



# Ventilación protectora

## Ventilación en quirófano

La ventilación mecánica es un tratamiento de soporte esencial durante la anestesia general. Sin embargo, la ventilación mecánica puede contribuir a obstaculizar la oxigenación y el intercambio de gases, debido principalmente a las atelectasias. En este artículo abordamos diferentes opiniones y puntos de vista sobre la prevención del colapso pulmonar durante la anestesia general. Por último, presentaremos nuestras soluciones de alta tecnología diseñadas para simplificar el flujo de trabajo, ofrecer una mayor visibilidad a lo largo de la monitorización continua y ayudar a los profesionales a mejorar la atención médica mediante avanzados análisis de datos.

### Las atelectasias durante la anestesia general

A nivel mundial, más de 200 millones de pacientes se someten cada año a anestesia general y reciben ventilación mecánica<sup>1-4</sup>. Normalmente, la anestesia general es un método efectivo para posibilitar las intervenciones quirúrgicas; y la ventilación mecánica resulta esencial durante la anestesia general. Sin embargo, la ventilación mecánica también puede contribuir a obstaculizar la oxigenación y el intercambio de gases, debido principalmente a las atelectasias: el colapso parcial o total del pulmón o sus lóbulos<sup>5, 6</sup>. Se estima que las atelectasias se generan pocos minutos después de la inducción de la anestesia y se pueden prolongar en el período posoperatorio hasta en el 90 % de los pacientes, por lo que son una de las complicaciones más habituales en el quirófano<sup>4-6</sup>. La compresión del tejido pulmonar, la absorción de aire alveolar y la disfunción del surfactante son los tres mecanismos fisiológicos<sup>5, 6</sup> que pueden contribuir a la aparición de atelectasias durante la anestesia general.

• **Las atelectasias por compresión** se dan cuando el diafragma se ha desplazado cefálicamente y se ha relajado, disminuyendo su efectividad a la hora de mantener las presiones diferenciales entre la cavidad torácica y la abdominal. Esto produce una reducción de la presión transmural, que a su vez distiende los alveolos hasta permitir su colapso.

• **Las atelectasias por absorción** se producen cuando un gran volumen de nitrógeno en los pulmones es sustituido por oxígeno. A continuación, es posible que el oxígeno se absorba en la sangre, reduciendo el volumen de alvéolos y provocando un colapso alveolar.

• **Las atelectasias por pérdida de surfactante** tienen lugar cuando el surfactante pulmonar que cubre la superficie alveolar se pone en peligro durante la exposición a la anestesia. Esta exposición puede deprimir la función estabilizadora del surfactante y generar un colapso alveolar.

Aparte de estos tres mecanismos fisiológicos, los siguientes factores (no es una lista exhaustiva) relativos a la intervención y el paciente pueden influir en la aparición de atelectasias:

Factores de intervención	Factores de paciente
Cirugías torácicas y abdominales	Edad
Posición corporal	Alto índice de masa corporal
Baipás cardiopulmonar	Fumador
Alta presión intraabdominal	Embarazo

Las atelectasias durante la anestesia general contribuyen a la aparición de complicaciones pulmonares postoperatorias (CPP). Mientras que la tasa de incidencia de CPP varía hasta un 23%<sup>2</sup>, se ha demostrado que tener la función pulmonar comprometida aumenta:

- (a) mortalidad a corto y largo plazo
- (b) morbilidad
- (c) costes sanitarios<sup>2</sup>

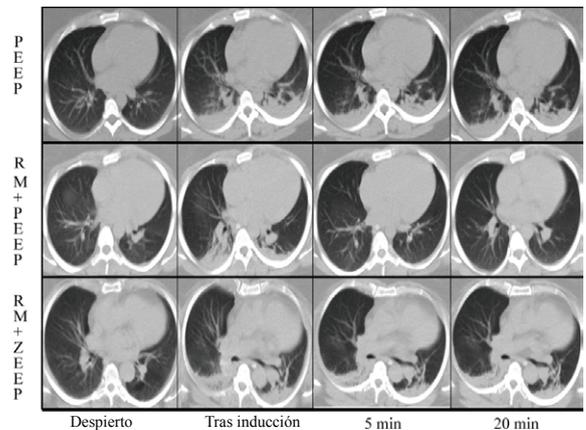
Solo las CPP contribuyen en un 11,9 % al índice de mortalidad en pacientes sometidos a intervenciones gastrointestinales. Asimismo, aumentar la estancia en la UCI después de la intervención entre 4,5 y 7,1 días se corresponde con un incremento asociado de los gastos de 25.498 dólares<sup>7</sup>.

## Ventilación protectora pulmonar intraoperatoria: resumen de estudios clínicos

Si bien existe un consenso al afirmar que las atelectasias durante la anestesia general son un problema clínico de consecuencias sanitarias y económicas, hay una gran cantidad de opiniones y corrientes de pensamiento en torno a cómo prevenir el colapso pulmonar durante la anestesia general.

En la medicina de cuidados intensivos se han empleado métodos de ventilación protectora que se pueden trasladar al quirófano con el objetivo de mejorar los resultados postoperatorios. Cada vez hay más pruebas que indican que las técnicas profilácticas de ventilación protectora pulmonar que emplean un volumen tidal (VT) bajo, una presión positiva al final de la espiración (PEEP) moderada y maniobras de reclutamiento (MR) pueden ofrecer una protección intraoperatoria al reducir la incidencia de las CPP<sup>1, 2, 4-6</sup>. Esto puede dar lugar a mejores resultados postoperatorios fisiológicos y clínicos. Sin embargo, aún debe comprenderse la función y la capacidad de estos métodos en su totalidad. Reinius *et al.* demostraron que, al aplicar de forma individual una PEEP y maniobras de reclutamiento en pacientes con obesidad mórbida, no se reducen las atelectasias.<sup>8</sup>

No obstante, aplicar una maniobra de reclutamiento seguida de una PEEP sí que abría áreas atelectásicas del pulmón, mejoraba la oxigenación arterial y aumentaba la distensibilidad del sistema respiratorio en algunos casos<sup>8</sup>.



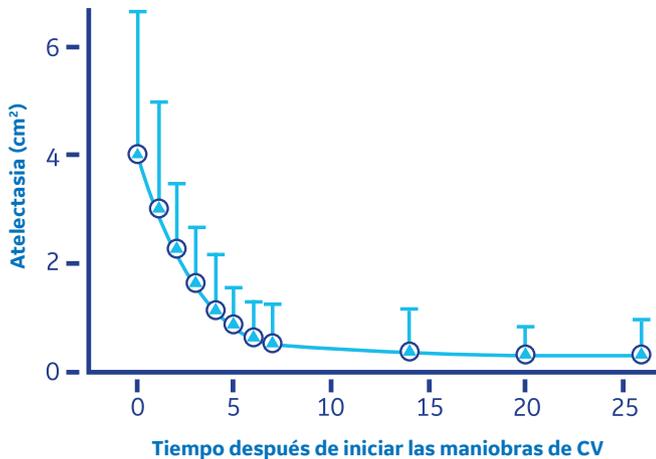
Imágenes representativas de TC de pulmones de cada uno de los tres grupos (PEEP, MR+PEEP y MR+ZEEP) en cuatro puntos temporales: despierto, tras la inducción, a los 5 minutos de postinducción y a los 20.<sup>8</sup>

## Maniobras de reclutamiento pulmonar

Las maniobras de reclutamiento (RM) están destinadas a abrir los alvéolos colapsados aplicando incrementos transitorios en la presión transpulmonar. En la siguiente sección abordaremos el reclutamiento de un único paso y de varios pasos como parte de las técnicas de ventilación mecánica protectora intraoperatoria.

## Capacidad vital: maniobra de reclutamiento en un único paso

El método manual de “apretar la bolsa” o de capacidad vital (CV), que consiste en aplicar y mantener una presión de inflado determinada durante un tiempo específico ha resultado efectivo en algunos casos. En pacientes sometidos a neurocirugías o intervenciones oculares, la inflación de los pulmones en adultos sanos hasta 40 cm de H<sub>2</sub>O, ha logrado reexpandir el tejido pulmonar previamente contraído en los 7-8 primeros segundos de la maniobra de CV<sup>9</sup>. En el gráfico siguiente se muestran las atelectasias junto con las mediciones de gasometría arterial correspondientes, antes y después de “apretar la bolsa”, al menos 15 minutos después de la inducción de la anestesia y durante 26 segundos<sup>9</sup>.



### Análisis de la sangre arterial antes y después de la maniobra de capacidad vital

	Antes	Después	p
pH	7.44 (0.03)	7.44 (0.04)	0.20
Pa <sub>CO<sub>2</sub></sub> (kPa)	4.80 (0.6)	4.70 (0.7)	0.30
Pa <sub>O<sub>2</sub></sub> (kPa)	17.2 (4.0)	22.2 (6.0)	.013
Sa <sub>O<sub>2</sub></sub> (%)	98.3 (0.9)	98.7 (0.5)	0.10
Bicarbonato (mEq litro <sup>-1</sup> )	24.6 (1.2)	24.8 (1.1)	0.50
BE (mEq litro <sup>-1</sup> )	0.10 (1.4)	0.20 (1.1)	0.90

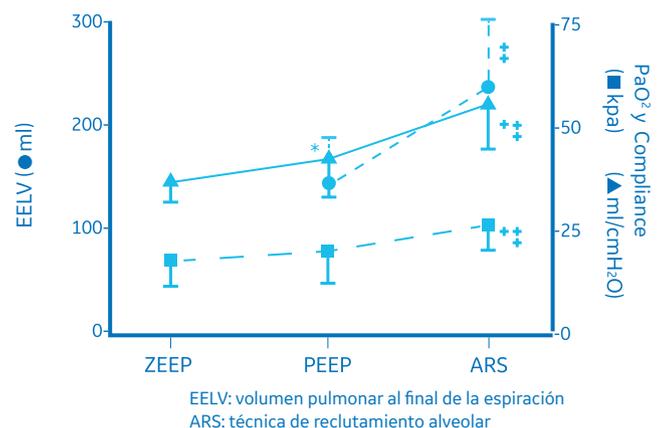
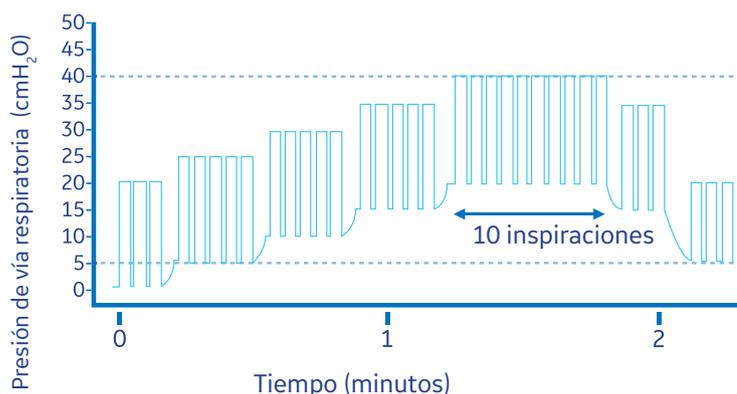
Si bien no hay un único método que se adapte a todos los pacientes, un metaanálisis reciente expuso las siguientes observaciones:

1. Reducir la FiO<sub>2</sub> en pacientes que puedan tolerarlo puede proporcionar una oxigenación adecuada y reducir la aparición de atelectasias.
2. Una maniobra de capacidad vital (+40 cm de H<sub>2</sub>O durante 15 segundos) unida a PEEP (+10 cm de H<sub>2</sub>O) logra prevenir la aparición de atelectasias y complicaciones postoperatorias.

Se ha demostrado que hay otras técnicas de reclutamiento de capacidad vital que pueden resultar beneficiosas. Los resultados del estudio IMPROVE (Intraoperative Protective Ventilation) indican que una técnica profiláctica de ventilación protectora pulmonar (en este caso, VT de 6-8 ml/kg según peso corporal, PEEP de 6-8 cm de H<sub>2</sub>O y maniobras de reclutamiento de 30 cm de H<sub>2</sub>O durante 30 segundos cada 30 minutos), provoca menos complicaciones postoperatorias en algunos casos<sup>10</sup>.

## Procedimiento cíclico: maniobra de reclutamiento en varios pasos

Mientras que los métodos de inflación constante en un único paso han demostrado ser efectivos, las maniobras de reclutamiento en varios pasos (o graduales) también pueden resultar beneficiosas. Las maniobras de reclutamiento que emplean un aumento incremental de la presión en las vías respiratorias y/o PEEP se conocen como MR escalonadas. Estas MR permiten un aumento gradual de la presión transpulmonar. La técnica de reexpansión escalonada en la ventilación de presión controlada (frecuencia de ventilación de 15, ratio I/E de 1:1 y PEEP aumentada progresivamente en 5 cm H<sub>2</sub>O desde 0 cm H<sub>2</sub>O hasta 20 cm H<sub>2</sub>O) aumentó la oxigenación arterial, el volumen de espiración pulmonar y la distensibilidad respiratoria en pacientes sometidos a una cirugía abdominal inferior abierta<sup>11</sup>. La técnica de reclutamiento alveolar se resume a continuación. Tras la MR escalonada, como indican los datos, se redujo el espacio muerto, se mejoró la eliminación de CO<sub>2</sub> y aumentó la eficiencia de la ventilación en los pacientes<sup>11</sup>.



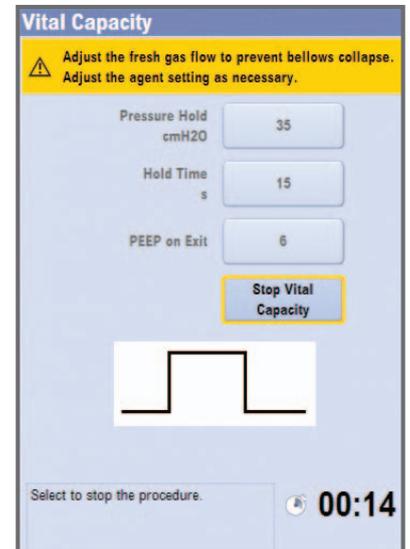
# Soluciones tecnológicas de protección pulmonar de GE Healthcare

## Maniobras de reclutamiento pulmonar automatizadas: simplificación del flujo de trabajo que mejora la atención del personal médico

Los últimos sistemas de suministro de anestesia de GE Healthcare están diseñados para simplificar el flujo de trabajo y ayudar a los profesionales a ofrecer una asistencia más efectiva. En las últimas versiones de software GE Anesthesia Aisys CS<sup>2</sup>, Avance CS<sup>2</sup> y Carestation serie 600, se han automatizado los procesos de las maniobras de reclutamiento pulmonar. Se denominan capacidad vital y procedimientos cíclicos. Con estas funciones automáticas, el personal médico puede efectuar los procesos con eficacia y precisión.

### Capacidad vital

La función de capacidad vital automatiza el proceso manual de “apretar y mantener” la bolsa y es una manera sencilla de suministrar una presión sin tener que realizar varios cambios en los ajustes del ventilador. La configuración de la PEEP al salir ofrece una forma de cambiar el ajuste de la PEEP del ventilador automáticamente al final del procedimiento de capacidad vital.



### Procedimiento cíclico

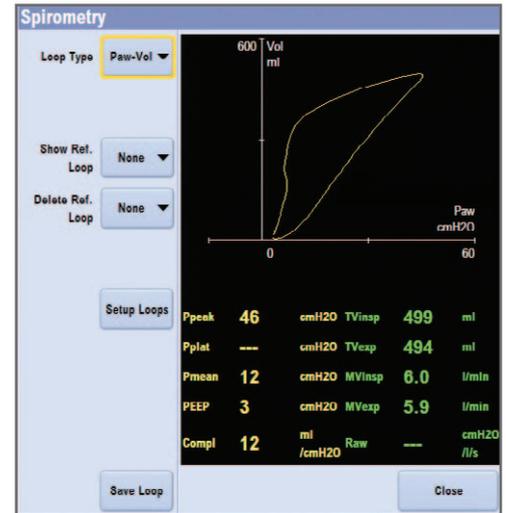
La función cíclica automatiza la maniobra de reclutamiento en varios pasos. Es una opción automatizada y programable con la que los profesionales pueden incrementar y disminuir los niveles de PEEP durante la ventilación mecánica. Los procedimientos cíclicos son una forma flexible de suministrar inspiraciones de presión durante la ventilación sin tener que realizar varios cambios en los ajustes del ventilador. Hay disponibles cuatro perfiles de procedimientos cíclicos con hasta siete pasos preconfigurados. Los pasos predeterminados del procedimiento y los ajustes de ventilación se pueden preconfigurar con el acceso de usuario avanzado. El usuario puede modificar los ajustes de ventilación de cada paso antes de iniciar el procedimiento. En la última versión del software Aisys CS<sup>2</sup>, se puede visualizar el paso activo en una casilla verde junto con las mediciones progresivas de la compliance que indican la efectividad en tiempo real de los procedimientos pulmonares automatizados.

## Espirometría de paciente: la compliance pulmonar como parámetro fundamental en la evaluación de la eficacia del reclutamiento durante la anestesia

La compliance pulmonar refleja la readaptación del sistema respiratorio. Se define como una diferencia de presión necesaria para expandir el pulmón a un volumen determinado. La compliance pulmonar dinámica se calcula dividiendo el VT por la diferencia entre la presión inspiratoria máxima (PIP) y la PEEP: compliance dinámica =  $VT / (PIP - PEEP)$ . Como valor dinámico continuo, resulta una herramienta sencilla para que el profesional siga los cambios respiratorios y ajuste la ventilación como corresponda.

En principio, un aumento de la compliance pulmonar inmediatamente después de la aplicación de una maniobra de reclutamiento alveolar reflejaría una reducción de las atelectasias y conllevaría un incremento de la  $PaO_2$  debido a una mayor adaptación entre la ventilación y la perfusión.

Espirometría de paciente, incluida en GE Anesthesia Aisys CS<sup>2</sup>, Avance CS<sup>2</sup> y Carestation serie 600, mide la presión de las vías respiratorias, el flujo, el volumen, la compliance y la resistencia de las vías respiratorias, con cada respiración, en la vía aérea del paciente. La interrelación dinámica entre presión y volumen, flujo y volumen, y presión y flujo aparece en forma de bucle gráfico.



Esta imagen muestra los efectos de distintos ajustes de la PEEP (y por ende, de las maniobras de reclutamiento) en la compliance del paciente. El bucle guardado (blanco) indica una compliance reducida. La situación se ve alterada al aumentar el ajuste de la PEEP hasta 5 cm H<sub>2</sub>O, que obviamente mejora la compliance pulmonar (amarillo).

Durante un procedimiento cíclico, el valor de la compliance dinámica aparecerá con cada variación del nivel de PEEP, permitiendo así que el profesional sepa cuándo se ha logrado el reclutamiento y el nivel óptimo de PEEP del paciente en concreto.

## Variación de la presión de pulso (VPP) y variación de la presión sistólica (VPS): monitorización continua de la estabilidad hemodinámica de los pacientes

Una ventilación con presión positiva produce cambios en la presión arterial de la caja torácica. La presión arterial aumenta durante la fase inspiratoria y disminuye durante la fase espiratoria. La magnitud de tales cambios depende del estado de los fluidos del paciente. En pacientes hipovolémicos, estas fluctuaciones son mayores en amplitud en comparación con pacientes normovolémicos o hipervolémicos. Es un fenómeno muy conocido.

Las herramientas de variación de la presión de pulso (VPP) y la variación de la presión sistólica (VPS) incluidas en los monitores de paciente CARESCAPE de GE Healthcare (B850, B650 y B450), junto con Aisys CS<sup>2</sup>, Avance CS<sup>2</sup> y Carestation serie 600, se pueden utilizar para llevar a cabo con eficacia una técnica de protección pulmonar individualizada orientada al paciente. VPP y VPS son herramientas de decisión clínica que pueden ayudar a pronosticar la inestabilidad hemodinámica inducida por PEEP y la aplicación de maniobras de reclutamiento.

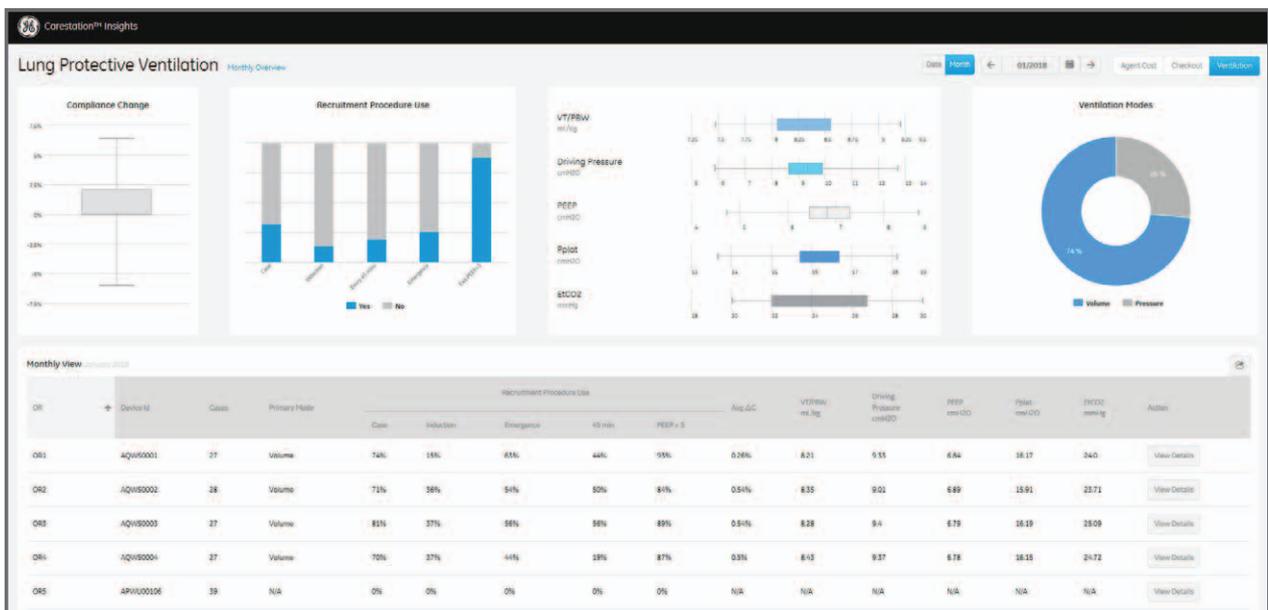
Un aumento en la presión intratorácica puede incrementar la postcarga del ventrículo derecho, comprimir las venas intratorácicas y reducir el gasto cardiaco. También puede que los pulmones ejerzan un efecto de compresión en el corazón y dificulten la compliance cardiaca. La variación de la carga cardiaca se puede reflejar en VPP y VPS, por lo que el profesional médico puede hacer uso del valor de VPP y VPS para tomar decisiones respecto a los posibles efectos del reclutamiento pulmonar en la hemodinámica.

## Carestation Insights: análisis de datos anestésicos que ofrecen una mayor visibilidad de la ventilación y de la respuesta pulmonar

Carestation Insights es un paquete de aplicaciones de análisis basadas en la nube diseñadas para que el personal médico pueda tomar decisiones a partir de los datos para mejorar los resultados. Analiza más de 300 puntos de datos que abarcan valores de ventilación, valores de gases, alarmas, códigos de error y estados del sistema.

La aplicación de ventilación protectora pulmonar comprueba los ajustes de ventilación y las respuestas de todos los equipos de anestesia conectados. Proporciona datos a los hospitales para ayudarles en sus iniciativas de protección pulmonar para lograr mejores resultados clínicos y reducir las complicaciones postoperatorias.

Esta aplicación ofrece la visibilidad necesaria para fomentar cambios de conducta. Presenta un mecanismo de seguimiento constante de datos y tendencias de los principales ajustes y parámetros de ventilación, con una vista a nivel departamental y de quirófano, con el cumplimiento del protocolo de ventilación protectora pulmonar. Asimismo, la relación de causa y efecto entre los ajustes de ventilación y los resultados intraoperatorios mediante una mayor visibilidad de los cambios en la compliance pulmonar, puede ayudar con la formación del personal médico sobre los efectos que tienen sus prácticas en los resultados de los pacientes.



GE Healthcare ofrece una solución integral para monitorizar, administrar y activar cada aspecto de la estrategia de ventilación protectora pulmonar. Para averiguar qué solución de GE se ajusta mejor a sus necesidades, póngase en contacto con su representante de GE Healthcare o visite [www.gehealthcare.com](http://www.gehealthcare.com).



## Referencias

1. E. Futier, E. Marret, S. Jaber: "Perioperative positive pressure ventilation: an integrated approach to improve pulmonary care". *Anesthesiology* 121, 400-408 (2014).
2. A. Miskovic, A. B. Lumb: "Postoperative pulmonary complications". *Br J Anaesth* 118, 317-334 (2017).
3. N. M. Goldenberg, B. E. Steinberg, W. L. Lee, D. N. Wijeyesundera, B. P. Kavanagh: "Lung-protective ventilation in the operating room: time to implement?" *Anesthesiology* 121, 184-188 (2014).
4. A. Güldner et al.: "Intraoperative protective mechanical ventilation for prevention of postoperative pulmonary complications: a comprehensive review of the role of tidal volume, positive end-expiratory pressure, and lung recruitment maneuvers". *Anesthesiology* 123, 692-713 (2015).
5. M. Duggan, B. P. Kavanagh: "Pulmonary atelectasis: a pathogenic perioperative entity". *Anesthesiology* 102, 838-854 (2005).
6. L. Magnusson, D. R. Spahn: "New concepts of atelectasis during general anaesthesia". *Br J Anaesth* 91, 61-72 (2003).
7. L. A. Fleisher, W. T. Linde-Zwirble: "Incidence, outcome, and attributable resource use associated with pulmonary and cardiac complications after major small and large bowel procedures". *Perioper Med (Lond)* 3, 7 (2014).
8. H. Reinius et al.: "Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anesthesia and paralysis: a computerized tomography study". *Anesthesiology* 111, 979-987 (2009).
9. H. U. Rothen et al.: "Dynamics of re-expansion of atelectasis during general anaesthesia". *Br J Anaesth* 82, 551-556 (1999).
10. E. Futier et al.: "A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery". *N Engl J Med* 369, 428-437 (2013).
11. G. Tusman, S. H. Böhm, F. Suarez-Sipmann, E. Turchetto: "Alveolar recruitment improves ventilatory efficiency of the lungs during anesthesia". *Can J Anaesth* 51, 723-727 (2004).

## Imagination at work