
VENTILACION CONTROLADA POR VOLUMEN Vs VENTILACION CONTROLADA POR
PRESIÓN EN PACIENTES SOMETIDOS A VENTILACIÓN DE UN SOLO PULMON

Investigador Principal: Daniel Felipe Pardo Pinzón, MD.

Residente de Anestesiología y reanimación.

Fundación Cardio Infantil.

Co-Investigador: Felix Montes, MD.

Anestesiologo Cardiovascular.

Fundación Cardio Infantil.

Fundación Cardio Infantil – Instituto de Cardiología

2009

NOTA DE RESPONSABILIDAD DE SALVEDAD INSTITUCIONAL

“La Universidad del Rosario no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

RESUMEN

El establecimiento de la ventilación de un solo pulmón (OLV) tiene varios inconvenientes como el incremento de las presiones de la vía aérea y aumento del shunt. Estos cambios pueden estar influenciados por el modo ventilatorio escogido. La ventilación controlada por presión (VCP) es un modo alternativo ampliamente usado en pacientes con falla respiratoria por sus características de aporte de flujo y presión.

En este estudio la VCP fue usada en los pacientes que requerían OLV y sus efectos sobre las presiones en la vía aérea, oxigenación y estado hemodinámico fueron comparados con la ventilación controlado por volumen (VCV).

Nosotros estudiamos 41 pacientes que requerían OLV. Después de ventilar los dos pulmones con volumen los pacientes fueron aleatorizados a uno de dos grupos. En el primer grupo (n=19) OLV fue iniciada con VCV y luego de transcurrido 30 minutos los pacientes fueron cambiados a VCP, donde se mantuvo la ventilación por el mismo tiempo. En el otro grupo (n=21) los pacientes iniciaron en VCP 30 minutos y luego fueron cambiados a VCV con una duración similar.

Las presiones en la vía aérea, gases arteriales y variables hemodinámicas fueron medidos durante OLV en cada modo ventilatorio previo al cambio.

Nosotros observamos que el inicio de OLV genera un incremento de la presión inspiratoria pico (PIP) ($p=0.0002$) y presión plateau ($p=0.005$). Este aumento es mayor en el grupo que fue VCV ($p=0.008$) que en el grupo que fue VCP ($p=0.003$). No hubo diferencia estadísticamente significativa en las otras variables estudiadas entre los grupos.

Nosotros concluimos que la VCP puede ser una alternativa a VCV en pacientes que requieren OLV porque disminuye las presiones en la vía aérea y aunque no mejora la oxigenación si puede minimizar el desarrollo de lesiones pulmonares inducidas por la ventilación en una población que es de alto riesgo para el desarrollo de la misma.

SUMMARY

The one lung ventilation (OLV) have problems as well increase of pressures in the airway and the shunt. This changes can be influenced by the ventilation mode choice. The ventilation controlled by pressure (VCP) is an alternative way widely used in patients with respiratory failure by its characteristics of flow and pressure.

In this study the VCP was used in the patients who required OLV and their effects on the pressures in the airway, oxygenation and hemodynamics state were compared with the controlled ventilation by volume (VCV).

We studied 41 patients who needed OLV. After ventilating two lungs with volume the patients were randomized to one of two groups. In first group (n=19) OLV it was initiated with VCV and after passed 30 minutes the patients they were changed to VCP, where the ventilation by the same time stayed. In the other group (n=21) the patients initiated in VCP 30 minutes and them they were changed to VCV with same duration.

The pressures in the airway, arterial blood gases and variable hemodynamics were measured during OLV in each ventilatory mode previous to the change.

We observed that the beginning of OLV generates an increase of the inspiratory pressure peak (PIP) ($p=0.0002$) and pressure plateau ($p=0.005$). This increase is greater in the group than was VCV ($p=0.008$) that in the group that was VCP ($p=0.003$). There was no significant statistically difference in the other variables studied between the groups.

We concluded that the VCP can be an alternative to VCV in patients who require OLV because diminishes the pressures in the airway and although it does not improve oxygenation, can decrease the ventilador induced lung injury in risk high poblacion.

INTRODUCCION

Antiguamente no era posible realizar intervenciones quirúrgicas extensas debido a la imposibilidad de un adecuado control ventilatorio y de la vía aérea. Con el paso del tiempo este problema se ha ido resolviendo y los avances tecnológicos en los métodos ventilatorios durante cirugía han permitido el desarrollo de nuevas subespecialidades médicas (1), como lo son anestesia cardiotorácica y cirugía de tórax.

Desde la descripción del aislamiento pulmonar en 1931 por el Dr. Gale (2), ha ido aumentando el interés en los complejos procedimientos intratorácicos y esto ha generado un creciente entusiasmo en la descripción de los cambios fisiológicos y fisiopatológicos relacionados con la cirugía, la posición, modos ventilatorios y aislamiento pulmonar.

También ha crecido de forma exponencial los diferentes ventiladores dentro de sala de cirugía, teniendo ahora disponibilidad de varias estrategias de manejo para el paciente quirúrgico. Pero no se ha definido cual modo ventilatorio es más efectivo para mantener una adecuada ventilación durante cirugía minimizando los efectos cardiovasculares y respiratorios asociados a la presión positiva de la máquina en pacientes sometidos a ventilación de un solo pulmón. Por eso nos proponemos evaluar los dos modos ventilatorios más usados en cirugía (controlada por volumen y controlado por presión) evaluando variables cardiopulmonares, para determinar cual podría ser el modo con mejor oxigenación, usando estrategias de ventilación protectora en pacientes con ventilación de un solo pulmón.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

La ventilación mecánica de los pacientes sometidos a cirugía torácica con frecuencia plantea retos únicos. La naturaleza de este tipo de cirugía, que usualmente requiere la ventilación de un solo pulmón, realizada en pacientes que frecuentemente tienen co-morbilidades importantes hacen que las complicaciones respiratorias sean comunes y multifactoriales en etiología. Estas complicaciones pueden llegar a valores de hasta el 50% en ciertos grupos de pacientes y se han asociado con un incremento en la morbilidad, mortalidad y utilización de recursos.

Estudios realizados en la Unidad de Cuidado Intensivo (UCI) y posteriormente en salas de cirugía han demostrado una asociación entre ciertas formas de ventilación mecánica y la lesión pulmonar, así como los efectos benéficos de diversas tácticas ventilatorias. A partir de ellos se ha acuñado el término “ventilación protectora” el cual pretende establecer estrategias que lleven a una adecuada ventilación con óptima oxigenación, pero a la vez minimizando los posibles daños relacionados con la instauración de la ventilación mecánica. De importancia primordial ha sido la aceptación de técnicas ventilatorias con bajos volúmenes corrientes (VT): modelos animales y estudios en humanos han demostrado que la ventilación con altos volúmenes, fundamentalmente en pacientes con lesión pulmonar aguda (ALI), causa daño alveolar difuso, incrementan la permeabilidad capilar, el edema pulmonar, activan la inflamación y aumentan la producción de citokinas. Estos conceptos han sido progresivamente extrapolados a pacientes electivos quirúrgicos en quienes se pretende minimizar la probabilidad del desarrollo de ALI.

Una mala estrategia ventilatoria puede llevar al paciente a desarrollar múltiples complicaciones durante la cirugía y en el postoperatorio (3), siendo aun mayores en los pacientes sometidos a ventilación de un solo pulmón (4), incrementando la morbimortalidad y alterando la calidad de vida. Por lo tanto un buen manejo intraoperatorio de la parte ventilatoria es imperativo para una evolución adecuada durante la cirugía y post operatorio.

En la actualidad la ventilación controlada por volumen (VCV) aunado al uso de bajos VT es comúnmente utilizada en el manejo de pacientes sometidos a cirugía de tórax y ventilados con un solo pulmón. Sin embargo se ha demostrado que estos bajos VT predisponen a atelectasias y potencialmente empeoran la oxigenación arterial. La ventilación controlada por presión (VCP) es un método alternativo de ventilación ampliamente utilizado en pacientes con falla respiratoria. Se ha sugerido que la VCP resulta en una mejor oxigenación arterial cuando se compara con VCV. Este comportamiento ha sido atribuido al método de aporte del flujo inspiratorio el cual administra inicialmente altas tasas de flujo con el fin de alcanzar y mantener la presión inspiratoria elegida,

seguido por un rápido flujo desacelerado. Estas altas velocidades iniciales de flujo llevan a una más rápida inflación alveolar, reduciendo el shunt intrapulmonar, las presiones en la vía aérea y limitando por lo tanto el riesgo de barotrauma. Adicionalmente el flujo desacelerado genera una distribución más homogénea del aire en todas las unidades alveolares dando un beneficio adicional y mejorando aun más la oxigenación.

Sin embargo los beneficios potenciales así como las limitaciones de la VCP durante la cirugía de tórax y la ventilación con un solo pulmón han sido escasamente estudiados y por lo tanto no se encuentran claramente definidos. El presente estudio pretende evaluar si la VCP resulta en una mejor oxigenación arterial comparada con la VCV durante la ventilación con un solo pulmón en pacientes sometidos a cirugía torácica.

MARCO TEORICO

Al iniciar una ventilación con presión positiva se establecen grandes cambios circulatorios y ventilatorios, creando así una alteración ventilación perfusión (V/Q) que es mucho más significativa en la ventilación de un solo pulmón, pero también se ve afectada por otras variables como posición, inducción de anestesia, relajación neuromuscular. Una vez hecha la inducción anestésica existe una disminución de la capacidad residual funcional que favorece la formación de atelectasias ya que se aproxima al punto de cierre de las vías aéreas y genera una disminución de la distensibilidad, alteración de la oxigenación, incremento de la resistencia vascular pulmonar favoreciendo el desarrollo de daño pulmonar (5). Esto puede estar favorecido en parte por el modo o parámetros ventilatorios.

Estos cambios en la fisiología pulmonar pueden prevalecer hasta 2 semanas después de la cirugía en pacientes sometidos a laparotomía o procedimientos torácicos, favoreciendo el desarrollo de complicaciones pulmonares postoperatorias (3).

Los cambios que con más frecuencia producen alteraciones V/Q son principalmente dados por alteración en la distensibilidad pulmonar (6).

La reducción en la distensibilidad pulmonar una vez iniciada la ventilación con presión positiva se debe a dos efectos. El primero es debido a un efecto mecánico por compresión del contenido abdominal contra el diafragma limitando la expansión pulmonar, lo que genera una reducción en la capacidad residual funcional y acercándose al volumen y punto de cierre, favoreciendo así la aparición de atelectasias (7). El segundo efecto es debido a una disrupción del sistema surfactante, ya que la ventilación con presión positiva produce un incremento en la secreción de surfactante pulmonar, por estiramiento de los neumocitos tipo 2, agotando sus reservas y generando un desplazamiento de este hacia las vías aéreas pequeñas ocluyéndolas. Esto incrementa la tensión superficial a nivel alveolar, favoreciendo la formación de atelectasias y un incremento en la permeabilidad de la barrera alveolo capilar. También se han descrito con el inicio de la ventilación presión positiva una disminución de la actividad de los macrófagos alveolares, disminución de la actividad mucociliar y un aumento en la sensibilidad de la vasculatura pulmonar a los mediadores neurohormonales.

Esto funcionalmente puede favorecer la formación de edema, transmigración bacteriana, respuesta inflamatoria sistémica y alteración en la difusión que clínicamente se manifiesta como hipoxemia, hipercapnia y de forma tardía puede aparecer respuesta inflamatoria sistémica (8).

Durante la ventilación con presión positiva (VPP) siempre se ha hecho un gran enfoque en la prevención y tratamiento de hipoxemia, con una incidencia en cirugía de menos de 1 % (9) sin embargo en la actualidad se reconoce que el uso de VPP expone al paciente a otros riesgos, asociado a un incremento de la morbimortalidad (10).

Desde principios de la década de los 80 se describió una enfermedad asociada al uso de VPP que se puede desarrollar por varias alteraciones en los parámetros ventilatorios. Cuando la lesión pulmonar se desarrolla por alteraciones en el volumen recibe el nombre de volutrauma, si es por alteraciones en presión se denomina barotrauma y si es desencadenada por respuesta inflamatoria local generada por el colapso y reexpansión del alveolo recibe el nombre de biotrauma. Todas estas formas de la misma enfermedad se pueden agrupar en una sola que han llamado VILI (ventilator induced lung injury) (11) y se podría clasificar según su severidad en SDRA o ALI (12).

El desarrollo de VILI en cualquiera de sus modalidades tiene una mortalidad aproximada de 40 a 50 % (13), por lo que ha sido de gran interés la descripción fisiopatológica de la enfermedad y el planteamiento de estrategias ventilatorias preventivas.

Adicionalmente se han descrito otros factores distintos a los ventilatorios que pueden estar asociados al desarrollo de VILI. Los relacionados con el paciente son una mala función pulmonar de base, trauma infección o quimioterapia, género femenino. Los relacionados con procedimientos quirúrgicos como trasplante pulmonar, resecciones pulmonares (neumonectomía > lobectomía), esofagectomía, necesidad de transfusiones. Presiones plateau > 25 cm H₂O, presiones pico > 35 cm H₂O, ventilación con un solo pulmón, tiempo quirúrgico con más de 100 minutos, estado ácido base, posición intraoperatoria, estado intravascular o manejo de líquidos (14).

Los estudios hechos inicialmente en pacientes con SDRA o ALI comparando ventilatoriamente la exposición a diferentes volúmenes corrientes fueron suspendidos por una reducción en la mortalidad al usar volúmenes corrientes bajos (15), los autores concluyeron que el uso de bajos volúmenes corrientes en pacientes con SDRA o ALI puede reducir el daño pulmonar relacionado con sobre distensión y liberación de mediadores inflamatorios. Sin embargo esta conducta puede originar hipoventilación con la subsecuente acidosis respiratoria e hipoxemia. Por eso recomiendan replantear los objetivos en el cuidado de estos pacientes.

Algunos estudios derivados de estos hallazgos redefinieron los métodos ventilatorios en pacientes con SDRA y nació el concepto de ventilación protectora. Este nuevo enfoque ventilatorio consiste en estrategias enfocadas en disminuir el shunt y mejorar o mantener adecuada difusión teniendo el

pulmón “abierto”. Los estudios de Mancini y cols (16) definieron el uso de bajos volúmenes corrientes y PEEP para pacientes con SDRA.

La ventilación protectora no es sinónimo de bajos volúmenes corrientes pero en cambio si incluye el uso de PEEP, bajas fracciones inspiradas de oxígeno, presiones bajas en la vía aérea e hipercapnia permisiva.

Es entonces cuando se hace relevante las distintas formas de ventilar a un paciente y el ajuste óptimo de los diferentes parámetros ventilatorios durante procedimientos quirúrgicos, sobre todo en pacientes con factores de riesgo para desarrollar VILI.

Una mención especial requieren los pacientes que necesariamente necesitan ventilación de un solo pulmón para la intervención quirúrgica, ya que esta conducta ventilatoria tiene grandes cambios cardiorespiratorios asociados que ponen en evidente riesgo al paciente de desarrollar VILI (1).

La ventilación controlada por volumen (VCV) libera un volumen corriente constante. La presión durante VCV es determinada por la distensibilidad del sistema respiratorio, el volumen programado, flujo de gases frescos, resistencia al flujo y PEEP (positive end expiratory presion) (17). En VCV el flujo es constante durante el ciclo inspiratorio dando una onda cuadrada y la presión es gradualmente incremental, siendo máxima al final de inspiración (18).

La ventilación controlada por presión (PCV) es un método eficaz de ventilar un paciente ya que permite administrar un apropiado volumen corriente independientemente de la distensibilidad del circuito, cambios en el flujo de gases frescos o fugas del sistema. Durante la PCV la presión se mantiene constante y el volumen es variable y depende de la distensibilidad del pulmón. Se elimina la posibilidad de barotrauma, pues la presión se predetermina y es fija (17). Además confiere la propiedad de una distribución de los gases de forma más uniforme, manteniendo índices de oxigenación más elevados comparado con otros modos ventilatorios.

En PCV el flujo alcanzado en la inspiración es alto pero gradualmente disminuye mejorando la distribución de los gases en el pulmón. La presión alcanza su pico rápidamente y se mantiene durante el ciclo inspiratorio, lo que permite el reclutamiento de unidades alveolares colapsadas (18). Estas características en teoría darían una mejor oxigenación en comparación con ventilación controlada por volumen (VCV).

En la literatura existe una gran bibliografía sobre modos ventilatorios y ventilación protectora en pacientes médicos, pero no hay grandes estudios o recomendaciones sobre la forma de ventilar un paciente bajo anestesia general con ventilación de un solo pulmón y el uso de uno u otro modo ventilatorio queda a juicio del clínico. Sin embargo en el mundo, en la actualidad se ha extrapolado

al ámbito quirúrgico y sobre todo en pacientes con ventilación de un solo pulmón las estrategias de ventilación protectora disminuyendo VILI y manteniendo un estado ventilatorio lo más fisiológico posible.

Es claro que el enfoque actual al someter a un paciente a ventilación con presión positiva no solamente debe ser la prevención de la hipoxia sino también la prevención del posible desarrollo de VILI, teniendo en cuenta los factores del paciente y de la cirugía, lo que finalmente conlleva a el desarrollo de una estrategia ventilatoria individual.

La VCP por sus características de flujo y presión podría llegar a ser una herramienta con la que se puede mejorar la oxigenación realizando estrategias de ventilación protectora, siendo esto mucho más relevante en los pacientes sometidos a ventilación de un solo pulmón.

HIPOTESIS

La ventilación controlada por presión mejora la difusión alveolar manteniendo más elevados los índices de oxigenación (PaO₂, Ia/A, PaFi, Da/A) que la ventilación controlada por volumen en pacientes llevados a cirugía y ventilación de un solo pulmón.

OBJETIVOS

General

Determinar el mejor modo ventilatorio comparando VCV Vs VCP en cirugías de más de 60 minutos usando estrategias de ventilación protectora en pacientes sometidos a ventilación de un solo pulmón.

Específicos

- Comparar los índices de oxigenación en la ventilación con presión positiva controlada por presión y controlada por volumen en pacientes ventilados con un solo pulmón durante y después de cirugía.
- Comparar las presiones en la vía aérea en los dos grupos.
- Describir las variaciones hemodinámicas relacionadas con el modo ventilatorio.
- Comparar los efectos de cada uno de los modos ventilatorios sobre el estado ácido-básico

PROPOSITOS

Estandarizar la ventilación controlada por presión como mejor modo ventilatorio en pacientes quirúrgicos, mejorando la oxigenación.

MATERIALES

Diseño

Experimento clínico prospectivo, controlado y aleatorizado en población de pacientes sometidos a cirugía de tórax que requieran ventilación con un solo pulmón.

POBLACIÓN BLANCO

Pacientes sometidos a cirugía que requieran ventilación de un solo pulmón durante un periodo no menor de 60 minutos.

Criterios de inclusión

- Pacientes con estado físico ASA I II y III sometidos a cirugía electiva que requieran ventilación de un solo pulmón con al menos una duración de 60 minutos y que hayan firmado el consentimiento para participar en el estudio.

Criterios de exclusión

- Pacientes con enfermedad cardíaca descompensada.
- Pacientes con enfermedad pulmonar crónica descompensada.
- Pacientes con pobre función pulmonar definida como $VEF1 < 60\%$ del predicho o $VEF1/CVF < 70$.
- Pacientes con disfunción diafragmática.
- Pacientes con insuficiencia renal, sépticos, cirrosis.
- Mujeres embarazadas.
- Cirugía de urgencia.
- EPOC descompensada.

TAMAÑO DE LA MUESTRA

El número de pacientes se determinó teniendo en cuenta las siguientes premisas: La probabilidad de error alfa se estimó que fuera menor de 0,05. La probabilidad de error beta se estimó que fuera 0,20. Datos obtenidos en estudios previos (29) muestran que la administración de ventilación controlada por volumen a una población similar a la actual produce una PaO_2 de 206 ± 62 . Consideraremos como clínicamente importante una diferencia de 40 mmHg con respecto a este valor. Reemplazando estos valores en una fórmula de tamaño de muestra aceptada para comparar medias en experimentos clínicos tenemos:

$$n = \frac{2S^2}{\delta^2} * f(\alpha \text{ y } \beta)$$

$$n = \frac{2 (62)^2}{(40)^2} * 7.85$$

$$n = 38 \text{ Pacientes}$$

Calculando que durante el desarrollo del trabajo se presentaran perdidas de los pacientes, se adiciono el 10 % de la muestra, para un n total de 41 pacientes.

VARIABLES

Variables Independientes

- Ventilación controla por volumen: Administrada a través de ventilador Siemens 900C de acuerdo al protocolo descrito la sección de procedimiento
- Ventilación controlada por presión: Técnica ventilatoria administrada a través de ventilador Siemens 900C de acuerdo al protocolo descrito en la sección de procedimiento.

Variables Dependientes Experimentales:

- Oxigenación arterial: Valorada cuantitativamente a través de la toma de gases arteriales.
- Ventilación alveolar: Valorada cuantitativamente a través de la toma de gases arteriales.
- Presiones en la vía aérea: Valorada cuantitativamente durante los modos ventilatorios y comprenden:
 - Presión inspiratoria pico.
 - Presión inspiratoria media.
 - Presión plateau.
- Frecuencia cardíaca: Registrada de forma automática cada minuto durante cada uno de los modos ventilatorios y almacenada automáticamente en el monitor.
- Tensión arterial: Registrada de forma automática cada minuto durante cada uno de los modos ventilatorios y almacenada automáticamente en el monitor.

Variables Independientes No Experimentales: Edad, sexo, peso, parámetros espirométricos pre - quirúrgicos

METODOS

Una vez cumplidos los criterios de inclusión y exclusión los pacientes seleccionados se les informó de forma clara el objetivo de la investigación con los posibles riesgos y complicaciones y firmaron el consentimiento informado. Los exámenes pre-quirúrgicos fueron los usualmente obtenidos previo a este tipo de procedimientos incluyendo una curva flujo-volumen pre-operatoria si el caso lo ameritaba.

Los pacientes fueron pre medicados con midazolam 0.05 mg/Kg I.V una vez se obtuvo un acceso venoso en salas de cirugía. Los medicamentos que se encontraban tomando de forma crónica se continuaron o no, según criterio del anestesiólogo. Todos los pacientes en salas de cirugía se monitorizaron con EKG y SpO₂ y se procedió a la colocación de catéteres intravenosos e intraarteriales bajo anestesia local. Luego de pre-oxigenar se indujo anestesia general con remifentanil 0,1 ugr/kg/min, propofol 1,5 a 2 mg/kg y cisatracurium 0,15 mg/kg. La tráquea se intubo con un tubo de doble luz (Mallinckrodt medical, athlane, Ireland; número 37 para hombres y 35 para mujeres). Se eligieron tubos de doble luz izquierdos en todos los casos. La correcta posición del tubo se confirmó por auscultación y fibrobroncoscopia antes y después de la colocación en decúbito lateral. La anestesia se mantuvo con propofol (100 - 150 ugr/kg/min), remifentanil (0.1 – 0.25 ugr/kg/min) y dosis suplementarias de cisatracurium de acuerdo a la necesidad. No se utilizaron anestésicos volátiles.

Inicialmente se realizó ventilación con 2 pulmones utilizando una FIO₂ de 1.0 (19), volumen corriente de 9 ml/kg y frecuencia respiratoria de 12/minuto la cual fue ajustada posteriormente con el fin de obtener una ETCO₂ de 25 30 mmHg (20) (21) (Servo 900C; Siemens, Estocolmo, Suecia). Durante esta fase el tiempo inspiratorio fue un 33% con un tiempo de pausa inspiratoria del 0% y en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica el tiempo inspiratorio fue de 25 % y una pausa inspiratoria de 10 % (22). No se aplicó durante este periodo presión positiva al final de la espiración (PEEP) (23).

Seguidamente los pacientes fueron aleatorizados por medio de un programa computarizado y técnica de sobre sellado a uno de dos grupos:

-Grupo A: Ventilación con un solo pulmón y una FIO₂ de 1.0; iniciada con ventilación controlada por volumen (VCV) utilizando 6 ml/kg de volumen corriente más 5 cm H₂O de PEEP y la frecuencia respiratoria ajustada para mantener una concentración espirada de CO₂ (E_TCO₂) de 25-30 mmHg (24). Luego de 30 minutos en este mismo grupo los parámetros ventilatorios fueron cambiados a ventilación controlada por presión (VCP) con la presión inspiratoria ajustada para

obtener el mismo volumen alcanzado con VCV y la frecuencia respiratoria necesaria para tener una E_TCO_2 de 25 – 30 mmHg; este modo ventilatorio se mantuvo por los siguientes 30 minutos.

-Grupo B: Ventilación con un solo pulmón y una FIO_2 de 1; iniciada con VCP con una presión inspiratoria que aseguró un volumen corriente de 6 ml/kg y una frecuencia respiratoria que produjo una E_TCO_2 de 25-30 mmHg más PEEP DE 5 cm H_2O . Luego de 30 minutos los pacientes se cambiaron a VCV utilizando 6 ml/kg de volumen corriente más el mismo PEEP y la frecuencia respiratoria se ajusto para mantener una concentración espirada de CO_2 (E_TCO_2) de 25-30 mmHg; este modo ventilatorio se mantuvo por los 30 minutos siguientes.

Se registraron los siguientes periodos de estudio:

- a.) Ventilación con dos pulmones inmediatamente previo a la aleatorización (línea de base).
- b.) Ventilación con un solo pulmón al cumplir los primeros 30 minutos del primer modo ventilatorio.
- c.) Ventilación con un solo pulmón 30 minutos después de iniciado el segundo modo ventilatorio.
- d.) 30 minutos luego del re-establecimiento de la ventilación con dos pulmones.

Durante los periodos de estudio señalados se realizaron las siguientes mediciones:

-Presión arterial de oxígeno (PaO₂)

-Presión arterial de CO₂ (PaCO₂)

-pH

-Presión sanguínea

-Presión inspiratoria pico (Ppico)

-Presión inspiratoria media (Pmedia)

-Presión inspiratoria meseta (Pmeseta)

-Volumen corriente espirado

No se permitio durante las mediciones la manipulación quirúrgica del pulmón.

La inducción anestésica se realizo con propofol porque tiene menos efectos sobre la musculatura bronquial que el tiopental pudiendo alterar este último la oxigenación (25). Se realizaron infusiones de remifentanil para mantener un adecuado plano anestésico y conservar la vasoconstricción hipoxica permitiendo el uso de bajas concentraciones de halogenados (26).

Se registraron las posiciones quirúrgicas y se hizo un adecuado control de los requerimientos de líquidos durante cirugía para evitar sobrecarga de volumen y edema intersticial, favoreciendo alteración en la oxigenación (27).

ANALISIS DE DATOS

Una vez recolectados los datos se hizo una base de datos en el programa file maker donde se revisaron los hallazgos y posteriormente se tabularon en Excel donde se creó una hoja de trabajo en el programa que incluyó las variables expuestas previamente. Los datos se expresan como media \pm desviación estándar. El análisis estadístico se realizó con la utilización de ANOVA dos-vías para medidas repetidas y test de student.

$P < 0.05$ es considerado estadísticamente significativo.

ASPECTOS ETICOS

El estudio fue realizado en sujetos adultos quienes fueron llevados a cirugía de tórax y en los cuales se necesitó ventilación de un solo pulmón. A los sujetos se les explicó los alcances del proyecto y firmaron el Consentimiento Informado (Anexo).

Los datos recolectados durante el estudio fueron usados para propósitos exclusivos de investigación y se tomaron todas las medidas para mantener la información confidencial. Así mismo, el paciente tuvo la oportunidad de rehusarse a participar en el estudio al momento de dar su consentimiento. Este proyecto para su realización fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Fundación Cardioinfantil-Instituto de Cardiología.

Esta investigación se clasifica como estudio "con riesgo mínimo", según el numeral b del Artículo 11, de la resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de la República de Colombia.

PRESUPUESTO

El estudio se presento a concurso en la semana del investigador desarrollado en noviembre del 2008 en la Fundación Cardio Infantil, obteniendo el primer premio a los trabajos desarrollados por residentes, lo que permitio su entera financiación durante el desarrollo de la investigación.

El presupuesto se asigno y distribuyo como se relaciona en las tablas 1.

Tabla 1. *Presupuesto.*

Materiales	Justificación	TOTAL
Remifentanil amp x 2 mg (# 50)	Administración a pacientes	\$ 1.900.000
Propofol amp x 500 mg (# 50)	Administración a pacientes	\$ 2.000.000
Equipos de bomba de infusión (#100)	Administración a pacientes	\$ 2.000.000
Insumos (Jeringas, agujas, soluciones, papeleria)		\$ 80.000
T O T A L		\$ 5.980.000

CRONOGRAMA

El tiempo que se presueto desde un principio para esta investigación se cumplió durante todo momento, presentando los adelantos respectivos al comité de ética de la institución donde se desarrollo. En la tabla 2 se observa el cronogрма que se planteo y cumplió.

Tabla 2. Cronograma.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Actividad												
Organización logística y administrativa	X											
Entrenamiento a colaboradores	X	X										
Creación y programación de archivos		X										
Inicio recolección de muestras			X	X	X	X	X	X				
Cierre de fase de recolección									X			
Verificación de información									X			
Análisis estadístico de datos										X		
Generación conclusiones/Informe final											X	X

RESULTADOS

Cuarenta pacientes completaron el estudio. Un paciente del grupo A fue retirado de los análisis debido a la mala ubicación del tubo de doble luz. En el grupo B sucedió la misma situación con uno de los pacientes. En total dos pacientes fueron retirados de los análisis finales.

Tabla 3. *Características demográficas*

	GRUPO A	GRUPO B	p
No pacientes	19	21	
Edad	56.02 +_ 17.02	59.09 +_ 16.08	0.56
Peso	65.23 +_ 11.94	63.04 +_ 11.44	0.55
Talla	161.47 +_ 12.22	152.31 +_ 36.22	0.30
Sexo (F/M)	11 y 8	14 y 7	
Lado Cirugía (D/I)	11 y 8	15 y 6	
Lobectomías	6	4	
Segmentectomías	6	12	
Timectomías	3	2	
Resección masa pleural	1 (toracotomía)	1	
Pleurectomía/pleurodesis	0	1	
Resección tumor mediastinal	1 (toracotomía)	1	
Bulectomía	1	0	
Resección divertículo de Zenker	1	0	

Los datos están expresados en media y desviación estandar (DE +/-)

El procedimiento que más se realizó en los dos grupos en estudio fueron las segmentectomías. También hubo más procedimientos realizados del lado derecho en los dos grupos y fueron las mujeres más intervenidas que los hombres. No hubo diferencias significativas en las variables demográficas en los grupos estudiados y la distribución de los pacientes fue muy homogénea en ambos grupos.

Los datos obtenidos durante el estudio en toda la población estudiada se encuentran en la tabla 4.

	TLV 1	OLV - VCV	OLV - VCP	p
# PCTS	40	40	40	
VT e	566.3 +_ 106.56	382.8 +_ 73.58	390.85 +_ 79.10	0.6
PIP	18.62 +_ 4.31	23.02 +_ 4.05	19.54 +_ 3.31	7.04
P. plateau	14.26 +_ 3.82	19.98 +_ 4.67	15.90 +_ 2.60	0.03
PIM	5.63 +_ 1.98	9.51 +_ 0.97	9.34 +_ 1.03	0.4
PaO2	276.13 +_ 97.50	101.26 +_ 52.23	111.96 +_ 55.78	0.37
PaCO2	28.88 +_ 4.24	32.01 +_ 3.29	31.28 +_ 3.73	0.35
SatO2	99.28 +_ 1.04	96.005 +_ 3.073	96.66 +_ 3.03	0.9
Ph	7.45 +_ 0.046	7.42 +_ 0.034	7.43 +_ 0.036	0.39
I a A O2	60.78 +_ 23.28	21.74 +_ 17.11	30.90 +_ 24.35	0.05
D a A O2	188.10 +_ 113.75	354.75 +_ 114.60	333.79 +_ 124.054	0.43

Tabla 4. Variables intraoperatorias.

TLV-ventilación dos pulmones-OLV-ventilación un pulmon-VCV-ventilación controlada por volumen-VCP-ventilación controlada por presión-P-probabilidad de las variables en la ventilación de un solo pulmon-Vte-volumen corriente espirado-PIP-presión inspiratoria pico-PIM-presión inspiratoria media-PaO2-presión arterial de oxígeno-PaCO2-presión arterial de dióxido de carbono-SatO2-saturación de oxígeno-IaAO2-índice arterioalveolar de oxígeno-DaAO2-diferencia arterioalveolar de oxígeno.

Al iniciar la ventilación de un solo pulmón controlada por volumen se encontró una elevación importante de las presiones, principalmente PIP ($p = 0.0002$) y plateau ($p= 0.005$) esto no ocurrió con la PIM. Al hacer el mismo análisis en los pacientes que iniciaron la ventilación de un solo pulmón controlada por presión se pudo observar que no hubo cambios significativos de la PIP ($p=0.72$) y de la presión plateau ($p=0.30$).

Con respecto a la PaO₂ al iniciar ventilación de un solo pulmón se encuentra una disminución con respecto a los valores basales, pero no se encontraron cambios significativos en el grupo de presión ($p= 1.91$) ni en el grupo de volumen ($p= 1.44$).

Las presiones se mantuvieron elevadas durante la ventilación de un solo pulmón en los dos grupos con respecto a las mediciones hechas basalmente con dos pulmones. Sin embargo en el grupo controlado por presión se pueden observar presiones mucho más bajas con respecto al grupo controlado por volumen; pero con variaciones que solamente son significativas para la presión plateau ($p= 0.003$), no así para PIP ($p= 7.04$) y PIM ($p= 0.4$). El mismo comportamiento se encuentra al hacer el análisis de la PaO₂ ($p= 0.37$) y PaCO₂ ($p= 0.35$).

Sin embargo el I_aAO₂ ($p= 0.05$) se encuentra más elevado en el grupo controlado por presión que en el grupo controlado por volumen.

No se presentaron episodios de SatO₂ menor a 90 % y no hubo alteraciones hemodinámicas relevantes en ninguno de los grupos. No existe diferencia significativa en cuanto al pH ($p= 0.39$) en los grupos.

Al evaluar el V_{te} se encuentra que en los dos grupos se mantiene sin cambios ($p= 0.6$).

Tabla 5. Variables intraoperatorias grupo A.

	TLV 1	OLV - VCV	OLV - VCP	P
# PCTS	19	19	19	
VT e	590.36 +_ 110.06	389,94 +_ 75.30	404,94 +_ 84.77	0.6
PIP	17.90 +_ 3.30	23,06 +_ 4.45	19.34 +_ 3.57	0.008
P. plateau	13.75 +_ 2.98	16.66 +_ 3.07	15.95 +_ 2.92	0.35
PIM	5.08 +_ 1.44	9.34 +_ 1.20	9.43 +_ 1.10	0.81
PaO2	292.92 +_ 94.14	105.13 +_ 61.67	121.34 +_ 55.35	0.93
PaCO2	29.51 +_ 4.54	32.14 +_ 3.75	31.91 +_ 4.33	0.19
SatO2	99.48 +_ 0.55	96.41 +_ 2.89	96.67 +_ 3.14	0.66
Ph	7.45 +_ 0.03	7.42 +_ 0.02	7.42 +_ 0.396	0.37
I a A O2	61.61 +_ 21.17	21.35 +_ 12.53	29.72 +_ 20.18	0.13
D a A O2	187.02 +_ 102.40	380.32 +_ 60.62	343.53 +_ 99.39	0.13

Al hacer los análisis de los datos individualizados por grupos se observo nuevamente un incremento importante de las presiones de la vía aerea, pero esta vez el incremento significativo que se evidencio fue al cambiar al paciente de modo volumen a modo presión (p= 0.008).

Con el resto de presiones se pudo observar la misma tendencia más no con igual importancia estadística.

Al observar la PaO2 vemos que presenta un incremento al cambiar al paciente de volumen a presión, pero este hallazgo no es de relevancia estadística (p= 0.93). El mismo fenómeno ocurre al hacer el cotejo entre las otras variables de oxigenación en los diferentes grupos.

La PaCO2 tuvo un comportamiento similar en los dos grupos de ventilación de un solo pulmón (p= 0.19).

El pH no tuvo ninguna variación estadísticamente significativa en los dos grupos (p= 0.37).

Tabla 6. Variables intraoperatorias grupo B.

	TLV 1	OLV - VCP	OLV - VCV	P
# PCTS	21	21	21	
VT e	545.42 +_ 101.22	378.09 +_ 73,31	376.33 +_ 73.23	0.25
PIP	19.26 +_ 5.05	19.72 +_ 3.13	22.98 +_ 3.76	0.003
P. plateau	14.71 +_ 4.47	15.86 +_ 2.34	16.83 +_ 1.73	0.24
PIM	6.12 +_ 2.30	9.26 +_ 0.98	9.65 +_ 0.72	0.45
PaO2	260.93 +_ 100.25	103.49 +_ 56.12	97.76 +_ 43.24	0.13
PaCO2	28.30 +_ 3.97	30.71 +_ 3.08	31.89 +_ 2.90	0.98
SatO2	99.09 +_ 1.32	96.023 +_ 2.68	95.63 +_ 3.25	0.31
Ph	7.45 +_ 0.05	7.45 +_ 0.05	7.42 +_ 0.03	0.77
I a A O2	60.02 +_ 25.53	31.98 +_ 28.05	22.1 +_ 20.73	0.24
D a A O2	189.09 +_ 125.67	324.97 +_ 144.72	331.61 +_ 145.33	0.76

El volumen corriente espirado en los dos grupos se mantiene sin cambios ($p= 0.25$).

Nuevamente encontramos cambios de la PIP al cambiar de presión a volumen ($p= 0.003$), donde es evidente el incremento que se da al cambiar de un modo a otro. Con las otras presiones aunque existe la misma tendencia de elevarse, estos cambios no son significativos.

Encuanto a las variables de oxigenación se observa la misma tendencia pero no cambios que sean importantes estadísticamente.

DISCUSION

La ventilación controlada por presión por sus características de flujo y presión ha sugerido ser un modo idóneo para el control de pacientes con condiciones especiales como lo son aquellos sometidos a procedimientos quirúrgicos que requieren la ventilación de un solo pulmón. En nuestro estudio pudimos encontrar que la VCP no tiene ningún beneficio adicional sobre la oxigenación arterial durante la ventilación de un solo pulmón, comparado con la VCV. Sin embargo si se pudo demostrar que la VCP se relaciona con menores presiones en la vía aérea comparado con la VCV. Esto puede tener implicaciones clínicas muy importantes ya que conocemos que algunas lesiones relacionadas con la ventilación se encuentran desencadenadas por elevadas presiones en la vía aérea. Esto es aún más relevante en los pacientes de cirugía de tórax que se encuentran con mayor riesgo de lesión pulmonar relacionada con la ventilación que las otras poblaciones quirúrgicas.

En los análisis hechos por grupo se encontró un incremento del índice alveoloarterial en el modo presión posiblemente por el mantenimiento de unidades alveolares reclutadas y una distribución mucho más homogénea del aire durante el ciclo inspiratorio a todas las unidades ventilatorias. Con respecto a las otras variables de oxigenación se pudo observar un comportamiento similar en el modo presión aunque no fueron estos hallazgos significativos.

Se encontró que la PaO₂ en los pacientes que son ventilados inicialmente con volumen mejora al pasar los pacientes a presión. Este efecto puede corresponder a un reclutamiento de unidades alveolares previamente colapsadas.

En este estudio predominaron los procedimientos realizados en el lado derecho, o sea que la ventilación se mantuvo en el lado izquierdo. Esto puede de alguna forma haber influido en los resultados ya que el área pulmonar y flujo sanguíneo del lado derecho es mayor, lo que se puede manifestar como un mayor shunt y menores PaO₂. En contraste en estudios similares (29) se encontraron valores más elevados de PaO₂ relacionados con la ventilación controlada por presión, lo que puede corresponder a que en ese trabajo hubo una mayor proporción de procedimientos hechos en el lado izquierdo.

Estos hallazgos son consistentes con otros estudios realizados previamente comparando pacientes ventilados con volumen Vs presión en cirugía de tórax y ventilación unipulmonar (30) donde hubo incremento de las presiones en ventilación de un solo pulmón y sin mejoría de la oxigenación. Sin embargo estos autores ventilaron a los pacientes con características diferentes y no realizaron análisis por grupo.

Al evaluar las variables hemodinámicas y estado ácido base no se encontró ningún cambio relacionado con el uso de uno u otro modo ventilatorio.

Nosotros aplicamos técnicas de ventilación protectora extrapoladas de trabajos hechos en UCI y recomendaciones de expertos. Esto incluía uso de PEEP, hipercapnia permisiva y bajos volúmenes corrientes. Nosotros encontramos que el uso de bajos volúmenes corrientes (6 ml/Kg) es una práctica segura durante la ventilación de un solo pulmón, sin riesgo de hipoventilar al paciente, ni desarrollo de hipoxemia. Adicionalmente el uso de PEEP en todos los pacientes en ventilación de un solo pulmón no se debe limitar al manejo de episodios de desaturación, sino al manejo complementario de bajos volúmenes corrientes. Datos que contrastan con las recomendaciones y práctica diaria.

Finalmente aunque no se logró demostrar estadísticamente una mejoría en la oxigenación en los pacientes ventilados por presión, existe una ventaja clara de la VCP con la VCV por la disminución significativa que hay en las presiones de vía aérea, limitando de esta forma el desarrollo de barotrauma durante la ventilación mecánica en una población de alto riesgo para desarrollar lesiones pulmonares asociadas a la ventilación, como lo son los pacientes llevados a cirugía de tórax y ventilación de un solo pulmón.

CONCLUSIONES

Aunque la VCP no mejora los índices de oxigenación si limita el desarrollo de presiones en la vía aérea elevadas, lo que permite sugerir que de igual forma limita el desarrollo de barotrauma, haciendo esto que sea un modo ventilatorio ideal para pacientes que requieren ventilación de un solo pulmón.

Bajos volúmenes corrientes asociado a uso de PEEP de forma rutinaria dentro de la ventilación de un solo pulmón son seguros.

Ventilar a un paciente de alto riesgo con presión, como lo son los ventilados en un pulmón, es una práctica más segura limitando las lesiones pulmonares relacionadas con el ventilador, si se tienen en cuenta las estrategias de ventilación protectora, pero sin obtener una mejoría en la oxigenación.

Sin embargo hacen falta estudios con una muestra mucho más extensa para llegar a recomendar de una forma más sólida uno u otro modo ventilatorio. Mientras tanto esta decisión seguiría siendo tomada a juicio del clínico a cargo.

ANEXO

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título de la investigación: “COMPARACION DE DOS MODOS VENTILATORIOS (PRESION Vs. VOLUMEN) DURANTE LA VENTILACION DE UN SOLO PULMON EN CIRUGIA DE TORAX”.

Investigadores Principales:

Félix Ramón Montes, M.D.

Anestesiólogo

Fundación Cardio-Infantil

Universidad del Rosario

Calle 163^a # 13B-60

Teléfono: 679 11 40

Co-Investigadores:

Hernán Charris, M.D

Anestesiólogo

Fundación Cardio-Infantil

Calle 163^a # 13B-60

Teléfono: 679 11 40

Luis Jaime Téllez

Cirujano de Tórax

Fundación Cardio-Infantil

Calle 163^a # 13B-60

Teléfono: 679 11 40

Camilo Osorio

Cirujano de Tórax

Fundación Cardio-Infantil

Juan Carlos Garzón

Cirujano de Tórax

Fundación Cardio-Infantil

Daniel Felipe Pardo, M.D.

Juliana Hernández M.D.

Residente de Anestesiología

Residente de Anestesiología

Fundación Cardio Infantil

Fundación Cardio Infantil

Universidad del Rosario

Universidad del Rosario

Los anestesiólogos y cirujanos de tórax de la Fundación Cardio-Infantil-Instituto de Cardiología están interesados en conocer cual de las técnicas ventilatorias usadas en la actualidad en pacientes sometidos a cirugía de tórax produce una mayor concentración de oxígeno en la sangre y mejores condiciones respiratorias sin generar reacciones adversas cardiacas o pulmonares. El objetivo de este documento es que usted conozca los detalles del estudio e invitarlo a participar en él.

Descripción del estudio:

Para la realización de su intervención quirúrgica es necesaria la ventilación de un solo pulmón, mientras en el otro estará trabajando el cirujano. Esta usualmente requiere la utilización de diferentes formas de ventilación a cuando se está ventilando los dos pulmones, así como un control estricto de la oxigenación en la sangre. El estudio pretende efectuar una comparación entre los dos modos ventilatorios utilizados en la actualidad: Ventilación controlada por presión vs Ventilación controlada por volumen.

Estos dos modos ventilatorios permiten una adecuada oxigenación de la sangre aun cuando no es conocido con cual de los dos es mayor dicha oxigenación. Para la realización del estudio se elegirá al azar uno de los modos ventilatorios y se controlará detalladamente durante los siguientes 30 minutos la oxigenación en la sangre, las presiones en la vía aérea, la frecuencia cardiaca y la presión arterial. La ventilación se aplicará con un aparato llamado “VENTILADOR” el cual está diseñado para tal fin. Durante el tiempo del estudio usted permanecerá inconsciente y bajo efectos de anestesia. Los datos que de usted obtengamos será para nosotros una información valiosa de la cual puede beneficiarse otros pacientes en el futuro.

Riesgos y beneficios:

En personas sometidas a cirugía de tórax la ventilación de un solo pulmón es un procedimiento seguro y que se realiza de manera rutinaria. Los principales efectos secundarios que eventualmente se presentan son disminución de la oxigenación en la sangre y aumento de las presiones en la vía aérea. En caso de presentarse contamos con los recursos para manejarlos y llevar a cabo adecuadamente su procedimiento quirúrgico. Las drogas anestésicas a utilizar son las mismas que usualmente se utilizan en este tipo de procedimientos, han sido administradas en millones de pacientes en el mundo y han sido aprobadas para uso en humanos por las autoridades nacionales e internacionales correspondientes

Usted no recibirá ningún beneficio monetario por la participación en el estudio, ni la realización del mismo le acarreará ningún costo a usted, a su entidad promotora de salud o aseguradora. La ejecución del estudio no influenciará su cuidado médico rutinario.

Tratamientos alternativos:

Como alternativa a la participación en la investigación, usted puede elegir no participar y continuar su curso regular de cuidado médico. En tal caso recibirá uno de estos dos métodos ventilatorios de acuerdo a la decisión del anestesiólogo tratante.

Privacidad:

Al igual que en la totalidad de su tratamiento médico, el personal que participa en el estudio respetará su intimidad. Su historia clínica es confidencial. Su nombre y demás datos no serán proporcionados a personas no autorizadas.

Derecho de interrumpir el estudio:

La decisión de participar en el estudio es voluntaria. Los investigadores que toman parte en su realización salvaguardarán en todo momento su bienestar y velarán porque tenga el mínimo de molestias. Usted es libre de no participar en el estudio, si decide hacerlo esta en plena libertad para interrumpirlo en cualquier momento. Cualquiera de esas decisiones no afectará adversamente su cuidado médico.

Preguntas:

Los investigadores responsables del estudio son los doctores Félix Ramón Montes y Hernán Charris. Si tiene alguna pregunta ellos están capacitados y dispuestos a responderla.

Este protocolo ha sido leído y aprobado por el comité de ética en investigación clínica de la Fundación Cardio-Infantil. Cualquier duda o inquietud puede también ser comunicada al comité, a las personas y teléfonos que aparecen adelante.

He leído y entendido la descripción del estudio y estoy satisfecho con la información obtenida. He decidido voluntariamente participar en el mismo:

Nombre del paciente: _____

Identificación: _____ Teléfono: _____

Firma: _____ Fecha: _____

Nombre del Investigador: _____

Firma: _____ Fecha: _____

Nombre del testigo: _____

Identificación: _____ Teléfono: _____

Firma: _____ Fecha: _____

Nombre del testigo: _____

Identificación: _____ Teléfono: _____

Firma: _____ Fecha: _____

BIBLIOGRAFIA

1. KP, Grichnick. Pathophysiology and management of one lung ventilation. *Thorac Surg Clinic*, 2005;15, pp 85-103.
2. BrodskyJB. The evolution of thoracic anesthesia. *Thorac surg clin*, 2005;15, pp 1-10.
3. HK, Beecher. The measured effect of laparotomy on the respiration. *J Clin Invest*, 1933;88, pp 639-650.
4. M, Licker. Risk factors for acute lung injury after thoracic surgery for lung cancer. *Anesth Analg*, 2003;97, pp 1558-65.
5. HH, Bendixsen. Impaired oxygenation in surgical patients during general anesthesia with controlled ventilation. *N Engl J Med*, 1963;269, pp 991-6.
6. LL, Szegedi. Pathophysiology of one lung ventilation. *Anesthesiol Clin North America*. 2001;19, pp 435-53.
7. L, Gattinoni. Lung recruitment in patients with acute respiratory distress syndrome. *N Engl J med*, 2006;354, pp 1775-1786.
8. JJ, Haitsma. Surfactant therapy for acute lung injury / acute respiratory distress syndrome. *Curr Opin Crit Care*, 2004;10, pp 18-22.
9. P, Slinger. Management of one lung anesthesia. *Anesth Analg*, 2005; 93, pp 89-94.
10. S, Meheta. Noninvasive ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*, 2001;163, pp 540-77.
11. MD, Eisner. Airway pressures and early barotrauma in patients with ALI and ARDS. *Am J Resp Crit Care Med*, 2002;165, pp 978-982.
12. A, Dulu. Prevalence and mortality of acute lung injury and ARDS after lung resection. *CHEST*, 2006;130, pp 73-78.
13. GR, Bernard. The American European consensus Conference on SDRA. *Am J Resp Crit Care Med*, 1994;149, pp 818-824.
14. R, Hering. The effects of prone positioning on intraabdominal pressure and cardiovascular and renal function in patients with acute lung injury. *Anesth Analg*, 2001;92, pp 1226-1231.
15. G, Roy. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for ALI ARDS. *The New England Journal of Medicine*, 2000;342, pp 1301-1308.

16. M, Macini. Mechanism of pulmonary gas exchange improvement during a protective ventilatory strategy in acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*, 2001;164, pp 1448-1453.
17. S, Stephen. Anesthesia Ventilators. *Anesthesiology Clinics Of North America*, 2005;23, pp 677-691.
18. K, Davis JR. Comparison of volume control and pressure control ventilation. *J Trauma*, 1996;41, pp 808-814.
19. GI, Bardoczky. Two lung and one lung ventilation in patients with chronic pulmonary obstructive disease: the effects of position and FiO₂. *Anesth Analg*, 2000;90, pp 35-41.
20. CJ, Lang. Stretch and CO₂ modulate the inflammatory response of alveolar macrophages independent changes in metabolic activity. *Cytokine*, 2006;33, pp 346-51.
21. DA, Kregenow. Hypercapnic acidosis and mortality in acute lung injury. *Crit Care Med*, 2006;34, pp 1-7.
22. LL, Szegedi. Intrinsic positive end expiratory pressure during one lung ventilation of patients with pulmonary hyperinflation. Influence of low respiratory rate with unchanged minute volume. *Br J Anaesth*, 2008;88, pp 56-60.
23. P, Slinger. The interaction between applied PEEP and auto PEEP during one lung ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 1998;12, pp 133-6.
24. G, Tusman. Lung recruitment improves the efficiency of ventilation and gas exchange during one lung ventilation anesthesia. *Anesth Analg*, 2004;98, pp 1604-9.
25. O, Pruszkowski. Effects of propofol Vs sevoflurane on arterial oxygenation during one lung ventilation. *Br J Anaesth*, 2007;98, pp 539-44.
26. J, Nagendran. An anesthesiologist's guide to hypoxic pulmonary vasoconstriction: implications for managing single lung anesthesia and atelectasis. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2006;19, pp 34-43.
27. P, Slinger. Perioperative fluid management for thoracic surgery: The puzzle of postpneumectomy pulmonary edema. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 1995;9, pp 442-51.
28. LL, Szegedi. Airway pressure changes during one lung ventilation. *Anesth Analg*, 1997;84, pp 1034-7.
29. M, Tugrul. Comparison of volume controlled with pressure controlled ventilation during one lung anaesthesia. *Br J Anaesth*, 1997;79, pp 306-10.

30. MC, Unzueta. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation during one-lung ventilation for thoracic surgery. *Anesth Analg* , 2007;104, pp 1029-33.

