



BUAP

Facultad de Medicina

Hospital General Zona Norte de Puebla

“Impacto de diferentes estrategias de ventilación mecánica sobre el *driving pressure* y el poder mecánico en pacientes sometidos a cirugía abdominal mayor bajo anestesia general.”

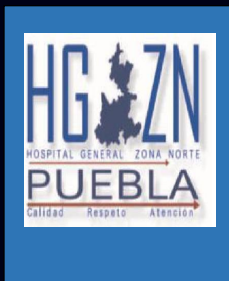
Tesis para obtener el Diploma de Especialidad en Anestesiología

Presenta:

Dr. Albert David Marín Martínez

Director

Dra. Ana María Mandujano Martínez



H. Puebla de Z. Septiembre de 2019.

AGRADECIMIENTOS



BUAP

Facultad de Medicina

Hospital General Zona Norte de Puebla

“Impacto de diferentes estrategias de ventilación mecánica sobre el *driving pressure* y el poder mecánico en pacientes sometidos a cirugía abdominal mayor bajo anestesia general”

Tesis para obtener el Diploma de Especialidades en Anestesiología

Presenta:

Dr. Albert David Marín Martínez

Director

Dra. Ana María Mandujano Martínez



H. Puebla de Z. Septiembre de 2019

HOSPITAL GENERAL ZONA NORTE
"BICENTENARIO DE LA INDEPENDENCIA"
JEFATURA DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION



Secretaría
de Salud
Gobierno de Puebla

JEFATURA DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION
ASUNTO: AUTORIZACION DE TESIS

D.C. JORGE ALEJANDRO CEBADA RUIZ
SECRETARIO DE INVESTIGACION Y ESTUDIOS DE POSGRADO FMBUAP.

Por medio de la presente hago constar que el **Dr. Albert David Marín Martínez**, Médico Residente de la especialidad de Anestesiología, realizo en el Hospital General de Zona Norte de Puebla "Bicentenario de la Independencia" la Tesis con el título **"IMPACTO DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN MECÁNICA SOBRE EL DRIVING PRESSURE Y EL PODER MECÁNICO EN PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA ABDOMINAL MAYOR BAJO ANESTESIA GENERAL"**, bajo la Dirección de la **Dra. Ana María Mandujano Martínez**.

Se ha revisado el contenido científico y la estructura metodológica, por lo que autorizamos su impresión.

ATENTAMENTE

HG ZN
PUEBLA
Dra. Mariana L. Miguel S.
JEFE DE ENSEÑANZA

DRA. MARIANA LEE MIGUEL SARDANETA
JEFE DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION

DRA. ANA MARIA MANDUJANO MARTINEZ
DIRECTOR DE TESIS

c.c.p. Comité de Investigación del Hospital General Zona Norte



AGRADECIMIENTOS

Agradezco por la fuerza de voluntad y la perseverancia que se me ha brindado y por la cual he logrado cumplir los objetivos que me he propuesto en la vida.

A mi madre, María de Jesús Martínez, por su apoyo constante, sincero y sin igual en todo el camino que he recorrido en mi formación académica que me ha permitido llegar tan lejos como me lo he propuesto, sin su apoyo esto nunca hubiera sido logrado.

A mis mejores amigos Carlos, Franco, Jesús, Michel, Rene y Julio, porque su amistad siempre ha sido un pilar emocional fundamental en mi vida que me ha ayudado a mantenerme firme en el camino y porque sus tonterías 24/7 hacen que siempre me sienta acompañado tanto en lo académico como en lo personal.

A mis compadres Blas y Berthina, a mi ahijado Blas, porque su cariño sin igual y el saberlos una parte de mi familia me ha fortalecido siempre en mi camino.

A mi asesora, la Dra. Ana María Mandujano, por su paciencia y apoyo durante la realización de esta tesis y por todo el apoyo y confianza brindado durante el desarrollo de mi residencia.

A mis maestros, Dra. Rosa María Flores y Dr. Luis Omar Zambrano, porque sus regaños, exigencia y dedicación sin igual nos ayudaron a convertirnos en médicos especialistas con calidad académica a la par de los más altos estándares nacionales.

Por ultimo y no menos importante; **a las mejores compañeras y amigas** que pude haber tenido en la residencia, **Breanna, Gerald y Odalis**, porque durante estos 3 años fueron mi compañía, mi apoyo, mi conciencia y mi familia, por hacerme creer que el destino existe y el hacer la residencia juntos es el verdadero motivo por el que llegamos a Puebla, porque sin ustedes esta residencia no hubiera sido igual, gracias.

GRACIAS

INDICE

RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	9
ANTECEDENTES GENERALES	11
La ventilación mecánica	11
Importancia de la ventilación mecánica en anestesia	12
Ventajas en la ventilación mecánica	13
Efectos adversos de la ventilación mecánica	14
Driving pressure y Poder mecánico	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
JUSTIFICACIÓN	30
OBJETIVOS	32
OBJETIVO GENERAL	32
OBJETIVOS ESPECIFICOS	32
MATERIAL Y METODOS	33
MARCO MUESTRAL	34
DISEÑO Y TIPO DE MUESTREO	35
VARIABLES Y ESCALAS DE MEDICION	36
DEFINICION DE VARIABLES	36
ANALISIS ESTADÍSTICO	38
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	41
RESULTADOS	42
DISCUSION	51
CONCLUSION	54
BIBLIOGRAFIA	55

RESUMEN

Autores: Albert David Marín Martínez y Ana María Mandujano Martínez

Antecedentes: Hedenstierna y Edmark en su revisión publicada en 2015 acerca de los efectos de la anestesia sobre el sistema respiratorio comentan como la anestesia causa alteraciones respiratorias, independientemente si el paciente está bajo ventilación mecánica o espontánea. Hay una caída de la capacidad residual funcional que promueve el cierre de la vía aérea y la reabsorción de gas tras las vías aéreas ocluidas generando atelectasias. Existen distintas modalidades de ventilación mecánica, sin embargo, en el escenario transoperatorio los principales son los modos controlados, ya sea por presión o por volumen para los cuales se han descrito diversas ventajas y desventajas. Sus ventajas incluyen una reducción en la presión pico y el riesgo de barotrauma, mejora en el intercambio gaseoso debido a un flujo desacelerado, una ventilación más homogénea en los casos de desórdenes de distribución y que permite compensar las fugas. Su principal desventaja es el riesgo de generar hipoventilación secundaria a los cambios en la distensibilidad y resistencia pulmonares; por otra parte, durante la primera década de este siglo, en el ámbito de pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo, se empezaron a utilizar volúmenes corrientes ajustados a 6 mL/kg de peso predicho, bajos a comparación de los altos volúmenes tradicionales ajustados a 12 mL/kg de peso predicho, sin embargo, la evidencia sugiere que, a pesar de la intención de proteger los pulmones con dicha estrategia, aun puede haber lesión pulmonar inducida por el ventilador con volúmenes corrientes bajos. Por lo antes mencionado es necesaria la búsqueda de nuevas técnicas que permitan una cirugía con menos efectos adversos relacionados con la ventilación mecánica.

Objetivo general: Observar el impacto de diferentes estrategias de ventilación mecánica sobre el *driving pressure* y el poder mecánico de pacientes sometidos a cirugía abdominal mayor.

Material y métodos:

Se realizó un estudio prospectivo aleatorizado observacional. Se seleccionaron 72 pacientes sometidos a cirugía abdominal en el hospital general zona norte Puebla “Bicentenario de la Independencia en Puebla, los cuales fueron aleatorizados y distribuidos en 4 grupos, (VC_a, PEEP_b, MR -, VC_b, PEEP_m, MR-, VC_b, PEEP_m, MR+, VC_b, PEEPa, MR+), posteriormente durante la anestesia general se realizará una monitorización de la ventilación mecánica observando los datos del ventilador mecánico y el espirómetro. La información obtenida en el formato de recolección de datos se vació a un archivo para base de datos del programa estadístico IBM SPSS Versión 25. Se realizó estadística descriptiva mediante la obtención de medias, desviación estándar, máximos y mínimos, para las variables cuantitativas con distribución normal, así como frecuencias y porcentajes para las variables cualitativas.

Además, se realizó estadística inferencial para comparar los diferentes métodos de ventilación mecánica sobre el *driving pressure* y el poder mecánico en anestesia por medio de las pruebas de ANOVA de una y dos vías, utilizando como *pos-hoc* Student-Newman-Keuls cuando el valor de p fue menor de 0.05 ($p < 0.05$)

Recursos e infraestructura: El estudio fue realizado en el Hospital General Zona Norte de Puebla, el cuál fue financiado por recursos propios del investigador y la institución.

Experiencia del grupo: Pacientes del Hospital General Zona Norte de Puebla.

Medico anestesiólogo prestador de anestesia general balanceada.

Experto en metodología de la investigación.

Médico anesestesiólogo investigador responsable.

Médico residente de anesestesiología.

Tiempo para desarrollarse: 6 Meses

Resultados: El análisis descriptivo arrojó que la edad promedio de los pacientes es de 40.95 ± 11.66 años con una IMC promedio de 26.38 ± 2.82 Kg/m². El género predominante fue el femenino con un 59.73 %, mientras que, el 40.27 % son hombres. El estado nutricional predominante fue sobrepeso. La cirugía Colecistectomía abierta fue la más frecuente en el estudio, por otra parte, el nivel de riesgo de anestesia (ASA) predominante fue de tipo II. Se realizó una ANOVA de 1 vía para identificar la estrategia de ventilación más adecuada. Se observó que el grupo que recibió VCb, PEEPm MR-, ya que presenta valores de *driving pressure* en zona segura (6.61 cmH₂O) y valores de poder mecánico de 7.73 J/min asociado a resoluciones favorables. Posteriormente se realizó una ANOVA de 2 vías para determinar si el procedimiento se ve afectado por el género, donde podemos destacar que la VCb, PEEPm MR-, no tuvo diferencias estadísticamente significativas; esto es importante ya que, el tratamiento más eficiente tiene el mismo efecto sin distinción del género.

Conclusión: El uso de una estrategia de ventilación convencional con volúmenes corrientes altos se asocia a valores de ΔP y PM relacionados al desarrollo de CPP; mientras que el uso de estrategias con volúmenes corrientes bajos, PEEP moderado con o sin maniobras de reclutamiento alveolar y el uso de volúmenes corrientes bajos con PEEP alto presenta valores considerados seguros para evitar el desarrollo de CPP, sin embargo, en general, los valores con mayor rango de seguridad se presentan con el uso de volúmenes corrientes bajos con PEEP moderado sin maniobras de reclutamiento alveolar.

Palabras clave: Ventilación mecánica, Driving pressure, Poder mecánico, Anestesia,

INTRODUCCIÓN

La anestesia general ocasiona una reducción en el volumen pulmonar con subsecuente colapso alveolar y desarrollo de atelectasias, por ello, durante muchos años se ha usado ventilación mecánica con volúmenes corrientes altos con la finalidad de reabrir las regiones pulmonares que colapsan al final de la inspiración. Estas estrategias se consideraban relativamente seguras debido a que la ventilación intraoperatoria es relativamente corta y por la creencia de que los pacientes quirúrgicos usualmente tienen pulmones sanos. ^{1, 2.}

Al año, cerca de 234 millones de procedimientos quirúrgicos mayores son realizados alrededor del mundo, de estos, 2 a 6 millones representan procedimientos de alto riesgo con 1 a 3 millones de pacientes desarrollando complicaciones. La incidencia de complicaciones pulmonares postoperatorias (CPP) se estima en <1 – 23%, muchos estudios afirman que son más comunes que las complicaciones cardíacas y la más común de ellas es la falla respiratoria.

La mortalidad se incrementa a corto y largo plazo en aquellos que desarrollan una CCP, del 14-30% (1 de cada 5 pacientes) que desarrolle una CCP morirá dentro de los 30 días posteriores a una cirugía mayor comparado con el 0.2-3% que no desarrollan complicaciones. La mortalidad a 90 días incrementa a un 24.4% comparado con el 1.2% sin complicaciones, al año un 45.9 vs 8.7% y a 5 años un 71.4 vs 41.4%. La estancia intrahospitalaria se incrementa en 13-17 días y los costos por paciente se incrementan en un 41-47%. ^{3, 4.}

El uso de volúmenes corrientes bajos durante la anestesia general se ha propuesto como una medida de reducir el desarrollo de CPP y es uno de los elementos vitales de la “ventilación de protección”, sin embargo, esto podría exacerbar la reducción del volumen residual pulmonar e incrementar el cierre de la vía aérea y la formación de atelectasias. Dichos efectos pueden prevenirse con el uso de niveles apropiados de presión positiva al final de la espiración (PEEP) y maniobras de reclutamiento alveolar (MR). Tanto en estudios aleatorizados controlados como en estudios experimentales se ha observado una disminución en las complicaciones pulmonares postoperatorias con el uso de bajos volúmenes corrientes con niveles

moderados a altos de PEEP con o sin maniobras de reclutamiento alveolar y metaanálisis recientes han demostrado que a mayor poder mecánico y mayor *driving pressure* aplicadas al sistema respiratorio se asocian a un riesgo aumentado de CPP. ¹.

Diversos factores se han asociado al desarrollo de lesión pulmonar inducida por el ventilador (VILI, por sus siglas en inglés) y a la aparición subsecuente de CPP. Los principales asociados son la presión, el volumen y el cierre alveolar cíclico (barotrauma, volutrauma y ateletrauma, respectivamente). En un lugar secundario han quedado la frecuencia respiratoria y el flujo, aunque las investigaciones teóricas como experimentales les atribuyen un rol importante en el desarrollo de VILI. Durante cada ciclo respiratorio algunos alveolos pueden estar expuestos a una energía mecánica lo suficientemente grande para distorsionar sus enlaces moleculares y romperse generando un proceso inflamatorio con aumento de la permeabilidad capilar y edema. Estudios comparativos de volumen corriente alto vs bajo y los estudios sobre el PEEP sugieren que el *driving pressure*, más que el volumen corriente, es el predictor de VILI, como es inferido por el aumento en la mortalidad. El *driving pressure* es uno de los componentes del poder mecánico, que también incluye la frecuencia respiratoria, el flujo y el PEEP, por tanto, identificar el impacto de las diferentes estrategias de ventilación de protección sobre el poder mecánico y el *driving pressure* simplificaría enormemente la evaluación y prevención de VILI y las CPP asociadas. ^{1, 5}.

ANTECEDENTES GENERALES

La ventilación mecánica

Es una terapia de soporte vital para el tratamiento de pacientes con insuficiencia respiratoria aguda y para pacientes sometidos a anestesia general. Es una modalidad muy común en las salas de quirófano y las unidades de cuidados intensivos y, siendo precursora de la anestesia y las áreas de UCI modernas.

Aunque recientemente se ha dado la importancia merecida a las estrategias de protección pulmonar, existen historias muy antiguas que relacionan la ventilación con el génesis de una lesión pulmonar.

Galeno desempeña un papel crucial en el desarrollo de la medicina moderna al introducir la importancia de la anatomía en la comprensión de las enfermedades, aunque sus estudios fueron principalmente limitados a disecciones en animales, también se dedicó a estudiar la respiración enseñando su importancia en el mantenimiento de la circulación, durante los siguientes 1500 años se aprecia una era de oscuridad en nuestra comprensión acerca de la respiración hasta que Andreas Vesalius en 1555 publicó su obra "*Humani Corporis Fabrica*" donde se hace la primer referencia en la historia a la ventilación con presión positiva citando "Pero esa vida pudo haber sido restaurada al animal, una abertura se debe intentar en el tronco de la tráquea, dentro de la cual un tubo de caña se debería de introducir, después soplaras dentro de él, así el pulmón se elevara otra vez y tomara aire", esto describe la técnica moderna de la traqueotomía y la ventilación con presión positiva. Esto fue una gran demostración del impacto de la ventilación mecánica que desafortunadamente fue olvidado por un siglo e incorporado hasta varios siglos después a la práctica médica.

En 1667, Robert Hook realizó un experimento para examinar la hipótesis de Galeno, uso un perro al cual le hizo cortes en la pared torácica y en la pleura, posteriormente uso fuelles para generar un flujo de gas constante en la entrada de la vía aérea a los pulmones; este flujo constante salía a través de los orificios en los pulmones, demostró cómo mientras el flujo se mantenía constante el perro se mantenía con vida y su corazón latía regularmente, como se colapsaban sus pulmones y fallecía

al ser suspendido y como era revivido al ser llenados los pulmones con la ráfaga de aire fresco.

Al final del siglo XIX, los ventiladores basados en gran parte en principios fisiológicos actualmente aceptados fueron desarrollados, se realizó la ventilación mecánica mediante la aplicación de presión subatmosférica ministrada al cuerpo con el objetivo de reemplazar o aumentar el trabajo de los músculos de la respiración.

Importancia de la ventilación mecánica en anestesia

El nuevo surgimiento de la epidemia de polio a mediados del siglo XX marcó un antes y un después en la historia de la ventilación mecánica, se demostraron sus evidentes beneficios generalizando su uso alrededor del globo. A principios de la década de los 50's en Copenhague se presentó una terrible epidemia de polio presentándose hasta 50 ingresos al día de pacientes con parálisis bulbar o de músculos respiratorios con una mortalidad superior al 80%, al principio se creía que la causa de muerte era una insuficiencia renal secundaria a una viremia excesiva debido a los síntomas finales que presentaban los pacientes: sudoración excesiva, elevación del CO₂ plasmático e hipertensión. Un anesthesiólogo, Bjorn Ibsen, entrenado en Boston en el laboratorio de Beecher identifico como causa de estos síntomas a la insuficiencia respiratoria recomendando la realización de traqueotomía y ventilación mecánica reduciendo la mortalidad de un 87 a un 40%.

Debido a la ausencia de ventiladores con presión positiva se inició la ventilación manual de los pacientes, aproximadamente 1500 estudiantes de medicina y ciencias afines proporcionaron ventilación manual por un total de 165,000 horas, dando lugar al desarrollo de las UCI modernas.

El objetivo principal de estas medidas fue proporcionar un reemplazo a los músculos respiratorios, dicha meta fue cambiando a través de las décadas enfocándose en la falla de la oxigenación, catalizada por enfoques más sencillos para medir los gases sanguíneos, la identificación del síndrome de distrés respiratorio agudo y el aumento en la comprensión fisiológica del impacto de las presiones en el pulmón en el intercambio de gases. Ashbaugh describe la posible utilidad del PEEP en ventilación

mecánica, la comprensión de atelectasias en pacientes supinos, así como avances en el diseño de los ventiladores que vaticinaron la generalización del PEEP.

Ventajas en la ventilación mecánica

En el último medio siglo ha habido una mejora drástica en los aspectos técnicos de los ventiladores y en el desarrollo de nuevos modos de ventilación, con el objetivo de mejorar la interacción entre el impulso del paciente para respirar y el suministro de respiración de cada respirador. Gran parte de estas mejoras nos han llevado a la creación de ventiladores de mucha mejor calidad y un mejor cuidado de pacientes ventilados, sin embargo, el principal avance es nuestra mejor comprensión de la fisiopatología de la ventilación, tanto buena como mala. ⁶

En el ámbito quirúrgico la ventilación mecánica se usa en pacientes bajo anestesia y usualmente con parálisis farmacológica con pulmones predominantemente sanos. Estos ventiladores difieren de los sofisticados ventiladores mecánicos de las unidades de cuidados intensivos ya que son relativamente simples y están diseñados para entregar concentraciones variables de oxígeno, aire, óxido nitroso y agentes volátiles a los pacientes a través del circuito anestésico. ⁷

Existen distintas modalidades de ventilación mecánica, sin embargo, en el escenario transoperatorio los principales son los modos controlados, ya sea por presión o por volumen para los cuales se han descrito diversas ventajas y desventajas. ⁷

Modo controlado por presión: Sus ventajas incluyen una reducción en la presión pico y el riesgo de barotrauma, mejora en el intercambio gaseoso debido a un flujo desacelerado, una ventilación más homogénea en los casos de desórdenes de distribución y que permite compensar las fugas. Su principal desventaja es el riesgo de generar hipoventilación secundaria a los cambios en la distensibilidad y resistencia pulmonares. ⁷

Modo controlado por volumen: Tiene la ventaja de mantener un volumen corriente constante y un control más preciso de la PaCO₂. Sus desventajas son la inhabilidad

de compensar las fugas y el riesgo potencial de generar presiones elevadas en la vía aérea y desarrollar una lesión pulmonar aguda inducida por el ventilador. ⁷

Los ventiladores de anestesia son una parte integral de las estaciones modernas de trabajo en anestesia, en sus inicios siendo maquinas bastante simples pero que actualmente aparte de los modos de ventilación clásicos incluyen modos más actuales como la ventilación mandatoria intermitente sincronizada y la ventilación con presión soporte, esta última especialmente útil en el mantenimiento con ventilación espontánea en pacientes con mascarilla laríngea. Sin duda estas máquinas ofrecen innumerables beneficios sin embargo el uso de ventiladores mecánicos incluye múltiples riesgos inherentes. ⁸

Efectos adversos de la ventilación mecánica

El concepto de lesión pulmonar inducida por el ventilador (VILI, por sus siglas en inglés) es antiguo, John Tothergill, en 1744, informa sobre el caso de un paciente aparentemente muerto tras la exposición al humo de carbón y que fue tratado de manera satisfactoria con ventilación boca a boca, observando que dicha ventilación era preferible a usar un fuelle porque “Los pulmones de un hombre pueden soportar, sin daño, una fuerza tan grande como la que otro hombre puede ejercer, que por el fuelle no siempre se puede determinar”, entendiendo claramente que las fuerzas mecánicas provocadas por el fuelle podrían ser lesivas. A pesar del reconocimiento histórico de este concepto, no se le dio hasta principios de este siglo la importancia clínica debida cuando un estudio demostró que una estrategia de ventilador diseñada para minimizar la lesión disminuyó la mortalidad asociada al síndrome de distrés respiratorio agudo. ⁹

Con el objetivo de determinar el equilibrio entre el soporte mecánico ventilatorio y los riesgos de la ventilación mecánica, se han hecho grandes esfuerzos en los últimos años para identificar cuáles son las mejores estrategias de ventilación que limiten el daño inducido por el ventilador. Durante la primera década de este siglo, en el ámbito de pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo, se empezaron a utilizar volúmenes corrientes ajustados a 6 mL/kg de peso predicho, bajos a comparación de los altos volúmenes tradicionales ajustados a 12 mL/kg de peso

predicho, sin embargo, la evidencia sugiere que, a pesar de la intención de proteger los pulmones con dicha estrategia, aun puede haber lesión pulmonar inducida por el ventilador con volúmenes corrientes bajos. Aunque la tensión estática describe la deformación tisular inducida por una presión determinada, la tensión estática se ha presentado como un mejor predictor de distorsión tisular y del riesgo de VILI secundario al volumen corriente. La tensión dinámica se calcula como la relación entre el volumen corriente y la capacidad residual funcional, sin embargo, la medición de la capacidad residual funcional es de difícil aplicación en el ámbito clínico por lo tanto limitando su uso al área de investigación. ¹⁰

Driving pressure y Poder mecánico

Recientemente se ha propuesto al *Driving Pressure* como una herramienta de fácil acceso como un sustituto de la tensión dinámica durante la ventilación mecánica, siendo está definida como “La presión necesaria para sobrepasar el retroceso elástico del sistema respiratorio mientras el volumen corriente es inflado”, puede ser fácilmente calculado restando el PEEP a la presión meseta de la vía aérea ($\Delta P = P_{\text{meseta}} - \text{PEEP}$) y se ha propuesto como valores de corte >12-15 cmH₂O como indicadores de alta tensión pulmonar. ¹⁰

La lesión pulmonar inducida por el ventilador es generada por la interacción de distintos factores, en la actualidad se le ha prestado importancia la cantidad de energía que entrega el ventilador al circuito respiratorio y se ha conceptualizado en términos de poder mecánico conjuntando el estrés, la tensión, el flujo inspiratorio y la frecuencia respiratoria. Se ha definido como la energía entregada por unidad de tiempo al sistema respiratorio por parte del ventilador mecánico y se mide en Joules/minuto. Se ha propuesto un valor de corte de 12 Joules/minuto ya que niveles superiores se han asociado al desarrollo de VILI, se calcula con la siguiente formula:

$$\text{Poder mecánico} = 0.098 \times V_c \times Fr \times P_{\text{pico}} - (P_{\text{meseta}} - \text{PEEP}/2) \quad ^{11, 12.}$$

Se ha propuesto que en pacientes sin síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) que son sometidos a ventilación mecánica, el *driving pressure*, la presión meseta inspiratoria y el poder mecánico son factores de riesgo para un aumento en la mortalidad y el desarrollo de SDRA. ¹³

Los efectos adversos de la ventilación mecánica surgen de dos causas principales: aumentos no fisiológicos de la presión transpulmonar y aumentos / disminuciones no fisiológicas de la presión pleural durante la ventilación con presión positiva o negativa. Los efectos secundarios relacionados con la presión transpulmonar explican principalmente la lesión pulmonar inducida por el ventilador, mientras que los efectos secundarios relacionados con la presión pleural explican principalmente las alteraciones hemodinámicas. Los cambios de presión transpulmonar y presión pleural que resultan de una *driving pressure* aplicada dada dependen de las elastancias relativas del pulmón y la pared torácica. El término "volutrauma" debería referirse a una tensión excesiva, mientras que "barotrauma" debería referirse a un estrés excesivo. Las tensiones superiores a 1,5, que corresponden a un estrés superior a ~ 20 cmH₂O en humanos, son severamente dañinas en estudios experimentales. Además de los altos volúmenes corrientes y las altas presiones transpulmonares, la frecuencia respiratoria y el flujo inspiratorio también pueden desempeñar un papel en la génesis de VILI. No sabemos qué fracción de mortalidad es atribuible a VILI con ventilación comparable a la reportada en encuestas recientes de práctica clínica (volumen corriente ~ 7.5 ml / kg, presión positiva al final de la espiración (PEEP) ~ 8 cmH₂O, tasa ~ 20 lpm, asociada mortalidad ~ 35%). Por lo tanto, se necesita una comprensión más completa e individualmente personalizada de la mecánica pulmonar y su interacción con el ventilador para mejorar la atención futura. El conocimiento del tamaño funcional del pulmón permitiría la estimación cuantitativa de la tensión. Encontrar un umbral de seguridad para la potencia mecánica, normalizado al volumen pulmonar funcional y a la heterogeneidad de los tejidos, puede ayudar a definir con precisión los límites de seguridad para ventilar al individuo en cuestión. ¹⁴

ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

Hedenstierna y Edmark en su revisión publicada en 2015 acerca de los efectos de la anestesia sobre el sistema respiratorio comentan como la anestesia causa alteraciones respiratorias, independientemente si el paciente está bajo ventilación mecánica o espontánea. Hay una caída de la capacidad residual funcional que promueve el cierre de la vía aérea y la reabsorción de gas tras las vías aéreas ocluidas generando atelectasias. El colapso alveolar y de la vía aérea puede desencadenar un conjunto de respuestas inflamatorias. La ventilación mecánica por si sola tiene efectos adversos al incrementar el estrés y la tensión en el pulmón, aunque la duración y la magnitud de la exposición también juegan un rol. Los efectos de la anestesia y la ventilación mecánica pueden mantenerse hasta el periodo postoperatorio generando complicaciones pulmonares postoperatorias de manera frecuente, con rangos que llegan hasta el 40% dependiendo el paciente, la cirugía y la definición de complicaciones.¹⁵

En una revisión sistemática de Futier y colaboradores acerca de la ventilación protectora en el quirófano mencionan como las complicaciones pulmonares y extrapulmonares postoperatorias afectan de manera adversa los resultados clínicos y la utilización de los sistemas de salud por lo cual su prevención se vuelve una medida de la calidad del cuidado perioperatorio. La ventilación mecánica usando volúmenes corrientes altos (10 -15 mL/kg) se ha utilizado históricamente para prevenir la hipoxemia y la formación de atelectasias en pacientes anestesiados sometidos a cirugía abdominal y torácica. Sin embargo, hay mucha evidencia que sugiere que el uso de volúmenes altos y presión meseta alta, puede potencialmente agravar o incluso iniciar una lesión pulmonar. La lesión pulmonar asociada al ventilador puede ser el resultado de una sobredistensión alveolar cíclica del tejido pulmonar no dependiente, y la apertura y cierre repetitivo del tejido pulmonar dependiente que resulta en daño ultraestructural en la unión de los alvéolos cerrados y abiertos. Su análisis concluye que en ausencia de una presión meseta excesiva, minimizar la lesión pulmonar puede lograrse con parámetros ventilatorios adecuados que eviten el desreclutamiento alveolar y la sobredistensión.

Recomiendan el uso de ventilación de protección pulmonar que combine un volumen corriente bajo, PEEP y maniobras de reclutamiento en la mayoría de los pacientes sometidos a cirugía abdominal bajo ventilación mecánica. ¹⁶

Respecto a las modalidades de ventilación mecánica utilizados por anestesiólogos se realizó en Francia un estudio observacional prospectivo multicéntrico para describir las prácticas de ventilación mecánica, determinar la incidencia del uso de grandes volúmenes corrientes intraoperatorios (\pm 10 mL/kg de peso corporal ideal) e identificar los factores del paciente asociados con esta práctica. De los 2960 pacientes estudiados en 97 unidades de anestesia de 49 hospitales, el modo controlado por volumen fue el más utilizado (85%). El volumen corriente medio fue de 533 mL; 7.7 mL.kg (peso real) y 8.8 mL.kg (peso corporal ideal)). Los pulmones de 381 (18%) pacientes fueron ventilados con un volumen corriente > 10 mL/kg de peso corporal ideal. Ser mujer, el bajo peso, sobrepeso, la obesidad, obesidad severa y obesidad mórbida fueron los factores independientes significativos para el uso de grandes volúmenes corrientes durante la anestesia, sin embargo, el impacto del uso de dichos volúmenes no fue evaluado durante el estudio. ¹⁷

Güldner y colaboradores presentan en 2015 recomendaciones para la ventilación de protección pulmonar intraoperatoria con la finalidad de prevenir las complicaciones pulmonares postoperatorias y sugieren que en pacientes no obesos sin SDRA que se someten a cirugía abdominal abierta, la ventilación mecánica debe realizarse con volúmenes corrientes bajos (aproximadamente 6 a 8 ml / kg) combinados con PEEP baja (\leq 2 cm H₂O) porque una PEEP más alta combinada con maniobras de reclutamiento no confiere más protección contra complicaciones pulmonares postoperatorias y puede deteriorar el estado hemodinámico. Si se desarrolla hipoxemia y siempre que se hayan excluido otras causas, primero se debe aumentar la FIO₂, seguido por el aumento de PEEP y las maniobras de reclutamiento basado en el aumento gradual del volumen corriente durante la ventilación mecánica regular, de acuerdo con el algoritmo de rescate descrito en el ensayo PROVHILO, siempre que no exista ninguna contraindicación. En pacientes con SDRA que se someten a cirugía abdominal abierta, la ventilación mecánica

intraoperatoria debe guiarse por el protocolo de ARDS Network, por lo que los valores de PEEP más altos pueden ser útiles en el SDRA más grave. Si el objetivo de PaO₂ (55 a 80 mmHg) o SpO₂ (88 a 95%) no se puede lograr, se puede considerar una maniobra de reclutamiento pulmonar máxima con un ensayo de PEEP decreciente.¹⁸

Durante muchos años, los anestesiólogos aplicaron estrategias de ventilación con volúmenes corrientes altos porque esta estrategia vuelve a abrir las regiones pulmonares que colapsan con cada respiración al final de la espiración, es decir, minimiza la atelectasia. Esto fue visto como beneficioso porque redujo el desajuste ventilación-perfusión, lo que requirió una FiO₂ más baja. Si bien los altos volúmenes corrientes se consideraban cada vez más perjudiciales en pacientes críticos, en particular aquellos con SDRA, el uso de volúmenes altos durante la ventilación intraoperatoria se consideraba seguro debido a la relativamente corta duración de ventilación, en comparación con pacientes críticamente enfermos que podrían ser ventilados durante días o semanas. La presión positiva al final de la espiración no se usó de forma rutinaria porque se pensaba que afectaba la función cardiovascular. En las últimas dos décadas, ha habido avances en nuestra comprensión de las causas y la importancia de la lesión pulmonar inducida por la ventilación, basada en estudios en animales con pulmones sanos y ensayos en pacientes críticos con y sin síndrome de dificultad respiratoria aguda. Ahora se reconocen los efectos nocivos de la ventilación mecánica con volúmenes altos en pacientes bajo ventilación a corto plazo durante la anestesia general para cirugía. Aún no se conoce el valor de PEEP ideal, pero los hallazgos recientes sugieren que los niveles más altos de PEEP (10–12 cm H₂O) no protegen contra las complicaciones pulmonares postoperatorias e incluso pueden causar daño, al menos en pacientes no obesos.¹⁹

En el estudio PROVAR, que da a pie a la búsqueda de más estrategias de ventilación, se aleatorizaron 50 pacientes a recibir ventilación controlada variable y no variable durante cirugía abdominal abierta de más de 3 horas de duración se encontraron resultados diferentes respecto a la ventilación de protección pulmonar y las complicaciones pulmonares postoperatorias. Los volúmenes corrientes y el

PEEP medios fueron de 8 mL/kg de peso predicho y 5 cmH₂O respectivamente. En la ventilación controlada variable, los volúmenes corrientes variaron al azar, siguiendo una distribución normal, en base a cada respiración. El punto principal de estudio fue la capacidad vital forzada en el primer día postoperatorio y los puntos secundarios fueron la oxigenación, el volumen pulmonar no aireado, la distribución de la ventilación, así como las complicaciones pulmonares y extrapulmonares postoperatorias en el día 5. Los autores encontraron que la ventilación controlada variable con volúmenes corrientes medios de 8 mL/kg y un coeficiente de variación del 30% así como un PEEP de 5 cmH₂O, no mejoro la función respiratoria postoperatoria y las atelectasias. ²⁰

En Brasil, en el año 2015 Serpa y colaboradores publican una revisión sistemática y metaanálisis donde evalúan la ventilación mecánica convencional contra la ventilación de protección pulmonar en el ámbito quirúrgico; dicho estudio evalúa estudios aleatorizados con un total de 2127 pacientes en quienes se comparó la ventilación de protección (volumen corriente bajo con o sin niveles altos de PEEP) y la ventilación convencional (volumen corriente alto con PEEP bajo) durante procedimientos de cirugía general y su asociación con el desarrollo de CPP encontrando 85 casos de CPP en 957 pacientes (8.9%) asignados a ventilación con volúmenes bajos y niveles altos de PEEP y 63 casos en 525 pacientes (12%) asignados a ventilación con volúmenes bajos y niveles bajos de PEEP. Se encontró una relación dosis-respuesta entre la aparición de CPP y el tamaño del volumen corriente pero no entre la aparición de CPP y el nivel de PEEP, concluyendo en el claro beneficio de las estrategias de ventilación de protección con volúmenes bajos.

21

El grupo de estudio IMPROVE (Intraoperative Protective Ventilation) presentan en Francia un estudio multicéntrico, doble ciego, de grupos paralelos donde evalúan el uso de volúmenes corrientes bajos durante cirugía abdominal. Asignaron al azar 400 adultos con riesgo intermedio a alto de complicaciones pulmonares después de una cirugía abdominal mayor, ya sea para ventilación mecánica no protectora o una estrategia de ventilación protectora pulmonar. El resultado primario fue el desarrollo

de complicaciones pulmonares y extrapulmonares mayores dentro de los posteriores a la cirugía. Los dos grupos evaluados tuvieron características similares al inicio del estudio. En el análisis por intención de tratar, el resultado primario ocurrió en 21 de 200 pacientes (10.5%) asignados a ventilación con protección pulmonar, en comparación con 55 de 200 (27.5%) asignados a ventilación no protectora. Durante el período postoperatorio de 7 días, 10 pacientes (5.0%) asignados a ventilación con protección pulmonar requirieron ventilación no invasiva o intubación por insuficiencia respiratoria aguda, en comparación con 34 (17.0%) asignados a ventilación no protectora. La duración de la estancia hospitalaria fue más corta entre los pacientes que recibieron ventilación con protección pulmonar que entre los que recibieron ventilación no protectora. Demostrando que, en comparación con una práctica de ventilación mecánica no protectora, el uso de una estrategia de ventilación con protección pulmonar en pacientes de riesgo intermedio y alto sometidos a cirugía abdominal mayor está asociado con mejores resultados clínicos y una menor utilización de los recursos médicos.²²

Yang y colaboradores presentan un metaanálisis acerca de las estrategias de ventilación intraoperatoria para prevenir las complicaciones pulmonares; los estudios que evalúan incluyen un total de 1054 pacientes, 521 usando volumen corriente bajo y 533 con ventilación convencional (volumen corriente >9 mL/kg) comparando la incidencia de atelectasias, infección pulmonar, lesión pulmonar aguda y duración de la estancia hospitalaria. Así mismo realizan un análisis secundario donde comparan la ventilación de protección pulmonar (volumen corriente bajo + PEEP + maniobras de reclutamiento alveolar) en 248 pacientes contra la ventilación convencional en 247 pacientes. Ellos encontraron que, aunque el uso de volumen corriente bajo se asoció con una menor incidencia de infección pulmonar postoperatoria comparado con la estrategia convencional, no hubo diferencia alguna en la incidencia de lesión pulmonar aguda o atelectasias. Sin embargo, encontraron una reducción estadísticamente significativa en la incidencia de infección pulmonar postoperatoria, atelectasias, lesión pulmonar aguda y duración de la estancia intrahospitalaria en los pacientes que fueron ventilados con

estrategias de protección comparados con los que se utilizó una estrategia más convencional.²³

Las maniobras de reclutamiento alveolar son estrategias que se utilizan para reabrir zonas pulmonares colapsadas, también son un mecanismo fisiológico presente en la naturaleza con la finalidad de permitir a los neonatos abrir sus pulmones al nacer y actualmente han sido adaptadas a la práctica clínica de anestesia diaria. Previamente su seguridad fue cuestionada por su impacto negativo sobre la precarga y su seguridad hemodinámica, actualmente se conoce que hay una disminución transitoria del gasto cardiaco durante unos segundos o minutos tras el inicio de una maniobra de reclutamiento alveolar que se normaliza al ceder la presión de apertura tras unos minutos de la maniobra. Si se logra expandir toda el área pulmonar colapsada, en 15 a 20 minutos hay una mejora del gasto cardiaco incluso a niveles superiores que los presentes previos a la realización de la maniobra por la disminución en la resistencia vascular pulmonar y la reversión de la vasoconstricción pulmonar hipóxica secundaria a las atelectasias. Sus principales requisitos son un plano anestésico adecuado y la estabilidad hemodinámica del paciente, idealmente debe realizarse posterior a la inducción y previo al inicio de la cirugía; actualmente la estrategia que ha mostrado mayor perfil de eficacia y seguridad en todos los grupos etarios es el uso de maniobras escalonadas en modo controlado por presión, usando una presión ciclada fija de 15 cmH₂O, y escalando progresivamente con PEEP de 5 en 5 cmH₂O, llegando en adultos a una presión máxima de 35-40 cmH₂O y un PEEP máximo de 15-20 cmH₂O pudiendo incrementar la frecuencia respiratoria hasta 20 por minuto.²⁴

La evidencia es amplia, lo que sugiere una asociación entre la estrategia de ventilación mecánica intraoperatoria y las complicaciones pulmonares postoperatorias en pacientes sometidos a cirugía abdominal. La configuración no protectora del ventilador, especialmente el volumen corriente alto (> 10-12 ml / kg), el nivel muy bajo de presión positiva al final de la espiración (PEEP, <5 cm H₂O) o la ausencia de PEEP, pueden causar sobre distensión alveolar y atrapamiento aéreo repetitivo. asociado a lesión pulmonar en pacientes con pulmones sanos.

Estimulado por los hallazgos anteriores en pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda, el uso de ventilación con volumen tidal más bajo se está volviendo cada vez más común en el quirófano. Sin embargo, la reducción del volumen corriente, aunque es importante, es solo una parte del enfoque multifacético general de la ventilación mecánica con protección pulmonar. Los datos recientes proporcionan evidencia convincente de que la ventilación mecánica profiláctica con protección pulmonar que utiliza un volumen corriente más bajo (6–8 ml / kg de peso corporal predicho), PEEP moderada (6–8 cm H₂O) y maniobras de reclutamiento se asocia con una mejoría posoperatoria funcional o fisiológica y clínica. resultado en pacientes sometidos a cirugía abdominal. ²⁵

Las estrategias de ventilación mecánica protectora que utilizan un volumen corriente bajo o niveles altos de PEEP mejoran los resultados para los pacientes que se han sometido a cirugía. Recientemente se ha estado evaluando el papel del *driving pressure* en la predicción de complicaciones pulmonares postoperatorias. Neto y colaboradores investigaron la asociación del volumen corriente, el nivel de PEEP y la *driving pressure* durante la ventilación intraoperatoria con el desarrollo de complicaciones pulmonares postoperatorias. Realizaron un metaanálisis de datos de pacientes individuales de estudios controlados aleatorizados de ventilación protectora durante la anestesia general para cirugía publicados, el resultado principal fue el desarrollo de complicaciones pulmonares posoperatorias (lesión pulmonar posoperatoria, infección pulmonar o barotrauma). Los estudios evaluados incluyeron 2250 pacientes. El análisis sugirió que la presión de conducción se asoció con el desarrollo de complicaciones pulmonares postoperatorias (odds ratio para un aumento de una unidad de la presión de conducción 1 · 16, IC 95% 1 · 13–1 · 19; p < 0 · 0001). La presión de conducción fue el único mediador significativo de los efectos de la ventilación protectora en el desarrollo de complicaciones pulmonares. En dos estudios que compararon la PEEP baja con la PEEP alta durante la ventilación con volumen tidal bajo, un aumento en el nivel de PEEP que resultó en un aumento de la presión de conducción se asoció con más complicaciones pulmonares postoperatorias (OR 3 · 11, IC 95% 1 · 39– 6 · 96; p = 0 · 006). Se hace claro el papel del *driving pressure* y sus niveles altos así como los

cambios en el nivel de PEEP que resultan en un aumento del *driving pressure* se asocian con más complicaciones pulmonares postoperatorias.²⁶

El *driving pressure* representa el volumen corriente normalizado a la compliancia del sistema respiratorio y es uno de los nuevos parámetros para guiar la configuración del ventilador. Grieco y colaboradores desarrollaron un estudio experimental en Italia con 28 pacientes no obesos sometidos a cirugía abdominal recibiendo tres diferentes niveles de PEEP (2, 7 o 12 cmH₂O) de manera aleatorizada y con una ventilación con volumen corriente constante. Se evaluó la mecánica respiratoria, el volumen pulmonar y el reclutamiento alveolar con la finalidad de evaluar el volumen aireado al final de la espiración, el cual fue comparado con la capacidad residual funcional predicha para cada paciente en posición supina. Ellos encontraron que la compliancia del sistema respiratorio (CSR) se relacionó linealmente con el volumen aireado y el *driving pressure* con la tensión dinámica a un PEEP de 2 cmH₂O. Estas relaciones se mantuvieron con una PEEP más alta solo cuando el volumen aireado no superó la capacidad residual funcional predicha, con incrementos de volumen pulmonar de 100 ml acompañados de 1.8 ml cmH₂O aumenta la compliancia del sistema respiratorio. Cuando el volumen aireado era mayor o igual a la capacidad residual funcional predicha (35% de los pacientes con PEEP 2 cmH₂O, 55% con PEEP 7 cmH₂O y 75% con PEEP 12 cm H₂O), la CSR y el *driving pressure* eran independientes del volumen aireado y la tensión dinámica, con CSR débil pero inversamente relacionado de manera significativa con la fracción de espacio muerto alveolar. El reclutamiento alveolar inducido por PEEP produjo un CSR más alto y un *driving pressure* reducido solo a volúmenes aireados por debajo de la capacidad residual funcional predicha. Los autores concluyen en este estudio que, durante la anestesia general, la compliancia del sistema respiratorio y la presión de conducción reflejan el volumen pulmonar aireado y la tensión dinámica, respectivamente, solo si el volumen aireado no excede la capacidad residual funcional en posición supina, lo cual es un evento frecuente cuando se usa PEEP en este entorno.²⁷

El driving pressure también se ha estudiado en el ámbito de la cirugía torácica, en Corea, Park y colaboradores compararon la ventilación guiada por el *driving pressure* comparada con la ventilación de protección pulmonar convencional durante cirugía torácica con la hipótesis de que la ventilación guiada por el *driving pressure* disminuye la incidencia de complicaciones pulmonares postoperatorias. En este estudio doble ciego, aleatorizado y controlado, se incluyeron 292 pacientes programados para cirugía torácica electiva. El grupo de ventilación protectora (147 pacientes) recibió ventilación protectora convencional durante la ventilación unipulmonar: volumen corriente 6 ml / kg de peso corporal ideal, PEEP de 5 cm²HO, y maniobra de reclutamiento. El grupo de *driving pressure* (145 pacientes) recibió el mismo volumen corriente y reclutamiento, pero con PEEP individualizada para lograr el *driving pressure* más bajo durante la ventilación unipulmonar. El resultado primario fue el desarrollo de complicaciones pulmonares postoperatorias basadas en la Escala del Grupo Melbourne (al menos 4) hasta el día 3 postoperatorio. Una puntuación de al menos 4 en la Escala del Grupo Melbourne ocurrió en 8 de 145 pacientes (5.5%) en el grupo de *driving pressure*, en comparación con 18 de 147 (12.2%) en el grupo de ventilación protectora. El número de pacientes que desarrollaron neumonía o síndrome de dificultad respiratoria aguda fue menor en el grupo de *driving pressure* que en el grupo de ventilación protectora. Se demostró que la aplicación de ventilación guiada por *driving pressure* durante la unipulmonar se asoció con una menor incidencia de complicaciones pulmonares postoperatorias en comparación con la ventilación protectora convencional en la cirugía torácica. ²⁸

La lesión pulmonar inducida por ventilador (VILI) se ha descrito en varios entornos clínicos y experimentales, y se han considerado varios factores como posibles desencadenantes de VILI. Todos estos factores juntos generan la energía aplicada al sistema respiratorio, que, expresada por minuto, es el poder mecánico. El poder mecánico actúa directamente sobre el esqueleto pulmonar, es decir, la matriz extracelular, deformando las células epiteliales y endoteliales ancladas a él. Dependiendo de la cantidad de poder mecánico, las alteraciones del parénquima pulmonar pueden variar desde la ruptura mecánica hasta una reacción inflamatoria debido a la activación de macrófagos, neutrófilos y células endoteliales y epiteliales.

En Italia, Cressoni y colaboradores realizaron un estudio experimental para probar que el desarrollo de VILI depende del poder mecánico aplicado al pulmón. El poder mecánico se definió como la función de la presión transpulmonar, el volumen corriente (TV) y la frecuencia respiratoria. Se ventilaron tres lechones con un poder mecánico conocido como letal (VT 38 ml/kg; presión meseta, 27 cmH₂O; y frecuencia respiratoria, 15 respiraciones / min). Otros grupos (tres lechones cada uno) fueron ventilados con el mismo VT por kilogramo y presión transpulmonar, pero a frecuencias respiratorias de 12, 9, 6 y 3 respiraciones / min. Los autores identificaron un umbral de poder mecánico para VILI e hicieron nueve experimentos adicionales a una frecuencia respiratoria de 35 respiraciones / min y un poder mecánico por debajo (TV 11 ml / kg) y por encima (TV 22 ml / kg) del umbral. En los 15 experimentos para detectar el umbral de VILI, hasta un poder mecánico de aproximadamente 12 J / min (frecuencia respiratoria, 9 respiraciones / min), las tomografías computarizadas mostraron densidades mayormente aisladas, mientras que a una potencia mecánica superior a aproximadamente 12 J / min, todos los lechones desarrollaron edema pulmonar completo. En los nueve experimentos confirmatorios, los cinco lechones ventilados por encima del umbral de potencia desarrollaron VILI, pero los cuatro lechones ventilados por debajo no. Al agrupar a los 24 lechones, los autores encontraron una relación significativa entre el poder mecánico aplicado al pulmón y el aumento del peso pulmonar y la elastancia pulmonar y la disminución de PaO₂ / FIO₂ al final del estudio. ²⁹

El PEEP generalmente se considera protectora contra la lesión pulmonar inducida por la ventilación al reducir el ateletrauma y mejorar la homogeneidad pulmonar. Sin embargo, el PEEP, junto con el volumen corriente, el flujo de gas y la frecuencia respiratoria, contribuyen al poder mecánico requerido para ventilar el pulmón. Collino y colaboradores realizaron un estudio experimental con el objetivo de investigar los efectos del aumento de la potencia mecánica mediante la modificación selectiva de su componente de PEEP. Treinta y seis lechones sanos fueron ventilados en prono durante 50h a 30 respiraciones / min y con un volumen corriente igual a la capacidad residual funcional. Se aplicaron niveles de PEEP (0, 4, 7, 11, 14 y 18 cm H₂O) a seis grupos de seis animales. Las variables respiratorias, de

intercambio de gases y hemodinámicas se registraron cada 6 h. Se midieron el peso pulmonar y la relación de húmedo a seco, y se recolectaron muestras histológicas. El poder mecánico pulmonar fue similar a 0 ($8,8 \pm 3,8$ J / min), 4 ($8,9 \pm 4,4$ J / min) y 7 ($9,6 \pm 4,3$ J / min) cmH₂O de PEEP, y posteriormente aumentó linealmente desde $15,5 \pm 3,6$ J / min (PEEP 11 cm H₂O) a $18,7 \pm 6$ J / min (PEEP 14 cm H₂O) y $22 \pm 6,1$ J / min (PEEP 18 cm H₂O). Las elastancias pulmonares, la congestión vascular, la atelectasia, la inflamación y la ruptura del tabique disminuyeron de la presión espiratoria final cero a 4 a 7 cm H₂O y aumentaron progresivamente a una presión espiratoria positiva más alta. A estos niveles de PEEP, se manifiesta un deterioro hemodinámico sorprendente y la muerte (mortalidad 0% a presión positiva espiratoria de 0 a 11 cm H₂O, 33% a 14 cm H₂O y 50% a 18 cmH₂O). Desde cero de PEEP a 18 cm H₂O, la presión arterial pulmonar media, administración de líquidos e infusión de noradrenalina aumentó progresivamente. El peso pulmonar y las relaciones pulmón húmedo a seco no fueron significativamente diferentes entre los grupos. El nivel de potencia mecánica pulmonar que mejor discriminó entre daño más versus daño menos grave fue 13 ± 1 J / min. Menos de 7 cm H₂O de presión positiva al final de la espiración redujo el ateletrauma encontrado a PEEP de 0. Por encima de un umbral de poder mecánico definido, la presión positiva al final de la espiración contribuyó al daño pulmonar potencialmente letal y al deterioro hemodinámico.³⁰

Existe una falta de consenso acerca de la mejor estrategia ventilatoria para cirugía abdominal, en este contexto, Maia y colaboradores desarrollaron en Brasil un experimento en ratas donde investigaron el impacto de las estrategias de ventilación utilizadas en los estudios IMPROVE y PROVHILO sobre el driving pressure y el poder mecánico, así como el daño pulmonar asociado. Se utilizaron 35 ratas, de las cuales 28 fueron anestesiadas y se realizó una laparotomía con manipulación intestinal estándar. En el postoperatorio, los animales fueron asignados aleatoriamente a 4h de ventilación con: (grupo 1) VT = 7mL/kg, PEEP 1 cmH₂O sin maniobras de reclutamiento; (grupo 2) VT = 7 mL/kg, PEEP 3 cmH₂O con maniobras de reclutamiento antes de la laparotomía y una hora después; (grupo 3) VT = 7 mL/kg, PEEP 6 cmH₂O con maniobras de reclutamiento solo tras la

laparotomía; y (grupo 4) VT = 14 mL/kg, PEEP = 1 cmH₂O sin maniobras de reclutamiento. Siete ratas no fueron parte de los grupos de estudio y constituyeron los controles sanos, no operados y no ventilados. Ellos encontraron que el grupo 2 y 3 presentaron un menor *driving pressure* y menor poder mecánico comparado con los grupos 1 y 4. El grupo 3 se asoció con menor colapso alveolar que el grupo 1. La expresión de mediadores inflamatorios fue mayor en el grupo 3 comparado con un grupo con las mismas características, pero sin el uso de maniobras de reclutamiento alveolar, sin embargo, el colapso alveolar fue mayor en este último. También se encontró que la extensión del colapso alveolar y la expresión de mediadores inflamatorios se correlacionó con los niveles de *driving pressure* y poder mecánico, concluyendo que los niveles bajos de estos últimos se asocian a un menor daño pulmonar. ¹

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se ha demostrado un incremento significativo en la mortalidad, en los días de estancia intrahospitalaria y en los costos de atención asociados en los pacientes que desarrollan complicaciones pulmonares postoperatorias.

En nuestro hospital atendemos pacientes en diversos escenarios clínicos sin embargo en muchas ocasiones las características socioeconómicas de nuestra población objetivo los enfrentan a un riesgo incrementado de complicaciones en general siendo las complicaciones pulmonares postoperatorias de las más frecuentes acorde a lo que muestra la epidemiología mundial.

El uso de una u otra estrategia de ventilación mecánica depende en gran parte del conocimiento y la experiencia de cada profesional de anestesia, por lo cual no hay un estándar que se correlacione a lo que marca la literatura que disminuye las complicaciones pulmonares postoperatorias y que subsecuentemente disminuye los gastos asociados a la atención médica.

La monitorización de la mecánica ventilatoria durante la anestesia es un recurso poco utilizado que puede orientar las estrategias de ventilación mecánica al mantener un *driving pressure* y poder mecánico adecuados, lo cual se ha demostrado que reduce la incidencia de complicaciones pulmonares postoperatorias. Basándonos en la medición de dichos parámetros podemos escoger una estrategia de ventilación mecánica que mantenga dichas variables dentro de valores normales para ofrecer una ventilación segura. La cirugía abdominal mayor es una de las principales indicaciones de anestesia general en nuestro hospital al ser uno de los principales tipos de cirugía que se opera, por tanto, surge la siguiente interrogante ¿Qué estrategia de ventilación mecánica ofrece mejores niveles de *Driving Pressure* y Poder mecánico en pacientes sometidos a cirugía abdominal mayor bajo anestesia general?

JUSTIFICACIÓN

Mantener un *driving pressure* y un poder mecánico dentro de parámetros normales se asocia a un menor daño pulmonar y menores CPP, su medición forma parte de la monitorización de la mecánica ventilatoria, un recurso útil, sencillo y barato que sin embargo es poco utilizado en el ámbito transoperatorio. Diversos estudios aleatorizados y metaanálisis demuestran el impacto benéfico al aplicar estrategias de ventilación de protección pulmonar y estudios experimentales demuestran el impacto de dichas estrategias sobre el *driving pressure* y el poder mecánico observando una disminución en las complicaciones pulmonares postoperatorias y el daño pulmonar con respecto a los controles. Las complicaciones pulmonares postoperatorias son una de las principales complicaciones que pueden surgir en el periodo postquirúrgico, dependiendo de las características individuales de cada paciente pueden incrementar de manera más o menos significativa la morbimortalidad, sin embargo, se ha demostrado que su aparición si incrementa los días de estancia intrahospitalaria y por tanto el costo relacionado a la atención en salud. La monitorización de la mecánica ventilatoria en el transoperatorio es un recurso que se encuentra presente en cada ventilador mecánico acoplado a la máquina de anestesia y que puede ser complementado con unos cálculos sencillos; es un recurso simple, sencillo y barato que nos permite medir el *driving pressure* y el poder mecánico durante la ventilación mecánica en la anestesia general. El uso de una estrategia de ventilación mecánica, que basada en la monitorización de la mecánica ventilatoria mantenga unos niveles normales de *driving pressure* y poder mecánico está comprobado que reduce la aparición de complicaciones pulmonares postoperatorias y por tanto los costos asociados; debido a ello conocer qué estrategia es la más adecuada en nuestros pacientes identificando el impacto de diferentes tipos de estrategias utilizadas sobre el *driving pressure* y el poder mecánico nos ayudará a optimizar la utilización de un recurso ya existente en cada ventilador mecánico reduciendo las complicaciones pulmonares postoperatorias (acorde a lo señalado en diversos estudios) y por tanto reduciendo también los costos asociados al desarrollo de dichas complicaciones con la ventaja de no requerir un gasto o recurso adicional.

HIPOTESIS

H0: Todas las estrategias de ventilación ofrecen valores similares de *driving pressure* y poder mecánico.

H1: El uso de volúmenes corrientes altos y PEEP bajo sin MR se asocia a mejores niveles de *driving pressure* y poder mecánico.

H2: El uso de volúmenes corrientes bajos y PEEP moderado sin MR se asocia a mejores niveles de *driving pressure* y poder mecánico.

H3: El uso de volúmenes corrientes bajos, PEEP moderado y MR se asocia a mejores niveles de *driving pressure* y poder mecánico.

H4: El uso de volúmenes corrientes bajos, PEEP alto y MR se asocia a mejores niveles de *driving pressure* y poder mecánico.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Observar el impacto de diferentes estrategias de ventilación mecánica sobre el valor del *driving pressure* y el poder mecánico de pacientes sometidos a cirugía abdominal mayor.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Observar en un grupo de pacientes sometidos a cirugía abdominal mayor bajo anestesia general los efectos sobre el *driving pressure* y el poder mecánico de los siguientes parámetros de ventilación mecánica:
 1. VC = 12 mL/kg con PEEP = 4 cmH₂O sin MR
 2. VC = 7 mL/kg con PEEP = 7 cmH₂O sin MR
 3. VC = 7 mL/kg con PEEP = 7 cmH₂O y MR
 4. VC = 7 mL/kg con PEEP = 12 cmH₂O y MR
- Comparar los valores obtenidos de cada estrategia de ventilación mecánica e identificar la que ofrece los mejores valores sobre el *driving pressure* y el poder mecánico en pacientes sometidos a cirugía abdominal mayor bajo anestesia general.

MATERIAL Y METODOS

- TIPO DE ESTUDIO

Estudio prospectivo aleatorizado observacional.

- UBICACIÓN ESPACIOTEMPORAL

Hospital General Zona Norte Puebla “Bicentenario de la Independencia” en la ciudad de Puebla de Zaragoza, Puebla, México; durante el periodo de tiempo comprendido de octubre de 2018 a marzo de 2019.

- ESTRATEGIA DE TRABAJO

Se seleccionó una muestra de 72 pacientes que cumplan los criterios de inclusión, los cuales fueron aleatorizados usando un software computacional y se distribuyeron en 4 grupos (n=18), cada grupo fue manejado con anestesia general y ventilado en modo control volumen con una de las siguientes estrategias:

1. VC_a, PEEP_b, MR (-):

VC = 12 mL/kg con PEEP = 4 cmH₂O sin MR

2. VC_b, PEEP_m, MR (-):

VC= 7 mL/kg con PEEP = 7 cmH₂O sin MR

3. VC_b, PEEP_m, MR (+):

VC = 7 mL/kg con PEEP = 7 cmH₂O y MR (Posterior a la inducción y previo al inicio de laparotomía elevar el PEEP hasta 30 cmH₂O durante 30s)

4. VC_b, PEEP_a, MR (+):

VC = 7 mL/kg con PEEP = 6 cmH₂O y MR (Posterior a la inducción y previo al inicio de laparotomía elevar el PEEP hasta 30 cmH₂O durante 30s)

Todos los pacientes se mantuvieron con un flujo de gas fresco de 1.5 L/min, F_iO_2 de 40% y una frecuencia respiratoria entre 12-14 por minuto para mantener un E_tCO_2 entre 33-35 mmHg. Antes del procedimiento quirúrgico se colectaron datos sobre peso, talla y género del paciente. Una vez transcurridos 45 minutos después del inicio de la cirugía se realizó la recolección de datos sobre la frecuencia respiratoria, el volumen corriente, la presión pico, la presión meseta y el PEEP total. Los cuales se utilizaron posteriormente para obtener, mediante un software digital, los valores del *driving pressure* y el poder mecánico, lo que permitió identificar la estrategia de ventilación que produjo los mejores valores.

MARCO MUESTRAL

- UNIVERSO DE ESTUDIO

Población fuente:

Se estudiaron pacientes sometidos a cirugía abdominal mayor en el Hospital General Zona Norte de Puebla en Puebla de Zaragoza, México.

Sujetos de estudio:

Pacientes sometidos a cirugía abdominal mayor (laparotomías) bajo anestesia general balanceada y ventilación mecánica.

- CRITERIOS DE SELECCIÓN

Criterios de inclusión

- Pacientes mayores de 18 años, con clasificación de la *American Society of Anesthesiologists* I-III sometidos a cirugía abdominal mayor bajo anestesia general balanceada.

Criterios de exclusión:

- Pacientes menores de 18 años.
- Embarazo
- Cirugía laparoscópica.
- IMC mayor a 40 kg/m².
- Comorbilidades cardiovasculares o pulmonares asociadas o alguna otra comorbilidad que pueda comprometer la seguridad del estudio.
- Clasificación de la *American Society of Anesthesiologist* igual o mayor a IV.

Criterios de eliminación:

- Paciente que se niegue a participar.
- Presencia de algún evento adverso transoperatorio ya sea quirúrgico o anestésico que requiera modificar la estrategia de ventilación.

DISEÑO Y TIPO DE MUESTREO

- TIPO DE MUESTREO

Muestreo intencional o de conveniencia

- TAMAÑO DE LA MUESTRA

Se optó por un intervalo de confianza del 95%, con un margen de error del 5% y una heterogeneidad del 50% con lo que mediante el uso de la calculadora muestral online “*Netquest*” se seleccionó una muestra de 72 pacientes en un periodo de 6 meses. Los sujetos fueron seleccionados del Hospital General Zona Norte de Puebla que hayan sido sometidos a cirugía abdominal mayor bajo anestesia general y que cumplan los criterios de inclusión previamente descritos, dicha muestra fue dividida en 4 grupos con 18 pacientes cada uno, los cuales fueron sometidos a una estrategia de ventilación mecánica.

VARIABLES Y ESCALAS DE MEDICION

Variable	Tipo de variable	Clasificación
Volumen corriente	Cuantitativa	Discreta
Presión positiva al final de la espiración (PEEP)	Cuantitativa	Discreta
Maniobra de reclutamiento alveolar	Cualitativa	Nominal
Driving Pressure	Cuantitativa	Discreta
Poder mecánico	Cuantitativa	Discreta

DEFINICION DE VARIABLES

- VARIABLE INDEPENDIENTE

1. Volumen corriente:

- Definición conceptual: Cantidad de aire que entra a los pulmones con cada inspiración normal, medida en mL.
- Definición operacional: Volumen que es programado para ser otorgado por el ventilador mecánico en ventilación controlada por volumen.

2. Presión positiva al final de la espiración (PEEP):

- Definición conceptual: Técnica mecánica utilizada durante la ventilación artificial que incluye un agregado de presión a los pulmones al final de cada respiración, medida en cmH₂O.
- Definición operacional: Valor asignado al parámetro “PEEP” en el ventilador mecánico.

3. Maniobra de reclutamiento alveolar:

- Definición conceptual: Técnicas realizadas durante la ventilación mecánica para la reexpansión de áreas pulmonares previamente colapsadas mediante un incremento breve y controlado de la presión transpulmonar, dirigidas a crear y mantener una situación libre de colapso con el fin de aumentar

el volumen al final de la espiración y mejorar el intercambio gaseoso.

- Definición operacional: Conjunto de configuraciones de parámetros programados en el ventilador mecánico de manera momentánea posterior a la inducción.

- **VARIABLE DEPENDIENTE**

1. Driving Pressure:

- Definición conceptual: La presión necesaria para sobrepasar el retroceso elástico del sistema respiratorio, medida en cmH₂O.
- Definición operacional: Valor en cmH₂O obtenido al computar los datos individuales de la monitorización de la mecánica ventilatoria de cada paciente en el software “Ventilación segura”.

2. Poder mecánico:

- Definición conceptual: La energía entregada por unidad de tiempo al sistema respiratorio por parte del ventilador mecánico, medida en Joules/minuto.
- Definición operacional: Valor en J/min obtenido al computar los datos individuales de la monitorización de la mecánica ventilatoria de cada paciente en el software “Ventilación segura”

METODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se observaron los datos que muestre el monitor del ventilador mecánico y el espirómetro durante la anestesia general.

TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS

Se asignaron aleatoriamente a los pacientes en uno de los 4 grupos con una estrategia de ventilación mecánica diferente cada uno, posteriormente durante la

anestesia general se realizará una monitorización de la ventilación mecánica observando los datos del ventilador mecánico y el espirómetro.

ANALISIS ESTADÍSTICO

La información obtenida en el formato de recolección de datos se vació a un archivo para base de datos del programa estadístico IBM SPSS Versión 25.

Se realizó estadística descriptiva mediante la obtención de medias, desviación estándar, máximos y mínimos, para las variables cuantitativas con distribución normal, así como frecuencias y porcentajes para las variables cualitativas.

Además, se realizó estadística inferencial para comparar los diferentes métodos de ventilación mecánica sobre el *driving pressure* y el poder mecánico en anestesia por medio de las pruebas de ANOVA de una y dos vías, utilizando como *pos-hoc* Student-Newman-Keuls cuando el valor de p fue menor de 0.05 ($p < 0.05$)

LOGÍSTICA

- RECURSOS HUMANOS

Pacientes del Hospital General Zona Norte de Puebla.

Medico anesthesiólogo prestador de anestesia general balanceada.

Experto en metodología de la investigación.

Medico anesthesiólogo investigador responsable.

Médico residente de anestesiología.

- RECURSOS MATERIALES

Revistas indexadas de los últimos 10 años en inglés y en español, libros, equipo para anestesia general balanceada, aditamento de espirómetro para monitor de máquina de anestesia, software de ventilación segura, computadora, internet, copias, papel, lápiz borradores, bolígrafos, expedientes clínicos, hojas para recolección de datos, software para procesamiento de datos.

- RECURSOS FINANCIEROS
 - Los otorgados por la institución para la prestación de una anestesia general balanceada.
 - Propios del investigador.

ASPECTOS ETICOS

El presente estudio cumple con los requisitos de Pautas Éticas Internacionales para la Investigación y Experimentación Biomédica en Seres Humanos. ISBN 92 9036 056 9. Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS), 1993, Ginebra, pp.53-56 y los citados en los artículos 100 en los incisos I al VII y en el artículo 101 de la Ley General de Salud en México.

El estudio se basará en los principios básicos de la declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial- Guía de Recomendaciones para los Médicos Biomédica en personas- Adoptada por la 18 Asamblea Medica Mundial, Helsinki Finlandia. Junio de 1964 y enmendada por la 29 Asamblea Medica Mundial Tokio Japón, octubre de 1965. La 35 Asamblea Medica Mundial, Hong Kong, septiembre de 1989.

Los procedimientos se ajustan a las Normas Éticas Institucionales contempladas en la Declaración de Helsinki: Modificación en Brasil, 2013.

En el Reglamento de la Ley General de Salud de los Estados Unidos Mexicanos en materia de experimentación en seres humanos, y en el Instructivo para la Operación de la Comisión de Investigación del Instituto Mexicano del Seguro Social.

Este estudio se ajusta a las normas e instructivos institucionales en materia de investigación científica, por lo tanto, se realizará hasta que haya sido aprobado por el Comité Local de Investigación.

El Código de Ética Profesional Médico tiene como función sensibilizar al profesionalista médico para que su ejercicio profesional se desenvuelva en un ámbito de honestidad, legitimidad y moralidad, en beneficio de la sociedad apegado a las leyes constitucionales y normas que de ella emanen.

Para la realización de esta investigación es obligación contar con el consentimiento informado del paciente y por lo tanto con la aceptación por escrito de su participación, previo conocimiento detallado de los procedimientos y objetivos, ya que la anestesia general corresponde a un procedimiento invasivo para el cual el paciente entiende los riesgos. Así mismo el que sea de su conocimiento el que puede retirarse en el momento que así lo decida.

Los resultados de este estudio permitirán evaluar la mejor estrategia de ventilación mecánica ofrece mejores valores de *driving pressure* y poder mecánico y así favorecer la prevención de las complicaciones pulmonares postoperatorias según lo mostrado por la literatura y dar partida a la realización de un protocolo estandarizado de ventilación mecánica para los pacientes sometidos a cirugía abdominal mayor en nuestro hospital y evaluar posteriormente sus beneficios.

RESULTADOS

Características antropométricas del estudio

El análisis descriptivo aplicado a estas variables nos muestra una población con edad promedio de 40.95 ± 11.66 años, peso promedio de 72.76 ± 10.68 kilos, una estatura de 1.66 ± 2.82 y IMC de 26.38 ± 2.82 Kg/m² (**tabla 1**).

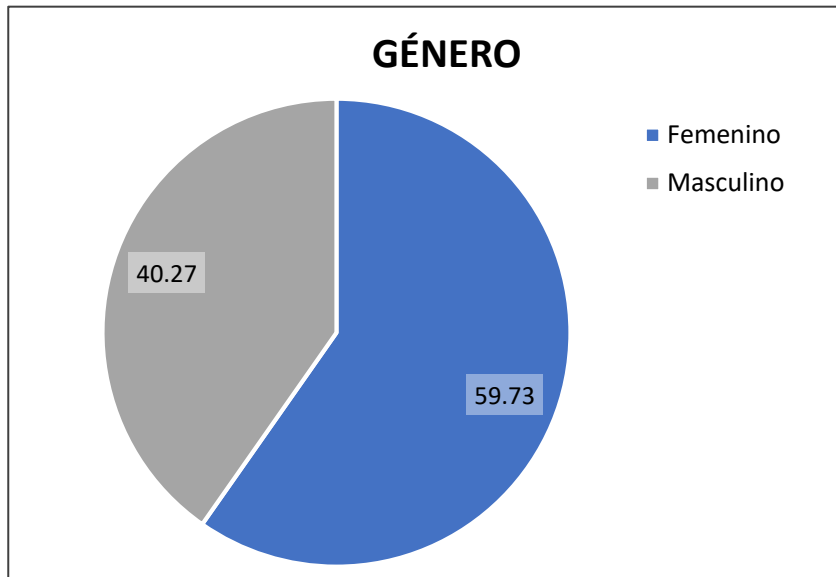
Tabla 1. Estadísticos descriptivos para variables antropométricas cuantitativas

Variables	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Edad	72	18	59	40.95	11.66
Peso	72	50	102	72.76	10.68
Peso predicho	72	41.50	76.03	58.74	6.62
Talla	72	1.48	1.81	1.66	0.05
IMC	72	20.90	33.61	26.38	2.82

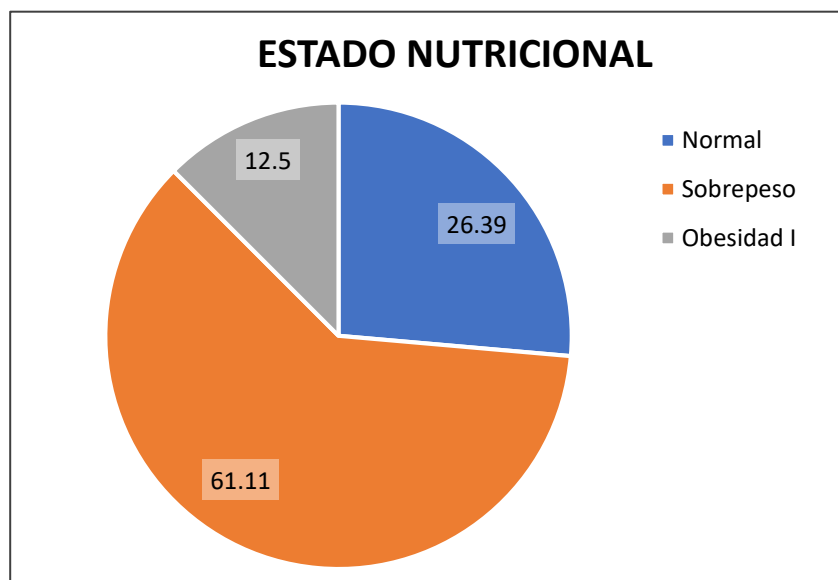
En cuanto a la frecuencia de las caracterizaciones antropométricas, encontramos que el 43 % de la población fue del género femenino y el 29 % del masculino (**tabla 2; gráfica 1**). De acuerdo al IMC de la población de estudio, se estableció el estado nutricional, destacando que el 61.11 % de los pacientes tienen sobrepeso, el 26.39% peso normal y finalmente el 12.5 % presentan obesidad de tipo I (**tabla 2; gráfica 2**).

Tabla 2. Frecuencia de las variables antropométricas cualitativas

Variables	Frecuencia	Porcentaje
Género		
Femenino	43	59.73
Masculino	29	50.27
Estado nutricional		
Peso bajo	0	0
Peso normal	19	26.39
Sobrepeso	44	61.11
Obesidad I	9	12.5
Obesidad II	0	0
Obesidad III	0	0



Gráfica 1. Frecuencia del género en la población de estudio. La mayoría de los pacientes fueron del género femenino.



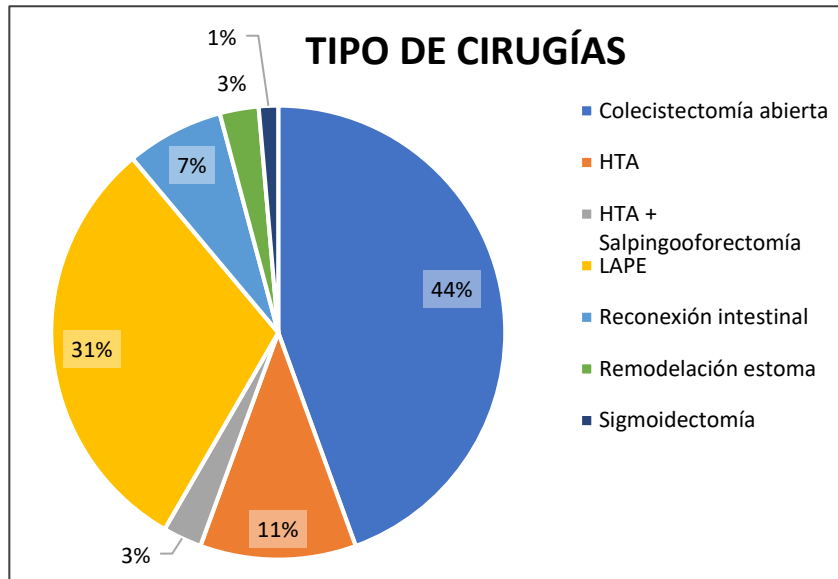
Gráfica 2. Frecuencia del estado nutricional de la población de estudio. La mayoría de los pacientes presentó sobrepeso.

Características clínicas de la población

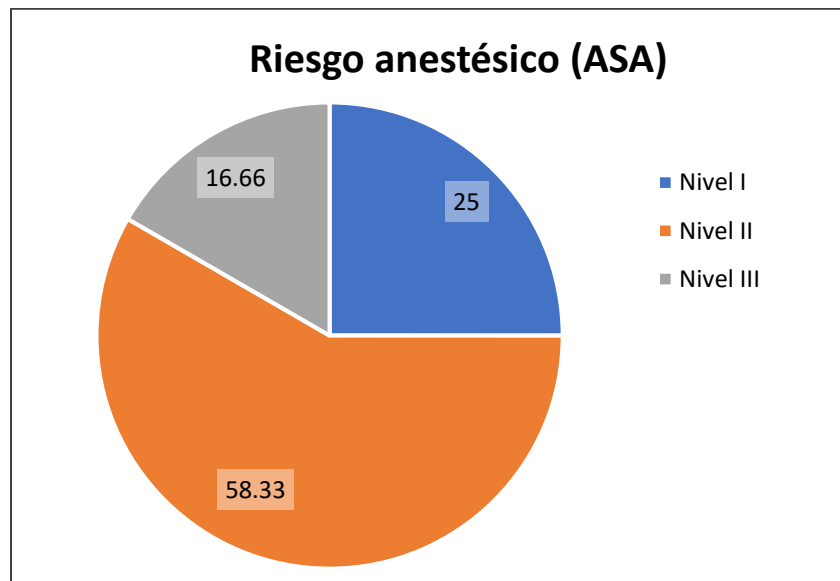
En el estudio observamos que la cirugía más frecuente fue colecistectomía abierta con un 44 %, en segundo lugar, LAPE con un 31 % y en tercer lugar HTA con un 11 % (**tabla 3; gráfica 3**). Por otra parte, en la variable de riesgo de anestesia se encontró que la mayoría de los pacientes se colocaron en el nivel II (58.33 %), mientras que el nivel I (25%) y el nivel III (16.66 %) en segundo y tercer lugar respectivamente (**tabla 3, gráfica 4**).

Tabla 3. Frecuencia de variables clínicas

Variable	Frecuencia	Porcentaje
Tipo de cirugía		
Colecistectomía abierta	32	44
Histerectomía Total Abdominal	8	11
HTA + Salpingooforectomía	2	3
Laparotomía Exploradora	22	31
Reconexión intestinal	5	7
Remodelación estoma	2	3
Sigmoidectomía	1	1
Nivel de riesgo de anestesia (ASA)		
I	18	25
II	42	58.33
III	12	16.66



Grafica 3. Frecuencia de tipo de cirugía observada en el estudio.



Grafica 4. Frecuencia de la evaluación de riesgo anestésico en pacientes que se someterán a eventos quirúrgicos, según la clasificación del estado físico otorgado por la sociedad de anestesiología (ASA).

Parámetros respiratorios

Se incluyeron datos de 72 pacientes distribuidos aleatoriamente en 4 grupos correspondientes a las 4 diferentes estrategias de ventilación mecánica, (VC = 12 mL/kg con PEEP = 4 cmH₂O sin MR, VC = 7 mL/kg con PEEP = 7 cmH₂O sin MR, VC = 7 mL/kg con PEEP = 7 cmH₂O con MR y VC = 7 mL/kg con PEEP = 12 cmH₂O con MR) de los cuales 100% tuvo retiro de la ventilación exitoso, los valores promedios de los parámetros respiratorios generales de frecuencia respiratoria (FR), volumen corriente (Vt), presión positiva al final de la expiración (PEEPt), presión pico (Ppico) y presión meseta (Pplateau) para cada una de las diferentes estrategias de ventilación mecánica se muestran en la **tabla 4**.

Tabla 4. PARAMETROS RESPIRATORIOS

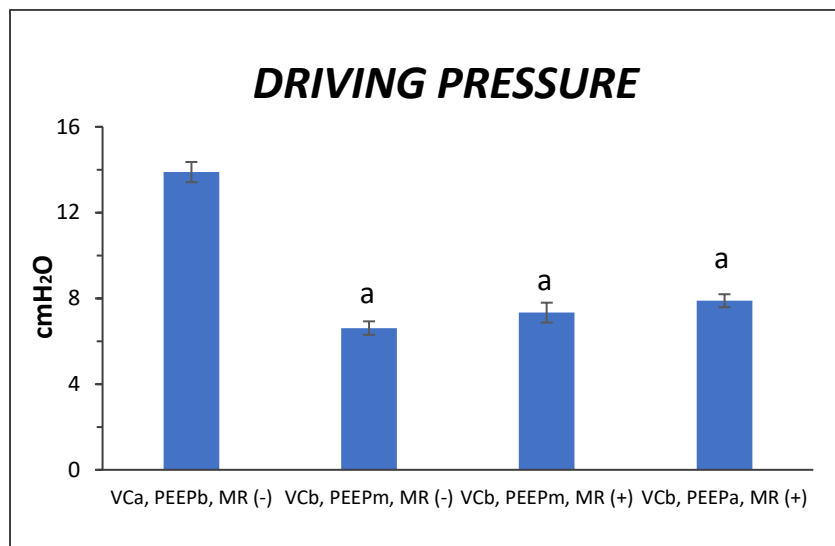
	VC _a , PEEP _b , MR (-)	VC _b , PEEP _m , MR (-)	VC _b , PEEP _m , MR (+)	VC _b , PEEP _a , MR (+)
FR	12.88 ± 1.02	13.33 ± 0.97	13.33 ± 0.97	13.33 ± 0.97
Vt	710 ± 67.95	411.94 ± 42.46	431.38 ± 44.35	400.27 ± 55.63
PEEP	4 ± 0	7 ± 0	7 ± 0	12 ± 0
Ppico	22.44 ± 2.00	17.55 ± 1.88	18.16 ± 1.82	23.27 ± 1.67
Pplateau	17.94 ± 1.89	13.61 ± 1.33	14.33 ± 1.97	19.88 ± 1.27

Evaluación de diferentes estrategias de ventilación mecánica sobre *driving pressure* y poder mecánico.

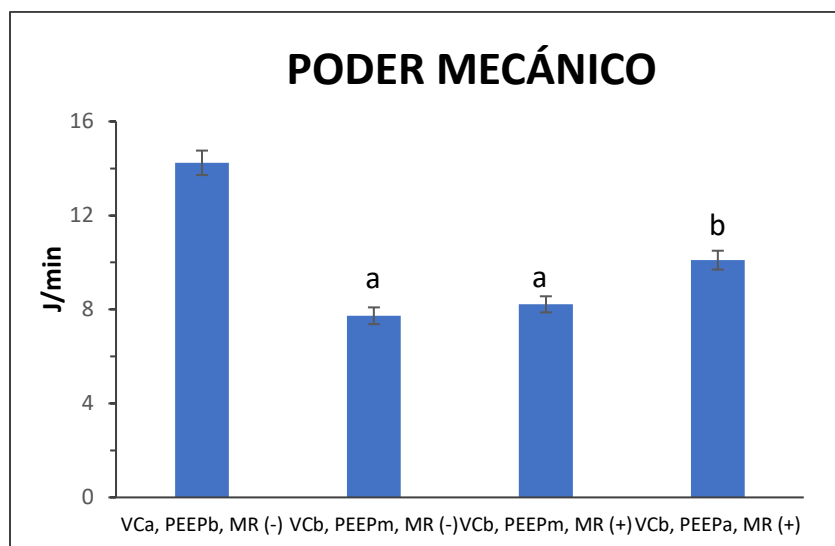
Se realizó un análisis estadístico de ANOVA de 1 vía con la finalidad de evaluar las diferentes estrategias de ventilación mecánica e identificar la mejor, este análisis indico que las estrategias con volúmenes de corrientes bajos y PEEP moderado sin MR (VC_b, PEEP_m, MR-), volúmenes corrientes bajos, PEEP moderado con MR (VC_b, PEEP_m, MR+) y volúmenes corrientes bajos, PEEP alto con MR (VC_b, PEEP_a, MR+), obtuvieron un valor de *driving pressure* bajo con respecto a la estrategia de volúmenes corrientes altos, PEEP bajo sin MR (VC_a, PEEP_b, MR-) sin diferencias entre ellas, los cuales se encuentran dentro de los parámetros de zona de seguridad para el *driving pressure* [$F_{(3,68)}=71.464$, $p<0.001$] (**tabla 5, gráfica 5**); mientras que para el poder mecánico se encontraron diferencias estadísticamente significativas de los valores corrientes bajos con PEEP moderado con y sin MR (VC_b, PEEP_m, MR-),(VC_b, PEEP_m, MR+) los cuales presentaron valores bajos para esta variable con respecto a las técnicas de VC_a, PEEP_b, MR- y VC_b, PEEP_a, MR+, lo que indica una resolución positiva para el paciente ya que el poder mecánico mayor a 12 J/min se asocia con resoluciones pocos favorables. [$F_{(3,68)}=825$, $p<0.001$] (**tabla 5, gráfica 6**).

Tabla. 5 Impacto de diferentes estrategias de ventilación mecánica sobre el valor del *driving pressure* y el poder mecánico

	VC _a , PEEP _b , MR (-)		VC _b , PEEP _m , MR (-)		VC _b , PEEP _m , MR (+)		VC _b , PEEP _a , MR (+)		
	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM	
<i>Driving pressure</i>	13.88	±0.47	*6.61	±0.31	*7.33	±0.46	*7.88	±0.30	*p<0.001
Poder mecánico	14.23	±0.52	*7.73	±0.35	*8.21	±0.34	10.09	±0.40	*p<0.001



Gráfica 5. Evaluación de diferentes estrategias de ventilación mecánica sobre el *driving pressure*. Los valores de VCb, PEEPm MR-, VCb, PEEPm MR+, VCb, PEEPa MR+ presentaron un valor de *driving pressure* en zona segura con respecto a la ventilación mecánica VCa, PEEPb MR-, la cual presenta valores limitantes con la zona de riesgo. ($p < 0.001$ a vs VCa, PEEPb MR-)



Gráfica 6. Evaluación de diferentes estrategias de ventilación mecánica sobre el poder mecánico. Los valores de VCb, PEEPm MR- y VCb, PEEPm MR+ obtuvieron valores de poder mecánico por debajo de 12 J/min, presentando diferencias significativas con respecto a la ventilación mecánica de VCb, PEEPa MR+ y VCa, PEEPb MR-. ($p < 0.001$ a vs VCb, PEEPa MR+, VCa, PEEPb MR-; b vs VCa, PEEPb MR-).

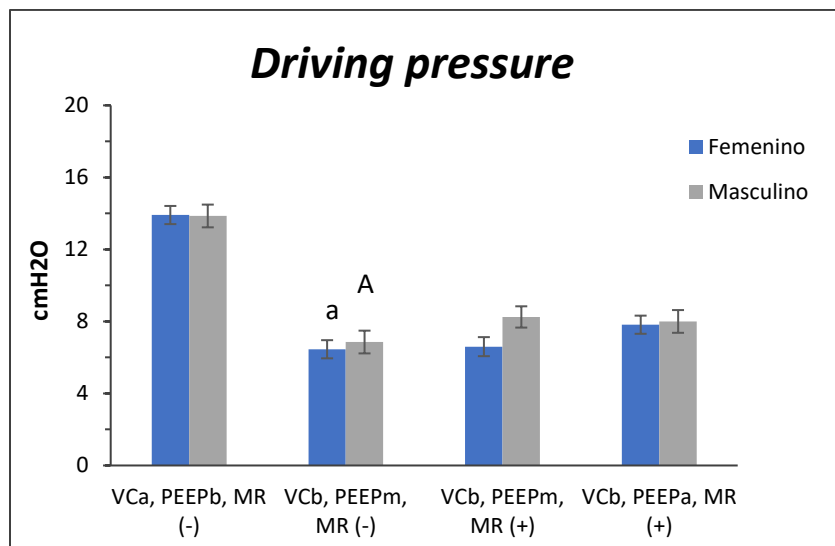
Evaluación de 4 diferentes estrategias de ventilación mecánica sobre el pressure driving y poder mecánico y su efecto dependiente de género

Se realizó una ANOVA de 2 vías con la finalidad de comparar las distintas estrategias de ventilación mecánica con respecto al género y su respuesta *al driving pressure* y el poder mecánico.

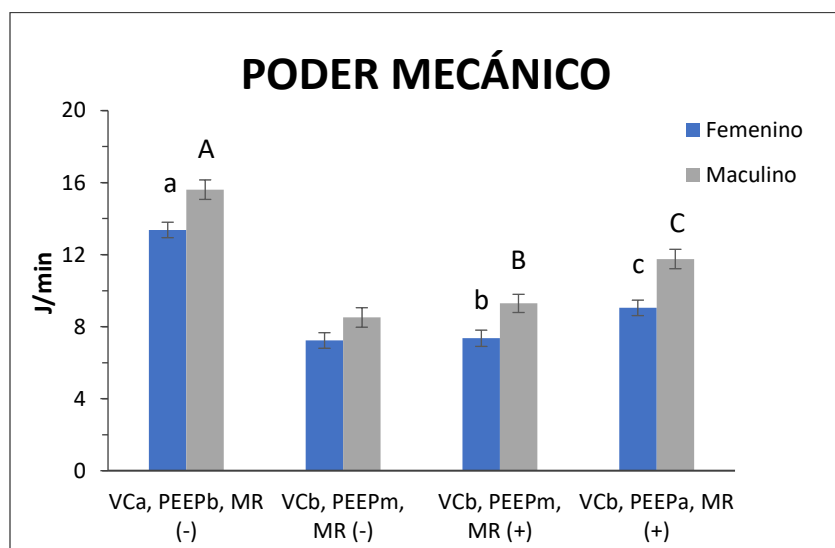
El análisis estadístico indico que para los valores de *driving pressure* solo la estrategia de ventilación VCb, PEEPm MR+ presento diferencias significativas con respecto al género, siendo las pacientes femeninas quienes obtuvieron una mejor respuesta a esta estrategia ($F_{(1,16)} = 3.592$; $p < 0.05$), mientras que, para las demás técnicas no hubo diferencias en la respuesta con respecto al género ($F_{(1,16)} = 0.02$ $p = 0.959$, NS), ($F_{(1,16)} = 3.75$ $p = 0.549$; NS) ($F_{(1,16)} = 0.081$ $p = 0.778$; NS) (**gráfica 7**).

Por otra parte, para los valores del poder mecánico, la ANOVA de 2 vías mostro que las estrategias de ventilación mecánica VCa, PEEPb MR-, VCb, PEEPm MR+ y VCb, PEEPa MR+ obtuvieron una mejor respuesta en paciente femeninas con respecto a los pacientes masculinos, ($F_{(1,16)} = 5.568$ $p < 0.05$), ($F_{(1,16)} = 13.831$ $p < 0.05$), ($F_{(1,16)} = 28.578$; $p < 0.05$) mientras que, para la estrategia VCb, PEEPm MR- no se presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al género del paciente ($F_{(1,16)} = 3.494$, $p = 0.080$, NS) (**grafica 7**).

Cabe destacar que la mejor estrategia de ventilación mecánica corresponde a la VCb, PEEPm MR-, ya que presenta valores de *driving pressure* en zona segura (6.61 cmH₂O) y valores de poder mecánico de 7.73 J/min asociado a resoluciones favorables, además de tener el mismo efecto sin distinción del género.



Gráfica 7. Efectos del *driving pressure* con respecto al género. Solo la estrategia de ventilación mecánica VCb, PEEPm MR+ mostro una mejor respuesta en mujeres que en hombre. ($p < 0.05$) (a vs A)



Gráfica 8. Efectos del poder mecánico con respecto al género. Las mujeres presentaron una mejor respuesta en las estrategias VCa, PEEPb MR-, VCb, PEEPm MR+ y VCb, PEEPa MR+ con respecto a los hombres. ($p < 0.05$) (a vs A) (b vs B) (c vs C)

DISCUSION

Alrededor del mundo cada año se realizan más de 230 millones de procedimientos quirúrgicos mayores, de estos, hasta un 23% podrá presentar una complicación pulmonar postoperatoria (CPP) aumentando la estancia intrahospitalaria de cada uno en un promedio de 15 días, generando un aumento considerable en los costos de atención en salud, pero más importante es que 1 de cada 5 pacientes que presente una CPP morirá dentro de los siguientes 30 días después de una cirugía mayor. 4

Las complicaciones pulmonares postoperatorias tras una anestesia general son secundarias a la lesión pulmonar inducida por el ventilador (VILI, por sus siglas en inglés). En la génesis de VILI están implicados múltiples mecanismos como el atelectrauma ocasionado por el cierre y reapertura cíclico de las unidades alveolares ocasionado por la ventilación con volúmenes bajos, el volutrauma y barotrauma secundarios a la sobredistensión y estrés excesivo debidos a la ventilación con volúmenes y presiones altas, y el biotrauma generado por la liberación de mediadores de la inflamación y diversas sustancias debido al uso de estrategias de ventilación inadecuadas. 9, 16

Para disminuir la incidencia de VILI se ha evaluado la interacción entre el ventilador mecánico y el pulmón y se han desarrollado instrumentos sencillos de utilizar como objetivo durante la ventilación mecánica, siendo el *Driving Pressure* (ΔP) y el Poder Mecánico (PM) los mejores predictores que se han encontrado para el desarrollo de VILI. De la misma manera se desarrollaron estrategias de ventilación mecánica con la misma intención de disminuir, en sus diferentes maneras de presentación, la incidencia de VILI, pasando del uso de volúmenes corrientes altos al uso de estrategias de protección pulmonar con volúmenes corrientes altos con o sin el uso de PEEP alto y maniobras de reclutamiento alveolar; dichas estrategias se han desarrollado para el manejo de pacientes en las unidades de cuidados intensivos pero se han adaptado al ámbito transoperatorio para prevenir el desarrollo de CPP.

Estudios de modelos experimentales demuestran que el uso de estrategias de ventilación de protección pulmonar guiadas por el objetivo de mantener la estabilidad clínica mientras se mantienen los valores más bajos posibles de ΔP y PM se asocia a una menor incidencia de complicaciones pulmonares postoperatorias y a una menor liberación de mediadores inflamatorios que pueden contribuir tanto al desarrollo de complicaciones pulmonares como extrapulmonares postoperatorias. ¹

En un metaanálisis reciente de 2250 pacientes publicado por Serpa Neto y colaboradores acerca de la asociación entre el valor de ΔP y el desarrollo de CPP en pacientes sometidos a ventilación mecánica para anestesia general se observó que los niveles elevados de ΔP y los aumentos en el PEEP que condicionen un aumento en el ΔP se asocia a una mayor incidencia de CPP, en comparación con el volumen corriente que no se mostró asociación el desarrollo de CPP y con el PEEP solo que no tuvo un efecto significativo. ²⁶

Los estudios experimentales demuestran que el mantener un poder mecánico por encima de 12 J/min, principalmente debido al uso de valores de PEEP elevados durante la ventilación mecánica, se asocia de manera significativa al desarrollo de CPP. Park y colaboradores realizaron un estudio doble ciego aleatorizado controlado con 292 pacientes sometidos a cirugía torácica donde reportan una incidencia de CPP de 5.5% en los pacientes que se guio la ventilación mecánica por el ΔP VS 12.2% en los pacientes que se siguió una estrategia de ventilación de protección convencional. ^{28, 29, 30}

La evidencia sugiere fuertemente que las estrategias de ventilación que mantengan los niveles más bajos de ΔP y PM se asocian a una disminución significativa en la incidencia de CPP; el objetivo de este estudio fue identificar cuál de las estrategias descritas en diversos estudios se asoció a los mejores valores de ΔP y PM, encontrando que el uso de volúmenes corrientes bajos con PEEP moderado sin maniobras de reclutamiento ofrece los mejores valores, sin embargo las otras estrategias evaluadas también presentaron valores que se encuentran dentro de los

parámetros de seguridad, únicamente la estrategia de ventilación “convencional” con volúmenes corrientes altos se asoció a valores por fuera de los límites (ΔP 13.88 \pm 0.47 y PM 14. 23 \pm 0.52) por lo cual la predisposición a CPP sería mayor. Es importante destacar que en el género femenino los valores más bajos de ΔP y PM se observaron con el uso de volúmenes corrientes bajos, PEEP moderado y maniobras de reclutamiento ^{1, 28}

CONCLUSION

El uso de una estrategia de ventilación convencional con volúmenes corrientes altos se asocia a valores de ΔP y PM relacionados al desarrollo de CPP; mientras que el uso de estrategias con volúmenes corrientes bajos, PEEP moderado con o sin maniobras de reclutamiento alveolar y el uso de volúmenes corrientes bajos con PEEP alto presenta valores considerados seguros para evitar el desarrollo de CPP, sin embargo, en general, los valores con mayor rango de seguridad se presentan con el uso de volúmenes corrientes bajos con PEEP moderado sin maniobras de reclutamiento alveolar.

BIBLIOGRAFIA

1. Maia, L. D. A., Samary, C. S., Oliveira, M. V., Santos, C. L., Huhle, R., Capelozzi, V. L., ... & Silva, P. L. (2017). Impact of different ventilation strategies on driving pressure, mechanical power, and biological markers during open abdominal surgery in rats. *Anesthesia & Analgesia*, *125*(4), 1364-1374.
2. Neto, A. S., Schultz, M. J., & de Abreu, M. G. (2015). Intraoperative ventilation strategies to prevent postoperative pulmonary complications: Systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, *29*(3), 331-340.
3. PROVE Network Investigators. (2014). High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): a multicentre randomised controlled trial. *The Lancet*, *384*(9942), 495-503.
4. Miskovic, A., & Lumb, A. B. (2017). Postoperative pulmonary complications. *BJA: British Journal of Anaesthesia*, *118*(3), 317-334.
5. Tonetti, T., Vasques, F., Rapetti, F., Maiolo, G., Collino, F., Romitti, F. & Gattinoni, L. (2017). Driving pressure and mechanical power: new targets for VILI prevention. *Annals of translational medicine*, *5*(14).
6. Slutsky, A. S. (2015). History of mechanical ventilation. From Vesalius to ventilator-induced lung injury. *American journal of respiratory and critical care medicine*, *191*(10), 1106-1115.
7. Gould, T., & de Beer, J. M. A. (2007). Principles of artificial ventilation. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, *8*(3), 91-101.
8. Jain, R. K., & Swaminathan, S. (2013). Anaesthesia ventilators. *Indian journal of anaesthesia*, *57*(5), 525.
9. Slutsky, A. S., & Ranieri, V. M. (2013). Ventilator-induced lung injury. *New England Journal of Medicine*, *369*(22), 2126-2136.
10. Grieco, D. L., Chen, L., Dres, M., & Brochard, L. (2017). Should we use driving pressure to set tidal volume?. *Current opinion in critical care*, *23*(1), 38-44.
11. Gómez Ramírez, J. I., Monares Zepeda, E., González Carmona, B. G., Camarena Alejo, G., Aguirre Sánchez, J. S., & Franco Granillo, J. (2018).

- Determinación del poder mecánico en pacientes en ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea. *Medicina Crítica*, 32(1), 20-26.
12. Rosas Sánchez, K., Gutiérrez Zárata, D., & Cerón Díaz, U. W. (2017). Asociación y valor predictivo del poder mecánico con los días libres de ventilación mecánica. *Medicina crítica (Colegio Mexicano de Medicina Crítica)*, 31(6), 320-325.
 13. Barbas, C. S. V., & Palazzo, R. F. (2018). Should we titrate mechanical ventilation based on driving pressure?—yes. *Annals of translational medicine*, 6(19).
 14. Gattinoni, L., Marini, J. J., Collino, F., Maiolo, G., Rapetti, F., Tonetti, T. & Quintel, M. (2017). The future of mechanical ventilation: lessons from the present and the past. *Critical Care*, 21(1), 183.
 15. Hedenstierna, G., & Edmark, L. (2015). Effects of anesthesia on the respiratory system. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 29(3), 273-284.
 16. Futier, E., Constantin, J. M., & Jaber, S. (2014). Protective lung ventilation in operating room: a systematic review. *Minerva anesthesiologica*, 80(6), 726-735.
 17. Jaber, S., Coisel, Y., Chanques, G., Futier, E., Constantin, J. M., Michelet, P. & Marret, E. (2012). A multicentre observational study of intra-operative ventilatory management during general anaesthesia: tidal volumes and relation to body weight. *Anaesthesia*, 67(9), 999-1008.
 18. Güldner, A., Kiss, T., Neto, A. S., Hemmes, S. N., Canet, J., Spieth, P. M., & de Abreu, M. G. (2015). Intraoperative protective mechanical ventilation for prevention of postoperative pulmonary complications: a comprehensive review of the role of tidal volume, positive end-expiratory pressure, and lung recruitment maneuvers. *Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 123(3), 692-713.
 19. Serpa Neto, A., Schultz, M. J., & Slutsky, A. S. (2015). Current concepts of protective ventilation during general anaesthesia. *Swiss medical weekly*, 145(4546).
 20. Spieth, P. M., Güldner, A., Uhlig, C., Bluth, T., Kiss, T., Conrad, C., ... & Tarantino, F. (2018). Variable versus conventional lung protective mechanical

ventilation during open abdominal surgery (PROVAR): a randomised controlled trial. *British journal of anaesthesia*, 120(3), 581-591.

21. Neto, A. S., Hemmes, S. N., Barbas, C. S., Beiderlinden, M., Biehl, M., Binnekade, J. M. & Hedenstierna, G. (2015). Protective versus Conventional Ventilation for Surgery A Systematic Review and Individual Patient Data Meta-analysis. *Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 123(1), 66-78.
22. Futier, E., Constantin, J. M., Paugam-Burtz, C., Pascal, J., Eurin, M., Neuschwander, A. & Allaouchiche, B. (2013). A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *New England Journal of Medicine*, 369(5), 428-437.
23. Yang, D., Grant, M. C., Stone, A., Wu, C. L., & Wick, E. C. (2016). A Meta-analysis of intraoperative ventilation strategies to prevent pulmonary complications. *Annals of surgery*, 263(5), 881-887.
24. García-Fernández, J., Romero, A., Blanco, A., Gonzalez, P., Abad-Gurumeta, A., & Bergese, S. D. (2018). Maniobras de reclutamiento en anestesia: ¿qué más excusas para no usarlas? *Revista Española de Anestesiología y Reanimación*, 65(4), 209-217.
25. Futier, E., & Jaber, S. (2014). Lung-protective ventilation in abdominal surgery. *Current opinion in critical care*, 20(4), 426-430.
26. Neto, A. S., Hemmes, S. N., Barbas, C. S., Beiderlinden, M., Fernandez-Bustamante, A., Futier, E., ... & Jaber, S. (2016). Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: a meta-analysis of individual patient data. *The Lancet Respiratory Medicine*, 4(4), 272-280.
27. Grieco, D. L., Russo, A., Romanò, B., Anzellotti, G. M., Ciocchetti, P., Torrini, F. & Bongiovanni, F. (2018). Lung volumes, respiratory mechanics and dynamic strain during general anaesthesia. *British journal of anaesthesia*, 121(5), 1156-1165.
28. Park, M., Ahn, H. J., Kim, J. A., Yang, M., Heo, B. Y., Choi, J. W. & Song, I. S. (2019). Driving Pressure during Thoracic Surgery A Randomized Clinical Trial.

Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists, 130(3), 385-393.

29. Cressoni, M., Gotti, M., Chiurazzi, C., Massari, D., Algieri, I., Amini, M. & Guanziroli, M. (2016). Mechanical power and development of ventilator-induced lung injury. *Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 124(5), 1100-1108.
30. Collino, F., Rapetti, F., Vasques, F., Maiolo, G., Tonetti, T., Romitti, F. & Reupke, V. (2019). Positive end-expiratory pressure and mechanical power. *Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 130(1), 119-130.