperative hypoxemia in adults undergoing elective surgery. *Anesth Analg.* 1999;88:203–19.
5. Strandberg A, Tokics L, Brismar B, Lundquist H, Hedenstierna G. Atelectasis during anaesthesia and in the postoperative period. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1986;30:154–8.
6. Tusman G, Acosta C, Nicola M, Suarez-Sipmann F. Real-time images of tidal recruitment using lung ultrasound. *Crit Ultrasound J.* 2015;7:19–22.
7. Bouhemad B, Brisson H, le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby JJ. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med.* 2011;183:341–7.
8. Ferrando C, Romero C, Tusman G, Suarez-Sipmann F, Canet J, Dosdá R, et al. The accuracy of postoperative, non-invasive Air-Test to diagnose atelectasis in healthy patients after surgery: A prospective, diagnostic pilot study. *BMJ Open.* 2017;7:e015560, <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2016-015560>.
9. Magnusson L, Zemgulis V, Wicky S, Tydén H, Thelin S, Hedenstierna G. Atelectasis is a major cause of hypoxemia and shunt after cardiopulmonary bypass: An experimental study. *Anesthesiology.* 1997;87:1153–63.
10. Hedenstierna G, Tokics L, Strandberg A, Lundquist H, Brismar B. Correlation of gas exchange impairment to development of atelectasis during anaesthesia and muscle paralysis. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1986;30:183–91.
11. Sun Z, Sessler DI, Dalton JE, Devereaux PJ, Shahinyan A, Naylor AJ, et al. Postoperative hypoxemia is common and persistent: A prospective blinded observational study. *Anesth Analg.* 2015;121:709–15.
12. Futier E, Constantin JM, Paugam-Burtz C, Pascal J, Eurin M, Neuschwander A, et al. A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery (IMPROVE trial). *N Engl J Med.* 2013;369:428–37.
13. Hemmes SN, Gama de Abreu M, Pelosi P, Schultz MJ, PROVE Network Investigators for the Clinical Trial Network of the European Society of Anaesthesiology. High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILLO trial): A multicentre randomised controlled trial. *Lancet.* 2014;384:495–503.
14. Ferrando C, Soro M, Canet J, Unzueta MC, Suárez F, Librero J, et al. Rationale and study design for an individualized perioperative open lung ventilatory strategy (iPROVE): Study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2015;16:193.
15. Malhotra MS, Wright HC. The effects of a raised intrapulmonary pressure on the lungs of fresh unchilled cadavers. *J Pathol.* 1961;82:198–202, <http://dx.doi.org/10.1002/path.1700820126>.
16. García-Fernández J, Canfrán S, de Segura IA, Suarez-Sipmann F, Aguado D, Hedenstierna G. Pressure safety range of barotrauma with lung recruitment manoeuvres: a randomised experimental study in a healthy animal model. *Eur J Anaesthesiol.* 2013;30:567–74.
17. Mendiola A, García-Fernández J, Llorente-Cantarero FJ, Gil-Campos M, Muñoz-Villanueva MC, De la Torre Aguilar MJ, et al. Lung recruitment manoeuvres do not cause haemodynamic instability or oxidative stress but improve oxygenation and lung mechanics in a newborn animal model. *Eur J Anaesthesiol.* 2014;31:457–65.
18. González P, García-Fernández J, Canfrán S, Gilsanz F. Neonatal pneumothorax pressures surpass higher threshold in lung recruitment maneuvers: An in vivo interventional study. *Respir Care.* 2016;61:142–50.
19. Bhalla A, Khemani R. Recruitment maneuvers to the extreme. *Respir Care.* 2016;61:260–1.
20. Gil A, Monge M, Gracia M, Díaz JC. Incidencia, características y evolución del barotrauma durante la ventilación mecánica con apertura pulmonar. *Med Intensiva.* 2012;36:335–42.
21. Hodgson C, Keating JL, Holland AE, Davies AR, Smirneos L, Bradley SJ, et al. Recruitment maneuvers for adults with acute lung injury receiving mechanical ventilation. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009;2:CD006667.
22. Keenan O, Formenti P, Marini J. Lung recruitment in acute respiratory distress syndrome: What is the best strategy? *Curr Opin Crit Care.* 2014;20:63–8.
23. Canfrán S, Gómez de Segura IA, Cediel R, García-Fernández J. Effects of a stepwise lung recruitment manoeuvre and positive end-expiratory pressure on lung compliance and arterial blood oxygenation in healthy dogs. *Vet J.* 2012;194:89–93.
24. Longo S, Siri J, Acosta C, Palencia A, Echegaray A, Chiotti I, et al. Lung recruitment improves right ventricular performance after cardiopulmonary bypass. A randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol.* 2016;33:1–9.
25. Canfrán S, Gómez de Segura IA, Cediel R, García-Fernández J. Effects of fluid load on cardiovascular function during stepwise lung recruitment manoeuvre in healthy dogs. *Vet J.* 2013;197:800–5.
26. Hartland BL, Newell TJ, Damico N. Alveolar recruitment maneuvers under general anaesthesia: A systematic review of the literature. *Respir Care.* 2015;60:609–20.
27. Lachmann B. Open up the lung and keep the lung open. *Intensive Care Med.* 1992;18:319–21.
28. Reis Miranda D, Gommers D, Struijs A, Dekker R, Mekel J, Feelers R, et al. Ventilation according to the open lung concept attenuates pulmonary inflammatory response in cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2005;28:889–95.
29. Unzueta C, Tusman G, Suarez-Sipmann F, Böhm S, Moral V. Alveolar recruitment improves ventilation during thoracic surgery: A randomized controlled trial. *Br J Anaesth.* 2012;108:517–24.
30. Reis Miranda D, Struijs A, Koetsier P, van Thiel R, Schepp R, Hop W, et al. Open lung ventilation improves functional residual capacity after extubation in cardiac surgery. *Crit Care Med.* 2005;33:2253–8.
31. Rzezinski AF, Oliveira GP, Santiago VR, Santos RS, Ornellas DS, Morales MM, et al. Prolonged recruitment manoeuvre improves lung function with less ultrastructural damage in experimental mild acute lung injury. *Respir Physiol Neurobiol.* 2009;169:271–81.
32. Santos R, Silva P, Pelosi P, Rocco P. Recruitment maneuvers in acute respiratory distress syndrome: The safe way is the best way. *World J Crit Care Med.* 2015;4:278–86.
33. Reinius H, Jonsson L, Gustafsson S, Sundbom M, Duvernoy O, Pelosi P, et al. Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anaesthesia and paralysis: A computerized tomography study. *Anesthesiology.* 2009;111:979–87.
34. Suzumura EA, FigueiroM, Normilio-Silva K, Laranjeira L, Oliveira C, Buehler AM, et al. Effects of alveolar recruitment maneuvers on clinical outcomes in patients with acute respiratory distress syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med.* 2014;40:1227–40.
35. Futier E, Constantin JM, Pelosi P, Chanques G, Kwiatkoski F, Jaber S, et al. Intraoperative recruitment maneuver reverses detrimental pneumoperitoneum-induced respiratory effects

- in healthy weight and obese patients undergoing laparoscopy. *Anesthesiology*. 2010;113:1310–9.
36. Borges JB, Okamoto VN, Matos GF, Caramez MP, Arantes PR, Barros F, et al. Reversibility of lung collapse and hypoxemia in early acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006;174:268–78.
 37. Severgnini P, Selmo G, Lanza C, Chiesa A, Frigerio A, Bacuzzi A, et al. Protective mechanical ventilation during general anesthesia for open abdominal surgery improves postoperative pulmonary function. *Anesthesiology*. 2013;118:1307–21.
 38. Marini J. Recruitment by sustained insufflation: Time for a change. *Intensive Care Med*. 2011;37:1572–4.
 39. Borges JB, Costa EL, Suarez-Sipmann F, Widström C, Larsson A, Amato M, et al. Early inflammation mainly affects normally and poorly aerated lung in experimental ventilator-induced lung injury. *Crit Care Med*. 2014;42:279–87.
 40. Futier E, Marret E, Jaber S. Perioperative positive pressure ventilation: An integrated approach to improve pulmonary care. *Anesthesiology*. 2014;121:400–8.
 41. Aboab J, Louis B, Jonson B, Brochard L. Relation between PaO₂/FIO₂ ratio and FIO₂: A mathematical description. *Intensive Care Med*. 2006;32:1494–7.
 42. Garcia-Fernandez J, Castro L, Belda J. Ventilating newborn and child. *Curr Anaesth Crit Care*. 2010;21:262–8.
 43. Garcia-Fernandez J, Tusman G, Suarez F, Soro M, Llorens J, Belda J. Programming pressure support ventilation in pediatric patients in ambulatory surgery with laryngeal mask. *Anesth Analg*. 2007;105:1585–91.
 44. Milner A, Vyas H. Lung expansion at birth. *J Pediatr*. 1982;101:879–86.