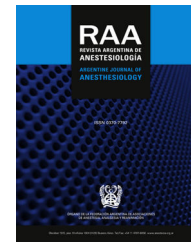




REVISTA ARGENTINA DE ANESTESIOLOGÍA

www.elsevier.es/raa



REVISIÓN

Ventilación protectora y maniobras de reclutamiento pulmonar en cirugía mayor



María Camila Arango-Granados^{a,*} y Fredy Ariza^b

^a Fundación Valle del Lili, Departamento de Anestesia y Cuidado Intensivo, Cali, Colombia

^b Fundación Valle del Lili, Departamento de Anestesia, Cali, Colombia

Recibido el 5 de abril de 2016; aceptado el 18 de mayo de 2016

Disponible en Internet el 21 de junio de 2016

PALABRAS CLAVE

Ventilación mecánica;
Volumen corriente;
Ventilación con presión positiva;
Cirugía mayor

Resumen La ventilación mecánica es una intervención frecuente en el escenario quirúrgico, especialmente para procedimientos de alta complejidad y en pacientes críticamente enfermos, pero no está exenta de complicaciones. Los estudios durante los últimos años han estado encaminados a definir cuál es la estrategia ventilatoria que ofrece el mejor perfil de seguridad durante cirugía mayor. Esta revisión busca exponer cuál es la evidencia disponible sobre estrategias ventilatorias y maniobras de reclutamiento pulmonar en el paciente llevado a cirugía mayor. Para esto se realizó una búsqueda estructurada de la literatura incluida en las bases de datos MEDLINE y SciELO. Las publicaciones disponibles parecen coincidir en que el uso de volúmenes corrientes bajos reduce las complicaciones pulmonares postoperatorias en pacientes que serán sometidos a cirugía mayor. Sin embargo, existe evidencia contradictoria sobre este beneficio en cirugía de tórax. Los hallazgos sobre el uso de presión positiva al final de la espiración aún son heterogéneos. La literatura disponible indica que en cirugía de tórax, cirugía cardiovascular y cirugía traumatológica esta estrategia parece tener potenciales beneficios. En cambio, en cirugía abdominal mayor y neurocirugía existen datos contradictorios que indican la necesidad de futuras investigaciones. Aun es necesario estudiar si las maniobras de reclutamiento ofrecen reales beneficios para los pacientes que se llevan a cirugía mayor, independiente del tipo de cirugía. Finalmente, aún no es posible establecer si tanto la ventilación protectora como las maniobras de reclutamiento pulmonar realizadas en el intraoperatorio impactan en los desenlaces a largo plazo o la mortalidad.

© 2016 Federación Argentina de Asociaciones, Anestesia, Analgesia y Reanimación. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: arango.mc@gmail.com (M.C. Arango-Granados).

KEYWORDS

Mechanical ventilation;
Tidal volume;
Positive-pressure respiration;
Major surgery

Protective ventilation and recruitment maneuvers during major surgery

Abstract Mechanical ventilation is a common intervention during surgical procedures, especially in major surgery and critically ill patients. However, it involves exposure to certain risks and has potentially lethal complications. Studies carried out in the last few years have been aimed at defining the ventilatory approach that offers the best safety profile during major surgery. This review attempts to present the available evidence on protective ventilation and recruitment manoeuvres during major surgery. A structured search was performed in MEDLINE and SciELO databases. Some authors agree that the use of low tidal volumes reduces postoperative pulmonary complications. There is conflicting evidence of this benefit in thoracic surgery. There are mixed findings regarding the use of positive end-expiratory pressure. There are suggestions in the literature that this strategy has potential benefits in thoracic, cardiovascular, and trauma surgery, but there is conflicting data for major abdominal surgery and neurosurgery, suggesting the need for further research. Additionally, it still needs to be determined whether recruitment manoeuvres offer real benefits, regardless of the type of surgery. Finally, it is still not possible to establish if protective ventilation or recruitment manoeuvres performed during surgery have an impact on long-term outcomes, such as mortality.

© 2016 Federación Argentina de Asociaciones, Anestesia, Analgesia y Reanimación. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

La ventilación mecánica es una intervención frecuente y necesaria en el escenario quirúrgico, que resulta salvadora durante la atención de algunos casos de pacientes críticamente enfermos. Los estudios realizados durante los últimos años se han encaminado a definir cuál es la estrategia ventilatoria que le ofrece al paciente la mejor aproximación a su fisiología y, así mismo, el mejor perfil de seguridad. Sin embargo, el soporte ventilatorio en sí mismo puede llegar a ser agresivo, invasivo y en muchos escenarios aleatorio, exponiendo al paciente a complicaciones que se derivan de las características «fuera de lo fisiológico» inherentes a esta intervención. Por esta razón, se hace fundamental conocer los requerimientos específicos para cada paciente que requiere algún tipo de asistencia ventilatoria según su situación clínica. Adicionalmente, es primordial reconocer los posibles riesgos y complicaciones de cara a adoptar estrategias que, a la luz de la evidencia, podrían resultar de utilidad para evitarlas.

Se han descrito múltiples estrategias ventilatorias para tratar de contrarrestar eventos adversos relacionados con la ventilación mecánica en pacientes que van a cirugía mayor y así disminuir las potenciales complicaciones pulmonares postoperatorias, pues estas se han asociado a mayor morbilidad, estancia hospitalaria y mortalidad¹. En términos generales, se acepta que el uso de volúmenes corrientes (VC) bajos como estrategia central de ventilación protectora es eficaz para reducir estas complicaciones²⁻⁴. Una reciente revisión sobre secuencia sobre inducción de secuencia rápida en pacientes críticos propone la ventilación protectora como uno de los estándares de manejo en las Unidades de Cuidado Intensivo (UCI)⁵. Sin embargo, mientras algunos estudios indican que el uso de presión positiva al final de la espiración (PEEP) ofrece potenciales beneficios⁶⁻⁹ y que su ausencia se asocia a un aumento en la mortalidad¹⁰,

otros desaconsejan su uso dadas las repercusiones hemodinámicas y el aumento en el requerimiento de vasoactivos¹¹. Un reciente metaanálisis que combina ensayos clínicos controlados sobre el uso de ventilación protectora y PEEP en cirugía cardíaca, torácica, abdominal y espinal indica la necesidad de futuras investigaciones que analicen el verdadero beneficio de la PEEP en el intraoperatorio, pues no se logró establecer una relación entre esta estrategia y la reducción de complicaciones pulmonares o la mortalidad¹².

Las maniobras de reclutamiento pulmonar como estrategia asociada a la ventilación protectora para la prevención de complicaciones y otros desenlaces adversos postoperatorios en pacientes llevados a cirugía mayor también han sido tema de controversia. Algunos estudios afirman que las maniobras de reclutamiento son altamente efectivas para mejorar la oxigenación, pero sus efectos son limitados en el tiempo y se hace necesario repetirlas durante el procedimiento quirúrgico y los cuidados postoperatorios¹³. Hasta la fecha, el más reciente metaanálisis que combina estudios sobre ventilación en cirugía cardíaca, torácica, abdominal y espinal indica que el uso de maniobras de reclutamiento no se asocia a una disminución en la aparición de complicaciones pulmonares postoperatorias, pero sí a la aparición de importantes eventos adversos¹².

Otra variable que pertenece al concepto de ventilación protectora y que se ha asociado al desarrollo de lesión pulmonar y complicaciones pulmonares postoperatorias es el delta de presión (DP), el cual resulta de la diferencia entre la presión meseta y la PEEP. Serpa Neto et al.¹⁴ desarrollaron un metaanálisis que incluyó a 2.250 pacientes que recibieron anestesia general durante cirugía. Su principal hallazgo indica que el DP alto y los cambios en la PEEP que resulten en un aumento del DP están asociados a un mayor riesgo de complicaciones pulmonares postoperatorias. Los resultados de este estudio indican que el DP es la única medición que logra evaluar de manera significativa los efectos de la

ventilación protectora sobre el desarrollo de complicaciones pulmonares postoperatorias. Por esta razón, hoy en día se considera esta como la principal variable asociada al desarrollo de estas complicaciones.

Dada la información abundante y a la vez contradictoria en torno a la ventilación protectora y a las maniobras de reclutamiento pulmonar durante la cirugía mayor, el objetivo de esta revisión es describir y sintetizar la literatura disponible sobre el uso de estas intervenciones para ciertos tipos de cirugía mayor, con el fin de establecer si existe evidencia sobre su beneficio en algún tipo de cirugía de manera independiente.

Metodología de búsqueda

Para la construcción de esta revisión se siguieron los lineamientos propuestos por el International Committee of Medical Journal Editors en el documento *Uniform requirements for manuscripts submitted to biomedical journals* (www.icmje.org/index.html). En primer lugar, se hizo una búsqueda preliminar de la literatura en las bases de datos MEDLINE y SciELO sobre artículos publicados entre enero de 1990 y marzo del 2016, utilizando los siguientes términos: «protective ventilation»; «recruitment maneuvers»; «tidal volume» (MeSH); «positive-pressure respiration» (MeSH); «anesthesia» (MeSH); «major surgery»; «cardiac surgical procedures» (MeSH); «thoracic surgery» (MeSH); «abdominal surgery», y «neurosurgery». Se analizaron los artículos que a criterio de los autores resultaban apropiados para el desarrollo de esta revisión. Se incluyeron revisiones sistemáticas, revisiones narrativas, metaanálisis, artículos originales y series de caso, en humanos y en animales, escritos en inglés, español y francés. La búsqueda se complementó con referencias encontradas en las publicaciones revisadas, bajo los mismos criterios de selección. Se excluyeron aquellos artículos cuyo contenido se creyó no apropiado para el propósito de esta revisión.

Riesgos durante el establecimiento de una vía aérea definitiva y complicaciones relacionadas con la ventilación mecánica

El periodo de apnea transcurrido entre la laringoscopia y el posicionamiento final del tubo endotraqueal es tal vez la primera situación de riesgo potencial durante el proceso del establecimiento de una vía aérea definitiva. Este periodo puede estar asociado a complicaciones graves en presencia de una vía aérea difícil, especialmente en pacientes cuya condición fisiopatológica no les permite tolerar valores mínimos de hipoxemia^{15,16}. Se han catalogado como pacientes de alto riesgo a los obesos, los críticamente enfermos y las embarazadas^{17,18}. Para contrarrestar el potencial efecto deletéreo de la apnea, la maniobra de preoxigenación (cuyo propósito consiste en aumentar las reservas pulmonares de O₂) resulta fundamental^{19,20}, especialmente en pacientes de alto riesgo, en quienes la eficacia de la preoxigenación se reduce dada su capacidad residual funcional reducida con riesgo aumentado de atelectasias y cortocircuito intrapulmonar^{17,18}. La estrategia general de preoxigenación clásica establece 3 min de res-

piración de una mezcla rica en oxígeno (80-100%) con VC, o entre 3 a 8 ventilaciones a capacidad vital total²¹. Los estudios recientes indican que, con el fin de maximizar los efectos de la preoxigenación, los pacientes obesos y los críticamente enfermos se pueden beneficiar con la combinación de O₂ al 100% y ventilación mecánica no invasiva con PEEP, en posición de Trendelenburg reversa^{22,23}. Se ha estudiado también si las maniobras de reclutamiento inmediatamente después de la intubación resultan efectivas, pero la evidencia sobre su efectividad no es concluyente. En las pacientes embarazadas la evidencia sobre cualquiera de estas estrategias es aún más escasa y se requiere mayor investigación²³.

Otro efecto adverso de la ventilación mecánica, especialmente en el periodo perioperatorio, es el desarrollo de atelectasias. Se ha descrito que hasta el 90% de los pacientes que reciben anestesia desarrollan esta complicación. Entre el 15-20% del pulmón se colapsa en la base durante una anestesia sin complicaciones, incluso antes de dar inicio al procedimiento quirúrgico. Existen varios mecanismos que contribuyen a la aparición de atelectasias perioperatorias, dentro de los que se destaca el uso de fracción inspirada de oxígeno (FiO₂) alta y de fármacos que inducen bloqueo neuromuscular o disminución del volumen residual. Más aun, ventilar el pulmón con oxígeno al 100% después de una maniobra de capacidad pulmonar total hace que las atelectasias aparezcan más rápidamente. La manipulación directa del parénquima pulmonar o su compresión indirecta también se encuentran fuertemente relacionadas con el desarrollo de esta complicación. Por otro lado, es común la práctica de succión de las vías respiratorias con el objeto de liberar la vía aérea de secreciones. Se ha demostrado que la combinación de oxigenación/succión puede causar nuevas atelectasias. Muchas de estas atelectasias persisten por varios días y pueden ser fuente de complicaciones como infecciones pulmonares y alteraciones en la relación ventilación/perfusión. Las estrategias para disminuir la aparición de atelectasias intraoperatorias incluyen el uso de FiO₂ al 40% y maniobras de reclutamiento pulmonar con FiO₂ moderadas²⁴.

A pesar de los beneficios reportados, las maniobras de reclutamiento pulmonar siguen siendo controversiales en la práctica rutinaria debido al temor de complicaciones especialmente hemodinámicas y existe incertidumbre sobre cuál es la mejor manera de monitorizar los efectos de estas maniobras. El objetivo central del reclutamiento pulmonar es forzar la ventilación de las zonas no aireadas del pulmón. El volumen del final de la espiración, la distensibilidad, el espacio muerto, la capnografía volumétrica y algunas técnicas a la cabecera del paciente, como la ultrasonografía pulmonar y la tomografía por impedancia eléctrica, se han utilizado como estrategias para monitorizar los efectos de las maniobras de reclutamiento. En general, los estudios concuerdan en que, para estos efectos, se necesita un análisis multimodal y multiparamétrico tanto en la UCI como en el quirófano²⁵. Sin embargo, no se ha logrado establecer la relación entre estas estrategias y la mortalidad a pesar de su uso creciente. Un estudio multicéntrico e internacional en curso denominado Alveolar Recruitment for ARDS Trial (ART) trata de evaluar si las maniobras máximas de reclutamiento pulmonar seguidas de una ventilación con PEEP óptimo son efectivas para disminuir la mortalidad a los 28

días en los pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) moderado a severo, comparado con la ventilación protectora usual establecida en el ARDSNet²⁶. Los resultados *a priori* hasta la fecha muestran que la incidencia de eventos adversos es similar entre los grupos²⁷. Los resultados de este estudio serán determinantes para definir con precisión la pertinencia y la efectividad de estas maniobras en este grupo de pacientes.

Existen otras complicaciones asociadas a la ventilación mecánica como la autoextubación, la extubación fallida y el desarrollo de infiltrados pulmonares que, aunque relativamente infrecuentes, deben ser reconocidos con prontitud. Un reciente estudio descriptivo sobre las complicaciones asociadas a la ventilación mecánica en una UCI en el 2013 reportó una serie de 174 pacientes, de los cuales el 14,4% tuvo eventos adversos asociados a la ventilación mecánica. Diez pacientes se autoextubaron y 11 presentaron extubación fallida. Del total de pacientes analizados, el 64,9% desarrolló infiltrados pulmonares (nuevos o crecientes) y al 16,7% se le documentaron derrames pleurales (nuevos o crecientes) como complicación²⁸.

Finalmente, se ha descrito en modelos animales que la ventilación espontánea es menos deletérea que la ventilación controlada²⁹. Sin embargo, no siempre es posible recurrir a este modo ventilatorio. Un estudio en modelos animales realizado en el 2011 llevó a 25 sujetos a colapso pulmonar con presión negativa. Posteriormente, se aleatorizaron en 2 grupos, uno al que le permitieron retornar a la ventilación espontánea y otro al que se le brindó ventilación mecánica con VC de 5 ml/kg y FR de 65 rpm (mediciones que se habían estandarizado como normales en el periodo previo de ventilación espontánea). Se analizaron los resultados de las 2 ventilaciones por medio de gasometría arterial y tomografía axial computarizada (TAC) de tórax. Se encontró que después del colapso pulmonar la relación presión arterial de oxígeno/FiO₂ (PaO₂/FiO₂) cayó a 90. En el grupo aleatorizado a ventilación espontánea, la PaO₂/FiO₂ aumentó a 235 tras los primeros 15 min. Por el contrario, en el grupo con ventilación controlada no hubo mejoría de este parámetro ventilatorio. El cortocircuito intrapulmonar a los 45 min fue más bajo durante la ventilación espontánea que durante la ventilación mecánica controlada. Sin embargo, ninguna de las 2 estrategias logró reducir el número de áreas colapsadas visibles en la TAC. Los autores concluyeron que la ventilación espontánea mejora la oxigenación y el cortocircuito después de un colapso pulmonar cuando se compara con la ventilación mecánica controlada, pero ninguna de las 2 estrategias muestra una reducción en el número de áreas colapsadas visibles evidenciadas por escanografía²⁹.

Ventilación protectora y maniobras de reclutamiento pulmonar en diferentes escenarios clínicos y quirúrgicos

Diferentes autores han abordado la ventilación protectora y las maniobras de reclutamiento pulmonar en diversos escenarios clínicos y quirúrgicos. La [tabla 1](#) resume las principales publicaciones a favor y en contra de estas estrategias ventilatorias en diferentes tipos de cirugía mayor.

Síndrome de distrés respiratorio agudo

El SDRA es el escenario clínico que da origen a las consideraciones sobre la ventilación protectora como estrategia para la ventilación del paciente crítico en ventilación mecánica, independiente de la causa. Es comúnmente aceptado que los VC altos y las presiones meseta altas son estrategias de ventilación deletéreas en SDRA. Se ha demostrado que el uso de VC bajos y presiones meseta más bajas son estrategias efectivas para disminuir la mortalidad por esta causa³⁰. A partir de esta consideración, se ha extendido el uso de VC bajos a pacientes sin SDRA hospitalizados en las UCI, pues su beneficio pareciera ser claro³¹.

Adicionalmente, se ha establecido que además de los efectos sobre el epitelio respiratorio, la ventilación protectora disminuye la activación endotelial y la consecuente inflamación del paciente crítico que presenta esta patología³². Un reciente estudio trató de establecer la relación entre la forma soluble del receptor para productos terminales de la glucosilación avanzada (sRAGE, por sus siglas en inglés) y los parámetros ventilatorios en pacientes con y sin enfermedad pulmonar preexistente. Previamente se había descrito una elevación de los sRAGE en los pacientes con SDRA que se correlacionaba con su severidad, pero el impacto de los parámetros ventilatorios en estos niveles permanecía sin ser investigado. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la ventilación protectora vs. no protectora en los niveles plasmáticos de estas sustancias en pacientes sin enfermedad pulmonar llevados a cirugía mayor intraabdominal. Se aleatorizó a 95 pacientes, unos con ventilación protectora y otros sin ella. El estudio concluyó que la estrategia de ventilación protectora disminuye los niveles de sRAGE en pacientes sin enfermedad pulmonar que van a cirugía abdominal mayor cuando se compara con estrategias ventilatorias convencionales. Esto podría reflejar un menor grado de injuria endotelial³³.

Cirugía de tórax

A pesar de los cambios demográficos (mayor edad y comorbilidades) de los pacientes que han sido llevados a cirugía de resección pulmonar durante los últimos años, la mortalidad ha disminuido debido a los avances en los cuidados médicos³⁴⁻⁴⁰. Se espera una mortalidad intrahospitalaria menor del 2% para el caso de las lobectomías y menor del 6% para las neumonectomías^{41,42}. Las complicaciones relacionadas con el procedimiento son causas principales de morbimortalidad en este grupo de pacientes. Se destaca la lesión pulmonar aguda (LPA) postoperatoria como la primera causa de mortalidad; se presenta como edema pulmonar posneumonectomía, edema de baja presión y edema por aumento de la permeabilidad vascular pulmonar^{34,43}. La LPA tiene una incidencia del 2-5% en el caso de las lobectomías y asciende al 7,9% en el caso de las neumonectomías⁴⁴. Esta complicación es más frecuente cuando se utilizan modos ventilatorios deletéreos³⁷ y en aquellos pacientes a quienes se les transfunde plasma fresco congelado³⁸. En este escenario, se recomiendan clásicamente las estrategias ventilatorias basadas en VC bajos, PEEP, FiO₂ bajas y maniobras de reclutamiento^{38,45-48}. Sin embargo, un ensayo clínico controlado que analizó a 34 pacientes que fueron llevados a

Tabla 1 Publicaciones a favor y en contra de la ventilación protectora y maniobras de reclutamiento en cirugía mayor

Tipo de cirugía	VC bajos	PEEP	Maniobras de reclutamiento
Cirugía de tórax	<p><i>A favor:</i> Della Rocca y Coccia, 2003⁴⁵, revisión narrativa Licker et al., 2009⁴³, cohorte retrospectiva Schilling et al., 2005⁴⁷, ECC Fernández-Perez et al., 2006³⁸, análisis retrospectivo Unzueta et al., 2012⁴⁸, ECC <i>A favor, en combinación con el uso de PEEP:</i> Blank et al., 2016⁵⁰, análisis retrospectivo</p> <p><i>En contra:</i> Maslow et al., 2013⁴⁹, ECC</p>	<p><i>A favor:</i> Della Rocca y Coccia, 2003⁴⁵, revisión narrativa</p>	<p><i>A favor:</i> Unzueta et al., 2012⁴⁸, ECC</p>
Cirugía cardiovascular	<p><i>A favor:</i> Sundar et al., 2011⁵⁶, ECC Zupancich et al., 2005⁵⁹, ECC</p>	<p><i>A favor:</i> Zupancich et al., 2005⁵⁹, ECC</p> <p><i>A favor, en combinación con maniobras de reclutamiento:</i> Magnusson et al., 1997⁵¹, estudio experimental en modelo animal Macnaughton et al., 1999⁵⁷, prospectivo descriptivo Dyhr et al., 2004⁵⁵, ECC</p>	<p><i>A favor, en combinación con PEEP:</i> Magnusson et al., 1997⁵¹, estudio experimental en modelo animal Macnaughton et al., 1999⁵⁷, prospectivo descriptivo Dyhr et al., 2004⁵⁵, ECC</p>
Cirugía abdominal mayor	<p><i>A favor:</i> Severgnini et al., 2013⁷, ECC Park, 2016⁶⁰, revisión narrativa</p>	<p><i>A favor:</i> Severgnini et al., 2013⁷, ECC De Jong et al., 2015⁶¹, estudio observacional Park, 2016⁶⁰, Revisión narrativa</p> <p><i>En contra:</i> Hemmes, 2014¹¹, ECC multicéntrico internacional</p>	<p><i>A favor:</i> Severgnini et al., 2013⁷, ECC</p> <p><i>En contra:</i> Hemmes, 2014¹¹, ECC multicéntrico internacional</p>
Cirugía abdominal en el adulto mayor	<p><i>A favor:</i> Weingarten et al., 2010⁶², ECC</p>	<p><i>A favor:</i> Weingarten et al., 2010⁶², ECC</p>	<p><i>A favor:</i> Weingarten et al., 2010⁶², ECC</p>
Cirugía abdominal en el paciente obeso	<p><i>A favor:</i> Valenza et al., 2007⁶³, estudio descriptivo</p>	<p><i>A favor solo en combinación con posición semisentada:</i> Valenza et al., 2007⁶³, estudio descriptivo</p>	-
Traumatismo	<p><i>A favor:</i> Papadakos et al., 2010⁶⁷, revisión narrativa</p>	<p><i>A favor:</i> Haitsma et al., 2006⁶⁴, revisión narrativa Barbas et al., 2005⁶⁵, revisión narrativa</p>	-
Neurocirugía	-	<p><i>A favor:</i> De Jong et al., 2015⁶¹, estudio observacional Caricato et al., 2005⁷¹, análisis prospectivo</p> <p><i>En contra:</i> Cooper et al., 1985⁷⁰, Descriptivo</p>	-

ECC: ensayo clínico controlado; PEEP: presión positiva al final de la espiración; VC: volúmenes corrientes.

Fuente: resultado de la revisión presentada.

resección pulmonar concluyó que el uso de VC altos durante la cirugía no incrementó la morbilidad. En cambio, los pacientes tuvieron menor incidencia de hipercapnia, espacio muerto, atelectasias postoperatorias y mejor distensibilidad pulmonar⁴⁹. Adicionalmente, un reciente análisis retrospectivo de 1.019 pacientes llevados a cirugía torácica en quienes se utilizó ventilación unipulmonar concluyó que el uso de VC bajos como única estrategia de ventilación protectora no previene las complicaciones pulmonares postoperatorias. Los autores indican entonces que el uso de VC bajos puede ser una estrategia necesaria más no suficiente para establecer una real ventilación protectora⁵⁰.

Cirugía cardiovascular

La cirugía cardiovascular y particularmente la circulación extracorpórea (CEC) producen alteraciones en la permeabilidad del endotelio pulmonar, que se traducen clínicamente en la formación de atelectasias, cortocircuitos e hipoxemia⁵¹. Además, se ha descrito que la ventilación mecánica deteriora la superficie broncoalveolar debido a la inflamación local, el estado procoagulante y los resultantes depósitos de fibrina producidos por el baro/volutrauma⁵². Estos depósitos de fibrina y demás productos de la coagulación tienen en sí mismos propiedades proinflamatorias que contribuyen a los desarreglos de la función pulmonar de estos pacientes^{53,54}.

Diversos estudios han evaluado los efectos de la ventilación protectora y las maniobras de reclutamiento pulmonar en cirugía cardiovascular. Dyhr et al.⁵⁵, en el 2004, condujeron un estudio en 30 pacientes llevados a cirugía cardíaca, aleatorizados para recibir maniobras de reclutamiento aisladas, PEEP de 12 cmH₂O aislado o ambas estrategias combinadas. Este estudio concluyó que la estrategia combinada de reclutamiento pulmonar más PEEP se asocia a cambios significativos en la PaO₂ y el volumen pulmonar al final de la espiración. Sin embargo, las maniobras de reclutamiento aisladas o el uso de PEEP aislado no produjeron cambios sostenibles en el tiempo. Otro estudio más reciente analizó a 149 pacientes sometidos a cirugía cardíaca electiva. Estos se aleatorizaron para recibir VC de 6 ml/kg vs. 10 ml/kg y se analizó como desenlace primario el momento de extubación. Como desenlaces secundarios se incluyeron la mecánica ventilatoria postoperatoria, el intercambio gaseoso y otros desenlaces clínicos. Este estudio concluyó que para esta subpoblación los VC bajos no acortaron los tiempos de extubación, pero se asociaron de manera significativa a una disminución en la proporción de pacientes intubados a las 6 h (20,3% vs. 37,3%) y en la necesidad de reintubación (1,3% vs. 9,5%)⁵⁶. En términos generales, se acepta que en cirugía cardiovascular es posible mejorar la oxigenación post-CEC utilizando estrategias de reclutamiento pulmonar y PEEP^{51,57,58} y que estas estrategias pueden además disminuir los efectos proinflamatorios de la ventilación mecánica⁵⁹.

Cirugía abdominal mayor

Este es un escenario en el que se han estudiado ampliamente los efectos benéficos de la ventilación protectora. En general, se acepta que los VC bajos, la PEEP moderada y

las repetidas maniobras de reclutamiento, especialmente en pacientes de alto riesgo que van a cirugía abdominal, pueden reducir las complicaciones pulmonares⁷. Algunos autores incluso indican que sumar estrategias pre y postoperatorias, como la presión positiva continua con ventilación protectora intraoperatoria, podrían ser de ayuda para reducir el número de complicaciones pulmonares⁶⁰. Sin embargo, 2 estudios recientes muestran resultados contradictorios sobre los beneficios de la PEEP y las maniobras de reclutamiento pulmonar. Un ensayo clínico controlado multicéntrico internacional aleatorizó a 900 pacientes sometidos a cirugía abdominal abierta en 2 grupos: unos con PEEP de 12 cmH₂O y maniobras de reclutamiento pulmonar y otros con PEEP \leq 2 cmH₂O sin maniobras de reclutamiento. No se lograron establecer diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en la aparición de complicaciones pulmonares postoperatorias. En cambio, los pacientes ventilados con PEEP alta y maniobras de reclutamiento desarrollaron hipotensión intraoperatoria con mayor requerimiento de vasoactivos¹¹. Por el contrario, un estudio observacional más reciente analizó a 5.915 pacientes llevados a cirugía abdominal mayor y concluyó que el uso de PEEP \geq 5 cmH₂O reduce significativamente las complicaciones pulmonares y disminuye la estancia hospitalaria⁶¹.

Cirugía abdominal en el adulto mayor

La ventilación a «pulmón abierto» (PA), que resulta de la combinación de maniobras de reclutamiento, VC de 6 ml/kg y PEEP de 12 cmH₂O, es común en los pacientes con LPA y ha mostrado mejorar la oxigenación intraoperatoria en pacientes adultos mayores llevados a laparoscopia. Un ensayo clínico publicado en el 2010 comparó la estrategia de ventilación a PA con la ventilación convencional (sin reclutamiento, con VC de 10 ml/kg y PEEP de 0 cmH₂O) en ancianos llevados a cirugía abdominal mayor. Se aleatorizó a 20 pacientes en cada grupo. El grupo con ventilación a PA toleró esta estrategia ventilatoria sin mayores repercusiones hemodinámicas. Dentro de los resultados obtenidos se observó que la PaO₂ intraoperatoria mejoró en el grupo a PA y empeoró en los controles, pero la PaO₂ postoperatoria fue similar en ambos grupos. A pesar de que en ambos grupos se presentó un aumento similar en los niveles de interleucinas-6 y 8 postoperatorias, el grupo a PA tuvo mejor mecánica ventilatoria (mejor distensibilidad y menor resistencia)⁶².

Cirugía abdominal en el paciente obeso

Un estudio realizado en 2007 evaluó la mecánica ventilatoria basal y bajo distintas condiciones intraoperatorias en 20 pacientes obesos extremos sometidos a banda gástrica. Los autores de este estudio encontraron que luego de la intubación y durante la posición supina se encontraron anomalías importantes de la función respiratoria (definidas por una elastancia pulmonar de $21,71 \pm 5,26$ cm y un volumen de final de la espiración de $0,46 \pm 0,1$ l). Cuando se adicionó el efecto del neumoperitoneo a esta condición, se observó un empeoramiento de la elastancia pulmonar y el volumen al final de la espiración. Al llevar a estos sujetos a la posición semisentada y adicionar PEEP (10 cmH₂O), la elastancia mejoró significativamente y el VC llegó al doble,

sin evidencia imagenológica de reclutamiento pulmonar. Al comparar cada estrategia por separado, la PEEP se asoció a presiones más altas en la vía aérea en comparación con la posición semisentada. Los autores concluyeron que los cambios en los volúmenes pulmonares se correlacionaron con los cambios en la oxigenación y que la combinación de posición semisentada con PEEP fue la estrategia más efectiva para mejorar la oxigenación durante el neumoperitoneo⁶³.

Traumatismo

Los efectos de la ventilación protectora y las maniobras de reclutamiento pulmonar también se han estudiado en este grupo de pacientes. Algunos trabajos indican que el uso de PEEP alta puede tener un efecto benéfico independiente y clínicamente importante en la reducción de la mortalidad, a pesar del barotrauma resultante de esta intervención^{64,65}. Por otro lado, se destaca el uso de modos ventilatorios no invasivos de presión positiva continua y la presión positiva de 2 niveles en las vías respiratorias (BiPAP, por sus siglas en inglés) en los pacientes con traumatismos que se llevan a cirugía. Cuando se usan en conjunto con un buen manejo del dolor, reducen las tasas de intubación en traumatismo cerrado de tórax⁶⁶. Por otro lado, la ventilación de liberación de presión de las vías respiratorias (APRV, por sus siglas en inglés) ha ganado un papel importante en el manejo del traumatismo de tórax y puede llevar a una menor incidencia de traumatismo fisiológico por la ventilación mecánica. Otras estrategias ventilatorias, como la ventilación en asa cerrada y la ventilación a alta frecuencia, han sido indicadas como alternativas para mejorar los parámetros pulmonares y disminuir los días de ventilador del paciente con traumatismo que se lleva a cirugía⁶⁷.

Neurocirugía

La distensibilidad del sistema respiratorio parece ser uno de los principales factores que afecta a la transmisión de la PEEP al compartimento intracraneal⁶⁸⁻⁷⁰. Sin embargo, la literatura es controversial al establecer cuál es el efecto de esta estrategia ventilatoria sobre la presión intracraneana. Caricato et al.⁷¹ determinaron que una baja distensibilidad pulmonar reduce la transmisión de la PEEP al compartimento intracraneal, sin afectar de manera significativa la hemodinámica sistémica y cerebral. Cooper et al.⁷⁰, por el contrario, reportaron un aumento de la PIC relacionado con la administración de PEEP en pacientes con baja distensibilidad pulmonar. Adicionalmente, un reciente estudio observacional que analizó a 5.063 pacientes llevados a craneotomía concluyó que el uso de PEEP ≥ 5 cmH₂O no se asoció de manera significativa a una disminución en las complicaciones respiratorias postoperatorias o la estancia hospitalaria⁶¹.

En niños, se ha demostrado que el uso de PEEP de 0 a 8 cmH₂O aumenta de manera significativa la distensibilidad pulmonar ajustada al peso del paciente, sin afectar de manera importante la PIC, la presión arterial media, la presión de perfusión cerebral o la resistencia del sistema respiratorio (ajustado al peso). El uso de la PEEP aparentemente tampoco modifica de manera significativa los valores de pH, PaO₂, presión arterial de CO₂ o la PaO₂/FiO₂, pero sí

aumenta la presión venosa central de manera significativa, sobre todo con PEEP de 4 a 8 cmH₂O⁷².

Conclusiones

Es creciente la evidencia que indica que la ventilación protectora, más específicamente el uso de VC bajos, es menos deletérea que la ventilación mecánica convencional para el paciente que es llevado a cirugía mayor. Los diferentes escenarios clínicos y quirúrgicos parecen coincidir en que esta estrategia ventilatoria es más cercana a las condiciones fisiológicas que la ventilación mecánica convencional y esto se traduce en una reducción de las complicaciones pulmonares postoperatorias. Aun así, existe evidencia contradictoria sobre el beneficio de los VC bajos en cirugía de tórax y se requieren mayores estudios que evalúen su verdadero papel en esta subpoblación.

Los hallazgos sobre el uso de PEEP durante el intraoperatorio de cirugía mayor y sus beneficios aún son heterogéneos. La literatura disponible parece indicar que al menos en cirugías de tórax, cardiovascular y de traumatismo esta estrategia presenta potenciales beneficios. En contraste, para cirugía abdominal mayor y neurocirugía existen datos contradictorios que indican la necesidad de futuras investigaciones. Por otra parte, aún es necesario estudiar si las maniobras de reclutamiento pulmonar ofrecen reales beneficios para los pacientes que se llevan a cirugía mayor, independientemente del tipo de cirugía. Finalmente, aún no es posible establecer si tanto la ventilación protectora como las maniobras de reclutamiento realizadas en el intraoperatorio de cirugía mayor ejercen impacto sobre desenlaces a largo plazo como la mortalidad. Se sugiere entonces la necesidad de estudios con metodología apropiada para aclarar los interrogantes que aún existen sobre las estrategias ventilatorias en cirugía mayor.

Financiación

No existen fuentes de financiación para este artículo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés para la producción y redacción de este artículo.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a la Dra. Marcela Granados Sánchez, directora médica y jefa de la Unidad de Cuidados Intensivos de la Fundación Valle del Lili, Cali, Colombia, por su contribución con la revisión del manuscrito final.

Bibliografía

1. Canet J, Gallart L, Gomar C, Paluzie G, Vallés J, Castillo J, et al. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort. *Anesthesiology*. 2010;113:1338–50.
2. Güldner A, Kiss T, Serpa Neto A, Hemmes SN, Canet J, Spieth PM, et al. Intraoperative protective mechanical ventilation for

- prevention of postoperative pulmonary complications. *Anesthesiology*. 2015;123:692–713.
3. Serpa Neto A, Cardoso SO, Manetta JA, Pereira VG, Espósito DC, Pasqualucci MO, et al. Association Between Use of lung-protective ventilation with lower tidal volumes and clinical outcomes among patients without acute respiratory distress syndrome. *JAMA*. 2012;308(16):1651–9.
 4. Tao T, Bo L, Chen F, Xie Q, Zou Y, Hu B, et al. Effect of protective ventilation on postoperative pulmonary complications in patients undergoing general anaesthesia: A meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ Open*. 2014;4:1–7 [consultado 10 Abril 2016]. Disponible en: <http://bmjopen.bmj.com/content/4/6/e005208.full>.
 5. Poveda R, Dueñas C, Ortiz G. Secuencia rápida de intubación en cuidados intensivos. *Rev Colomb Anestesiología*. 2013;41:24–33.
 6. 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. *N Engl J Med*. 2013;369:428–37.
 7. Severgnini P, Selmo G, Lanza C, Chiesa A, Frigeiro A, Bacuzzi A, et al. Protective mechanical ventilation during general anesthesia for open abdominal surgery improves postoperative pulmonary function. *Anesthesiology*. 2013;118:1307–21.
 8. Yang D, Grant MC, Stone A, Wu CL, Wick EC. A meta-analysis of intraoperative ventilation strategies to prevent pulmonary complications: Is low tidal volume alone sufficient to protect healthy lungs? *Ann Surg*. 2016;263:881–7.
 9. Ladha K, Melo MFV, Mclean DJ, Wanderer JP, Grabitz SD, Kurth T, et al. Intraoperative protective mechanical ventilation and risk of postoperative respiratory complications: Hospital based registry study. *BMJ*. 2015;351:h3646.
 10. Levin MA, McCormick PJ, Lin HM, Hosseinian L, Fischer GW. Low intraoperative tidal volume ventilation with minimal PEEP is associated with increased mortality. *Brit J Anaesth*. 2014;113:97–108.
 11. Hemmes SN, Gama de Abreu M, Pelosi P, Schultz MJ. The PROVE Network Investigators. High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): A multicentre randomised controlled trial. *Lancet*. 2014;384:495–503.
 12. Serpa Neto AS, Hemmes SN, Barbas CS, Beiderlinden M, Biehl M, Binnekade JM, et al. Protective versus conventional ventilation for surgery. *Anesthesiology*. 2015;123:66–78.
 13. Hedenstierna G, Tenling A. The lung during and after thoracic anaesthesia. *Curr Opin Anesthesiol*. 2005;18:23–8.
 14. Serpa Neto AS, Hemmes SN, Barbas CS, Beiderlinden M, Fernandez-Bustamante A, Futier E, et al. 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. *Lancet*. 2016;4:272–80.
 15. Jaber S, Amraoui J, Lefrant JY, Arich C, Cohenedy R, Landreau L, et al. Clinical practice and risk factors for immediate complications of endotracheal intubation in the intensive care unit: A prospective, multiple-center study. *Crit Care Med*. 2006;34:2355–61.
 16. Jaber S, Jung B, Corne P, Sebbane M, Muller L, Chanques G, et al. An intervention to decrease complications related to endotracheal intubation in the intensive care unit: A prospective, multiple-center study. *Intens Care Med*. 2009;36:248–55.
 17. Duggan M, Kavanagh BP. Atelectasis in the perioperative patient. *Curr Opin Anesthesiol*. 2007;20:37–42.
 18. Apfelbaum JL, Hagberg CA, Caplan RA, Blitt CD, Connis RT, Nickinovich DG, et al. Practice guidelines for management of the difficult airway. *Anesthesiology*. 2013;118:251–70.
 19. Bourgain JL. Preoxygenation and upper airway patency control. *Ann Fr Anesth Reanim*. 2003;22:S41–52.
 20. Bourgain JL, Chastre J, Combes X, Orliaguet G. Société française d'anesthésie et de réanimation. Oxygen arterial desaturation and upholding the oxygenation during intubation: question 2. *Ann Fr Anesth Reanim*. 2008;27:15–25.
 21. Bourgain JL, Jaber S. Preoxygenation: Conditions of success. *Ann Fr Anesth Reanim*. 2010;29:187–8.
 22. Boyce JR, Ness T, Castroman P, Gleysteen JJ. A preliminary study of the optimal anesthesia positioning for the morbidly obese patient. *Obes Surg*. 2003;13:4–9.
 23. Jong AD, Futier E, Millot A, Coisel Y, Jung B, Chanques G, et al. How to preoxygenate in operative room: Healthy subjects and situations at risk. *Ann Fr Anesth Reanim*. 2014;33:457–61.
 24. Hedenstierna G, Edmark L. Mechanisms of atelectasis in the perioperative period. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2010;24:157–69.
 25. Godet T, Constantin JM, Jaber S, Futier E. How to monitor a recruitment maneuver at the bedside. *Curr Opin Crit Care*. 2015;21:253–8.
 26. Eichacker PQ, Gerstenberger EP, Banks SM, Cui X, Natanson C. Meta-analysis of acute lung injury and acute respiratory distress syndrome trials testing low tidal volumes. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166:1510–4.
 27. Cavalcanti A, Suzumura E, Abreu M, Ribeiro GF, Kodama A, Moreira F, et al. Alveolar Recruitment for ARDS Trial: Preliminary results. *Crit Care*. 2013;17:S1–200.
 28. Selvan K, Edriss H, Sigler M, Nugent KM. Complications and resource utilization associated with mechanical ventilation in a Medical Intensive Care Unit in 2013. *Intensive Care Med*. 2015 Oct 16.
 29. Vimlati L, Kawati R, Hedenstierna G, Larson A, Lichtwark-Aschoff M. Spontaneous breathing improves shunt fraction and oxygenation in comparison with controlled ventilation at a similar amount of lung collapse. *Anesth Analg*. 2011;113:1089–95.
 30. Desai AR, Deep A. Ventilatory strategies and adjunctive therapy in ARDS. *Indian J Pediatr*. 2006;73:661–8.
 31. Neto AS, Simonis FD, Barbas CS, Biehl M, Determann RM, Elmer J, et al. Lung-protective ventilation with low tidal volumes and the occurrence of pulmonary complications in patients without acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med*. 2015;43:2155–63.
 32. Chiumello D, Pristine G, Slutsky AS. Mechanical ventilation affects local and systemic cytokines in an animal model of acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999;160:109–16.
 33. Jabaudon M, Futier E, Roszyk L, Sapin V, Pereira B, Constantin JM. Association between intraoperative ventilator settings and plasma levels of soluble receptor for advanced glycation end-products in patients without pre-existing lung injury. *Respirology*. 2015;20:1131–8.
 34. Eichenbaum KD, Neustein SM. Acute lung injury after thoracic surgery. *J Cardiothor Vasc An*. 2010;24:681–90.
 35. Licker M, Perrot MD, Spiliopoulos A, Robert J, Diaper J, Chevalley C, et al. Risk factors for acute lung injury after thoracic surgery for lung cancer. *Anesth Analg*. 2003;97:1558–65.
 36. Kutlu CA, Williams EA, Evans TW, Pastorino U, Goldstraw P. Acute lung injury and acute respiratory distress syndrome after pulmonary resection. *Ann Thorac Surg*. 2000;69:376–80.
 37. Alam N, Park BJ, Wilton A, Seshan VE, Bains MS, Downey RJ, et al. Incidence and risk factors for lung injury after lung cancer resection. *Ann Thorac Surg*. 2007;84:1085–91.
 38. Fernández-Pérez ER, Keegan MT, Brown DR, Hubmayr RD, Gajic O. Intraoperative tidal volume as a risk factor for respiratory failure after pneumonectomy. *Anesthesiology*. 2006;105:14–8.
 39. Van der Werff YD, van der Houwen HK, Heijmans PJ, Duurkens VA, Leusink HA, van Heeswijk HP, et al. Postpneumonectomy pulmonary edema. A retrospective analysis of incidence and possible risk factors. *Chest*. 1997;111:1278–84.

40. Jordan S, Mitchell J, Quinlan G, Goldstraw P, Evans TW. The pathogenesis of lung injury following pulmonary resection. *Eur Respir J*. 2000;15:790–9.
41. Licker MJ, Widikker I, Robert J, Frey JG, Spiliopoulos A, Ellenberg C, et al. Operative mortality and respiratory complications after lung resection for cancer: Impact of chronic obstructive pulmonary disease and time trends. *Ann Thorac Surg*. 2006;81:1830–7.
42. Boffa DJ, Allen MS, Grab JD, Gaissert HA, Harpole DH, Wright CD. Data from the Society of Thoracic Surgeons General Thoracic Surgery database: The surgical management of primary lung tumors. *J Cardiothor Vasc An*. 2008;135:247–54.
43. Licker M, Fauconnet P, Villiger Y, Tschopp JM. Acute lung injury and outcomes after thoracic surgery. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2009;22:61–7.
44. Dulu A, Pastores SM, Park B, Riedel E, Rusch V, Halpern NA. Prevalence and mortality of acute lung injury and ARDS after lung resection. *Chest*. 2006;130:73–8.
45. Della Rocca G, Coccia C. Acute lung injury in thoracic surgery. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2013;26:40–6.
46. Licker M, Diaper J, Villiger Y, Siliopoulos A, Licker V, Robert J, et al. Impact of intraoperative lung-protective interventions in patients undergoing lung cancer surgery. *Crit Care*. 2009;13(2):R41.
47. Schilling T, Kozian A, Huth C, Buhling F, Kretzschmar M, Welte T, et al. The Pulmonary immune effects of mechanical ventilation in patients undergoing thoracic surgery. *Anesth Analg*. 2005;101:957–65.
48. Unzueta C, Tusman G, Suarez-Sipmann F, Bohm S, Moral V. Alveolar recruitment improves ventilation during thoracic surgery. *Survey Anesthesiol*. 2012;56:270–1.
49. Maslow AD, Stafford TS, Davignon KR, Ng T. A randomized comparison of different ventilator strategies during thoracotomy for pulmonary resection. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;146:38–44.
50. Blank RS, Colguhoun DA, Durieux ME, Kozower BD, McMurry TL, Bender SP, et al. Management of one-lung ventilation: Impact of tidal volume on complications after thoracic surgery. *Anesthesiology*. [Preprint] 2016 [consultado 13 Mayo 2016]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27011307>.
51. Magnusson L, Zemgulis V, Wicky S, Tydén H, Thelin S, Hedenstierna G. Atelectasis is a major cause of hypoxemia and shunt after cardiopulmonary bypass. *Anesthesiology*. 1997;87:1153–63.
52. Choi G, Wolthuis EK, Bresser P, Levi M, van der Poll T, Dzoljic M, et al. Mechanical ventilation with lower tidal volumes and positive end-expiratory pressure prevents alveolar coagulation in patients without lung injury. *Anesthesiology*. 2006;105:689–95.
53. Levi M, Schultz MJ, Rijneveld AW, van der Poll T. Bronchoalveolar coagulation and fibrinolysis in endotoxemia and pneumonia. *Crit Care Med*. 2003;31:S238–42.
54. Abraham E. Coagulation abnormalities in acute lung injury and sepsis. *Am J Respir Cell Mol Biol*. 2000;22:401–4.
55. Dyhr T, Nygard E, Laursen N, Larsson A. Both lung recruitment maneuver and PEEP are needed to increase oxygenation and lung volume after cardiac surgery. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2004;48:187–97.
56. Sundar S, Novack V, Jervis K, Bender SP, Lerner A, Panzica P, et al. Influence of low tidal volume ventilation on time to extubation in cardiac surgical patients. *Survey Anesthesiol*. 2011;55:263–4.
57. Macnaughton PD, Braude S, Hunter DN, Denison DM, Evans TW. Changes in lung function and pulmonary capillary permeability after cardiopulmonary bypass. *Crit Care Med*. 1992;20:1289–94.
58. Tenling A, Hachenberg T, Tydén H, Wegenius G, Hedenstierna G. Atelectasis and gas exchange after cardiac surgery. *Anesthesiology*. 1998;89:371–8.
59. Zupancich E, Paparella D, Turani F, Munch C, Rossi A, Mas-saccesi S, et al. Mechanical ventilation affects inflammatory mediators in patients undergoing cardiopulmonary bypass for cardiac surgery: A randomized clinical trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2005;130:378–83.
60. Park SH. Perioperative lung-protective ventilation strategy reduces postoperative pulmonary complications in patients undergoing thoracic and major abdominal surgery. *Korean J Anesthesiol*. 2016;69(1):3–7.
61. De Jong MA, Ladha KS, Melo MFV, Staehr-Rye AK, Bittner EA, Kurth T, et al. Differential effects of intraoperative positive end-expiratory pressure (PEEP) on respiratory outcome in major abdominal surgery versus craniotomy. *Ann Surg*. 2015.
62. Weingarten TN, Whalen FX, Warner DO, Gajic O, Schears GJ, Snyder MR, et al. Comparison of two ventilatory strategies in elderly patients undergoing major abdominal surgery. *Br J Anaesth*. 2009;104:16–22.
63. Valenza F, Vagginelli F, Tiby A, Francesconi S, Ronzoni G, Guglielmi M, et al. Effects of the beach chair position, positive end-expiratory pressure, and pneumoperitoneum on respiratory function in morbidly obese patients during anesthesia and paralysis. *Anesthesiology*. 2007;107:725–32.
64. Haitsma JJ, Bartels K, Papadakos PJ. Opening up to lung recruitment pulmonary contusion and derecruitment: The role of inflammation. *Crit Care Shock*. 2006;9:42–6.
65. Barbas CS, de Matos GF, Pincelli MP, da Rosa Borges E, Antunes T, de Barros JM, et al. Mechanical ventilation in acute respiratory failure: Recruitment and high volume positive end-expiratory pressure are necessary. *Curr Opin Crit Care*. 2005;11:18–28.
66. Xirouchak N, Kondoudaki E, Anastasaki M, Alexopoulou C, Koumiotaki S, Georgopoulos D. Noninvasive bilevel positive pressure ventilation in patients with blunt thoracic trauma. *Respiration*. 2005;72:517–22.
67. Papadakos PJ, Karcz M, Lachmann B. Mechanical ventilation in trauma. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2010;23:228–32.
68. Frost EA. Effects of positive end-expiratory pressure on intracranial pressure and compliance in brain-injured patients. *J Neurosurg*. 1977;47:195–200.
69. Burchiel KJ, Steege TD, Wyler AR. Intracranial pressure changes in brain-injured patients requiring positive end-expiratory pressure ventilation. *Neurosurgery*. 1981;8:443–9.
70. Cooper KR, Boswell PA, Choi SC. Safe use of PEEP in patients with severe head injury. *J Neurosurg*. 1985;63:552–5.
71. Caricato A, Conti G, Della Corte F, Mancino A, Santilli F, Sandroni C, et al. Effects of PEEP on the intracranial system of patients with head injury and subarachnoid hemorrhage: The role of respiratory system compliance. *J Trauma*. 2005;58:571–6.
72. Pulitano S, Mancino A, Pietrini D, Piastra M, De Rosa S, Tosi F, et al. Effects of positive end expiratory pressure (PEEP) on intracranial and cerebral perfusion pressure in pediatric neurosurgical patients. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2013;25:330–4.